

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jiří Novák

ANALÝZA VYUŽITELNOSTI GNSS POLOHOVÝCH DAT

PRO VEDENÍ LETADEL BĚHEM POJÍŽDĚNÍ

Bakalářská práce

2015



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):

Jiří Novák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Analýza využitelnosti GNSS polohových dat
pro vedení letadel během pojíždění**

Název tématu (anglicky): Analysis of Utilization of GNSS Positional Data
for Guidance during Taxiing

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Prozkoumání současných trendů a aplikací vedení letadel na provozních plochách letišť
- Měření GNSS polohových dat z palubních systémů na základě příjmu zpráv 1090ES
- Vytvoření referenčního mapového podkladu pro vynášení a analýzu měřených dat
- Vyhodnocení a interpretace naměřených výsledků
- Závěr

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: ICAO Annex 10
RTCA DO-260B
EUROCAE ED-102A

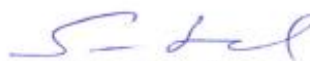
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2013**
(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: **24. srpna 2015**
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. Daniel Hanus, CSc.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Jiří Novák
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2014

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Stanislavu Pleningerovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu 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 § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze 24. srpna 2015

Podpis:

ABSTRAKT

Bakalářská práce v první části pojednává o systémech využívaných pro vedení letadel na provozních plochách letiště. V druhé části se zaměřuje na systém ADS-B, konkrétně na zprávy 1090ES, obsahující GNSS polohová data, a na jejich získání. Poslední část této práce pojednává o samotném zpracování polohových dat a následném vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

ADS-B, 1090ES, GNSS, DF17, Letiště Praha/Ruzyně, Pojezdová dráha, Polohová data, Řízení letového provozu, WGS84, ECEF

ABSTRACT

This bachelor's thesis treats in its first part about systems used for guidance of aircraft on operational surfaces of the airport. The second part is focused on the ADS-B system, namely on 1090ES messages containing GNSS position data and their acquiring. The final part describes itself treatment of position data and subsequent evaluation.

KEYWORDS

ADS-B, 1090ES, GNSS, DF17. Airport Prague/Ruzyne, Taxiway, Positional data, Air traffic control, WGS84. ECEF

OBSAH

OBSAH	- 4 -
SEZNAM ZKRATEK	- 6 -
1 ÚVOD	- 7 -
2 TRENDY A APLIKACE VEDENÍ LETADEL NA PROVOZNÍCH PLOCHÁCH	- 8 -
2.1 VEDENÍ NA PROVOZNÍCH PLOCHÁCH LETIŠTĚ.....	- 8 -
2.1.1 <i>Mapa letiště</i>	- 8 -
2.1.2 <i>Vizuální navigační prostředky</i>	- 9 -
2.1.3 <i>Služba letištních marshallerů</i>	- 10 -
2.1.4 <i>Naváděcí systém na stání letadla</i>	- 11 -
2.1.5 <i>Satelitní systémy</i>	- 11 -
2.1.6 <i>Dynamická mapa letiště</i>	- 16 -
2.2 PŘEHLEDOVÉ ŘEŠENÍ.....	- 17 -
2.2.1 <i>Vizuální přehled</i>	- 17 -
2.2.2 <i>Primární radar</i>	- 17 -
2.2.3 <i>Sekundární radary</i>	- 18 -
2.2.4 <i>Multilaterační systém</i>	- 18 -
2.2.5 <i>A-SMGCS</i>	- 23 -
3 ZÍSKÁNÍ GNSS POLOHOVÝCH DAT ZE ZPRÁV 1090ES	- 25 -
3.1 ADS-B	- 25 -
3.2 1090 ES	- 26 -
3.2.1 <i>DF (Downlink Format)</i>	- 26 -
3.2.2 <i>CA (Capability Field)</i>	- 26 -
3.2.3 <i>AA (Address Field)</i>	- 26 -
3.2.4 <i>ME (Message, Extended Squitter)</i>	- 26 -
3.2.5 <i>PI (Parity / Identify)</i>	- 28 -
3.3 DEKÓDOVÁNÍ POLOHY	- 28 -
3.3.1 <i>Lokální dekodování „Surface position“ zprávy</i>	- 29 -
4 ZPRACOVÁNÍ DAT	- 31 -
4.1 DATA ADS-B.....	- 31 -
4.2 MAPA LKPR.....	- 33 -
4.3 PŘEVOD POLOHOVÝCH DAT Z WGS84 DO SYSTÉMU ECEF	- 34 -
4.4 URČENÍ VZDÁLENOSTI OD REFERENČNÍ KŘIVKY	- 35 -
5 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	- 38 -

5.1	OBECNÉ INFORMACE	- 38 -
5.2	VÝPOČET ODCHYLKY OD OSY POJEZDOVÉ DRÁHY	- 39 -
5.2.1	<i>Volba sektorů</i>	- 39 -
5.2.2	<i>Ohraničení sektorů</i>	- 40 -
5.3	SEKTOR TWY L/D – TWY L/G	- 41 -
5.4	SEKTOR TWY L/G – L/F	- 43 -
5.5	SEKTOR TWY P/RWY 22 – P/N	- 45 -
5.6	SEKTOR STÁNÍ 27	- 46 -
5.7	CELKOVÉ VYHODNOCENÍ	- 47 -
5.8	CHYBY V METODĚ	- 48 -
5.9	VYUŽITÍ	- 49 -
6	ZÁVĚR	- 50 -
	REFERENCE A PROGRAMY	- 51 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 52 -

SEZNAM ZKRATEK

AA	Address Field	-
ABAS	Aircraft Based Augmentation System	-
ADS – B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	-
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
APIS++	The Aircraft Positioning and Information System	-
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	-
CA	Capability Field	-
CPR	Compact Position Reporting	-
CPS	Central Processing Station	-
DF	Downing format	-
ECEF	Earth – Centered, Earth – Fixed	-
FIS-B	Flight Information Service Broadcast	-
GA	General Aviation	Všeobecné letectví
GBAS	Ground Based Augmentation Systems	-
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IPC (MTI)	<i>Moving Target Indication</i>	Indikace pohyblivých cílů
LKPR	Airport ICAO code Prague	ICAO kód letiště Praha
ME	Message, Extender Squitter	-
MLAT	Multilateration System	Multilaterační systém
PI	Parity / Identify	-
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
SBAS	Satellite Based Augmentation Systems	-
SMR	Surface Movement Radar	-
TDOA	Time Difference Of Arrival	Rozdíl časů příchodu signálu
TIS-B	Traffic Information Service Broadcast	-
TOA	Time Of Arrival	Čas příchodu signálu
TWY	Taxiway	Pojezdová dráha
UAT	Universal Access Transceiver	-
WGS84	World Geodetic System 1984	Světový geodetický systém 1984
1090 ES	1090 MHz Extended Squitter	-

1 ÚVOD

K této práci mne vedlo zamyšlení, zda existuje systém, který podobně jako systém ILS (Instrument Landing System) pro přiblížení, je schopen automatického vedení letadel a i jiných prostředků na provozních plochách letiště. Tato myšlenka mne zavedla až k problematice moderních rozvíjejících se navigačních a přehledových systémů, zejména k systémům GNSS (Global Navigation Satellite System) a s nimi spojeným systémem ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast). Vystala otázka, zda nám satelitní systém dokáže zaručit požadovanou přesnost a s touto otázkou vznikl problém, který se snaží alespoň částečně vyřešit tato práce, a to, jak přesnost GNSS systému zjistit.

V první části je práce zaměřená na přehled současných navigačních a přehledových systémů, které se používají pro řízení provozu na pohybových plochách letiště. Také je zde zmíněn systém GNSS, u kterého je velmi pravděpodobné větší využívání informací pro budoucí systémy.

V další části se práce zaměřuje na systém ADS-B, který získává polohová data od satelitních systémů. Popisuje strukturu ADS-B zpráv a naznačuje dekodování zpráv typu DF17, které obsahují polohová data.

V předposlední části se práce věnuje samotnému zpracování získaných dat, jejich dekodování, setřídění a výpočtům odchylek. K tomu je v této části práce také řešena problematika určení bodů, které nám definují osu pojezdové dráhy jako referenční křivku, a převod ze systému WGS84, který používá polární souřadnice, do ECEF, používajícího kartézský systém tří souřadnic v prostoru.

V poslední části je praktické řešení a výpočet realizovaný na reálných datech poskytnutých ze systému firmy ERA a.s. pro letiště Praha. Jsou zde zvoleny čtyři oblasti, ze kterých jsou vypočítány odchylky od reálné polohy letadla. Poslední část také zahrnuje přehledné prezentování výsledků a úvahu o možnosti využití.

2 TRENDY A APLIKACE VEDENÍ LETADEL NA PROVOZNÍCH PLOCHÁCH

Problematiku bezpečného provozu na plochách letiště můžeme rozdělit na více částí. Ke každé části existuje více řešení a v této kapitole budou některá z nich představena.

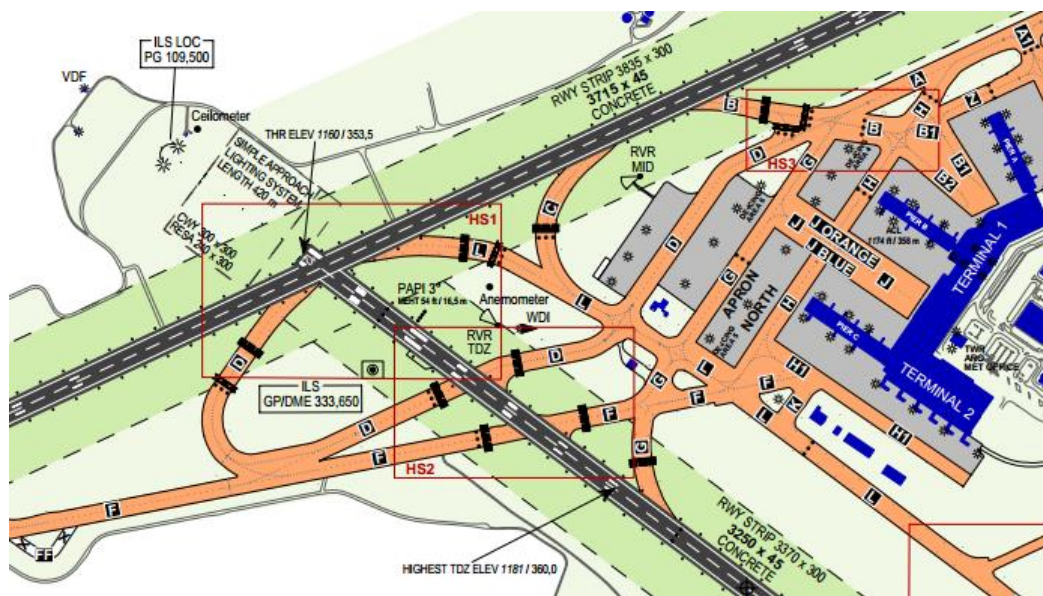
2.1 VEDENÍ NA PROVOZNÍCH PLOCHÁCH LETIŠTĚ

Tato kapitola se zaměřuje na navigaci posádky letadla, nebo jiného mobilního prostředku, na provozních plochách letiště. K tomuto účelu je v současnosti využíváno více, mnohdy vzájemně se doplňujících systémů a postupů.

2.1.1 Mapa letiště

Mapa letiště je nejzákladnější a nerozšířenější materiál, kterou posádky používají k orientaci na letišti. Existuje jak v papírové podobě, tak v dnešní době ve stále více využívané elektronické verzi.

Mapa letiště je součástí AIP (Aeronautical Information Publication) a je zde vyznačeno veškeré značení, které se na letišti nachází. Na mapě je vyznačeno i mnoho jiných údajů, od objektů až po frekvence jednotlivých radiomajáků a komunikační frekvence na různá stanoviště řízení letového provozu.



Obrázek 1: Výřez letištní mapy z AIP (1)

2.1.2 Vizuální navigační prostředky

Vizuální navigační prostředky jsou rozmístěny po celém letišti a mají za úkol podávat posádkám různé informace, například směr větru, ale i označení stání nebo pojezdové dráhy. V této kapitole budou zmíněny pouze navigační prostředky, týkající se polohové orientace na pohybových plochách.

2.1.2.1 Značení

Jedná se o symboly, které jsou vyznačeny na povrchu pohybových ploch. (2)

Pro nás je důležité především značení pojezdových drah a značení jejich os, eventuálně značení vzletové a přistávací dráhy. Značení osy pojezdové dráhy má žlutou barvu a na této ose by se mělo pohybovat přední kolo podvozku letadla. Značení pojezdové dráhy se barevně shoduje se znakem pojezdové dráhy, aktuální místo je označeno žlutě na černém pozadí a směr k jiným místům je označen černě na žlutém pozadí. (2)



Obrázek 2: Značení pojezdové dráhy (2)

2.1.2.2 Znaky

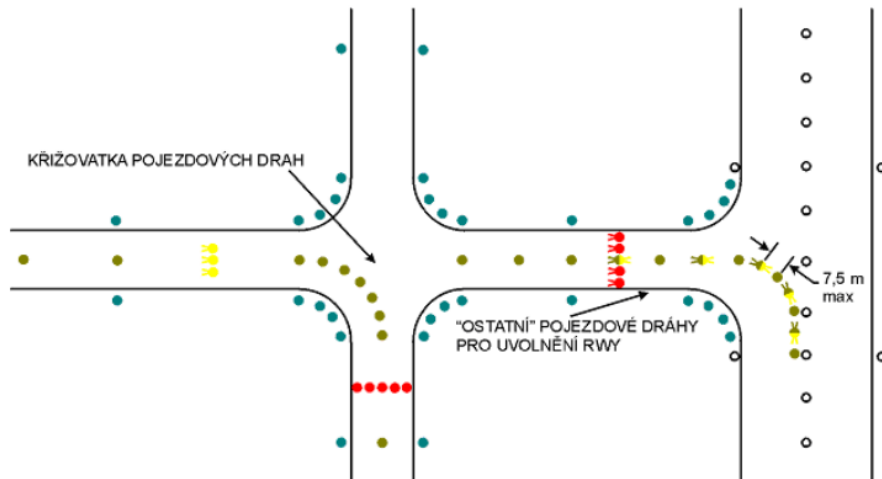
Nejčastěji jsou umístěny na okraji pojezdových drah. Pro tuto práci jsou nejdůležitější znaky pojezdových drah, případně znaky vzletové a přistávací dráhy. Znak pojezdové dráhy má stejné barevné schéma jako značení pojezdové dráhy. Znak vzletové a přistávací dráhy má barevné schéma příkazových znaků. Místo je značeno žlutě na černém pozadí a označení vzletové a přistávací dráhy je bílé na červeném pozadí. (2)



Obrázek 3: Znak vzletové a přistávací dráhy (2)

2.1.2.3 Návěstidla

Návěstidla jsou světelné prvky, které zlepšují orientaci za snížené dohlednosti a v nočních hodinách. Jedná se například o osová návěstidla pojezdové dráhy, které má zelenou barvu, nebo také o stop příčku, která může být umístěna na pojezdové dráze. Ta má barvu červenou. (2)



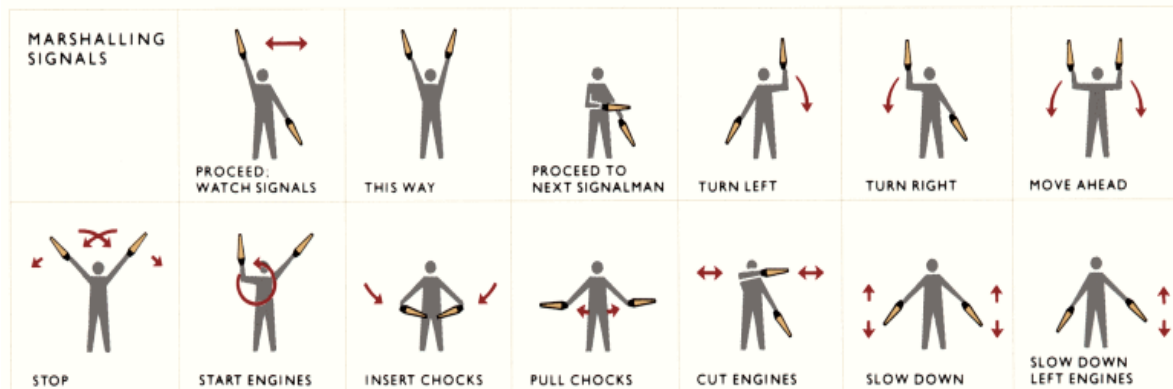
Obrázek 4: Návěstidla pojezdových drah (2)

Návěstidla je možné rozsvěcet vždy v určitém úseku pojezdové dráhy. Tím může být docíleno vyznačení cesty ke stání nebo jinému cíli. Rozsvěcet návěstidla může v tomto případě řízení letového provozu, nebo systém, který je schopen letadla samostatně navádět (jedná se spíše o budoucnost).

2.1.3 Služba letištních marshallerů

Jedná se o službu řízení letového provozu, která pomáhá řídit provoz na pohybových plochách letiště. V případě, kdy posádka letadla je na letišti poprvé, nebo má pochybnosti o orientaci na letišti, může této službě využít. Letištní marshaller poté posádku pomocí automobilu navede na přidělené stání. (3)

Této služby je také využíváno v případě, kdy na stání není jiný navigační prostředek, který by umožnil posádce letadla přesné zastavení. Letištní marshaller pomocí vizuálních signálů letadlo navede.



Obrázek 5: Přehled signálů letištních marshallerů (3)

2.1.4 Naváděcí systém na stání letadla

Jedná se o systém, který navádí posádku letadla na stání. Existuje více druhů, na letišti Praha/Ruzyně je instalován systém APIS++ (The Aircraft Positioning and Information System) od firmy FMT. Tento systém určuje posádce směr vychýlení vůči ose stání a vzdálenost od stání letadla. Směr je signalizován pouze opticky ukazatelem na levé straně. Podle toho, z jakého úhlu se pozorovatel dívá, se údaj o směru mění. Vzdálenost je zjišťována pomocí laseru o pulsni frekvenci 9,6 kHz a je signalizována ukazatelem na pravé straně. Od vzdálenosti 15 metrů je vzdálenost vyjádřena také číslicemi na horním panelu. (5)



Obrázek 6: Naváděcí systém APIS++ (5)

2.1.5 Satelitní systémy

Satelitní systémy jsou využívány k určení polohy letadla, nebo jiného mobilního prostředku. Využívají radiové přijímače, které zachytávají signál odeslaný z družic a pomocí tohoto signálu vypočítají svou polohu. Tato polohová informace bývá v současnosti využívána technologií ADS-B pro lepší přehled okolního provozu. Nejznámějšími systémy jsou americký NAVSTAR GPS, ruský GLONASS a připravovaný evropský systém Galileo.

2.1.5.1 Přehled satelitních systémů

2.1.5.1.1 GPS

NAVSTAR GPS je systém vyvíjený od 60. let armádou USA, která od roku 1960 umísťovala na oběžnou dráhu satelity TRANSIT. Ze zkušeností tohoto systému byl následně vyvíjen projekt GPS. Roku 1973 byly vypuštěny první 4 družice. Až v roce 1994 byl systém prohlášen za plně funkční a uvolněn i pro civilní použití. Nicméně do roku 2000 byla z bezpečnostních důvodů do GPS signálu pro civilní přijímače vnášena umělá chyba. (5)

Tabulka 1: Přehled GPS (7)

Počet satelitů		Satelity	Počet polárních drah	Výška orbity	Doba oběhu
Projektován	Ve službě				
21 + 3	4	NAVSTAR IIA	6	20 200 Km	11 h 58 min
	12	NAVSTAR IIR			
	7	NAVSTAR IIR-M			
	8	NAVSTAR IIF			

2.1.5.1.2 GLONASS

Jako reakci na americký systém GPS začala od roku 1970 armáda SSSR vyvíjet systém GLONASS. Nyní je tento systém pod správou ruské armády. První satelity byly vypuštěny roku 1982 a soustava byla kompletní až roku 1995. Mezi roky 1996 až 2002 docházelo k problémům z důvodu nízké životnosti satelitů, což dokonce vedlo v roce 2002 k dočasnému výpadku systému. Systém má poskytovat služby s podobnou přesností jako systém GPS a je také občas využíván jako jeho záloha. (5)

Tabulka 2: Přehled GLONASS (7)

Počet satelitů		Satelity	Počet polárních drah	Výška orbity	Doba oběhu
Projektován	Ve službě				
24	21	Uragan-M	3	19 100 Km	11 h 15 min

2.1.5.1.3 Galileo

Systém Galileo, který je plánován Evropskou unií, má být nejnovější a nejmodernější systém družicové navigace. Systém je vyvíjen od roku 1999 a má zabezpečit nezávislost Evropy na satelitních systémech jiných států. Vzhledem k problémům financování je velmi složité určit konečný rok dokončení. (5)

Tabulka 3: Přehled Galileo (7)

Počet satelitů		Satelity	Počet polárních drah	Výška orbity	Doba oběhu
Projektován	Ve službě				
27 + 3	4	Giove	3	23 200 Km	14 h 05 min

2.1.5.1.4 Compass

Compass je satelitní systém Čínské lidové republiky, která zahájila vypouštění satelitů v roce 2007 a systém částečně spustila roku 2012. (5)

Tabulka 4: Přehled Compass (7)

Počet satelitů		Satelity	Počet polárních drah	Výška orbity	Doba oběhu
Projektován	Ve službě				
35	16	Compass	3	21 500 Km	12 h 50 min

2.1.5.2 Princip GNSS

Jak již bylo zmíněno, základním principem určování polohy je vyhodnocování časové prodlevy mezi odesláním signálu a jeho přijetím na přijímači. Tento princip je u všech satelitních systémů stejný. Pro vyhodnocení polohy jsou potřeba tři základní hodnoty, charakteristiky (5):

- Zdroj signálu, u něhož známe polohu (satelit)
- Čas vyslání signálu (časová značka)
- Rychlost šíření signálu ($c = 300\,000\text{ km/s}$)

Satelit vyšle signál s časovou značkou a přijímač tento signál zachytí a porovná se svým interním časem. Z těchto dvou časů spočítá dobu, jakou signál potřeboval pro překonání vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Při známé rychlosti šíření tak můžeme dopočítat vzdálenost od vysílače. (5)

$$R = c * \Delta t$$

Kde rychlost šíření $c = 300\,000\text{ km/s}$, Δt je rozdíl mezi časem vyslání a přijmutí signálu a R je vzdálenost vysílače od přijímače.

Nicméně ve skutečnosti nám takovéto měření určí tzv. pseudovzdálenost **PSR**, která se neskládá z geometrické vzdálenosti vysílače a přijímače, ale obsahuje též chybu hodin přijímače Δt_0 . (5)

$$PSR = c * \Delta t_{\text{měřený}}$$

$$\Delta t_{\text{měřený}} = \Delta t + \Delta t_0$$

$$PSR = c * \Delta t + c * \Delta t_0$$

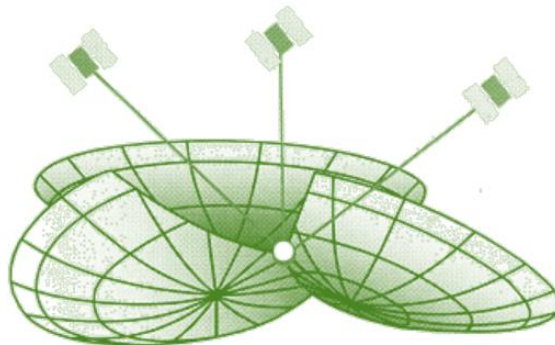
$$PSR = R + R_0$$

kde $R = c * \Delta t$ označuje vzdálenost a $R_0 = c * \Delta t_0$ označuje chybu vzdálenosti odpovídající nesouladu časové základny hodin v přijímači a satelitu. (5)

Proto pro určení 3D polohy (zeměpisná šířka, zeměpisná délka a nadmořská výška) potřebujeme přijímat signál od minimálně čtyř satelitů.

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + c * \Delta t_0 = c * \Delta t_{\text{měřený}}$$

pro (i = 1, 2, 3, 4) za každý satelit



Obrázek 7: Princip GNSS stanovení polohy (5)

2.1.5.3 Rozšiřující systémy

Pro zajištění výkonnostních parametrů, které jsou kladeny na kritické aplikace v letectví, je nutné využít rozšiřujících systémů zajišťujících potřebné hodnoty parametrů, jako jsou přesnost, dostupnost, integrita a kontinuita. U aktuálně používaných systémů GPS a GLONASS se využívá tři typů rozšiřujících systémů, ABAS, SBAS a GBAS. V práci budou zmíněny dva z nich, SBAS a GBAS. (5)

2.1.5.3.1 SBAS (Satellite Based Augmentation System)

Je síť geostacionárních satelitů kolem země, které doplňují GNSS systémy přenášením dat zvyšujících přesnost (prostřednictvím vysílání korekčních dat), integritu, kontinuitu a dostupnost. (5)

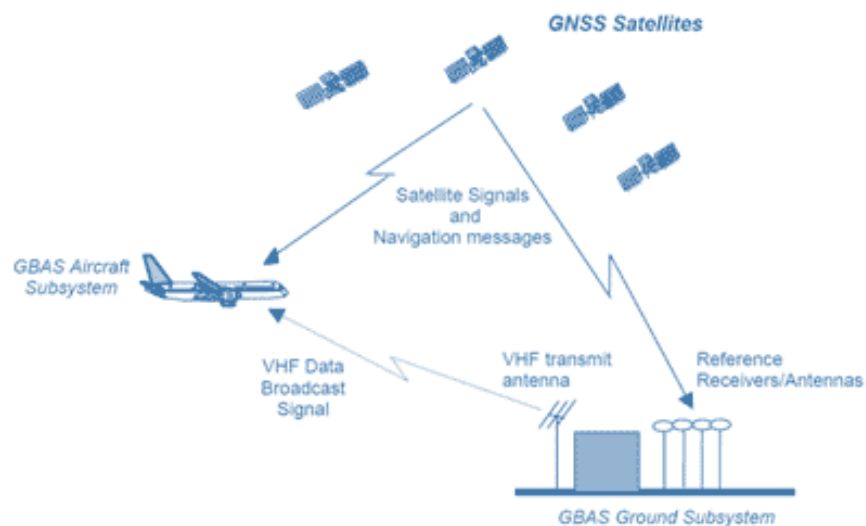
Součástí systému jsou pozemní stanice, které vypočítávají korekce efemeridické chyby (chyby polohy satelitu), korekce chyby hodin na satelitech a ionosférické chyby.



Obrázek 8: Systém SBAS jednotlivých regionů (7)

2.1.5.3.2 GBAS (Ground Based Augmentation System)

Rozšiřující systém GBAS slouží pro podporu všech druhů přiblížení, přistávání, odletů a poježdění na provozních plochách letiště. K těmto účelům jsou lokální stanice umístovány v okolí letiště a informace jsou vysílány přímo letadlům, popřípadě vozidlům. (5)



Obrázek 9: Princip GBAS (8)

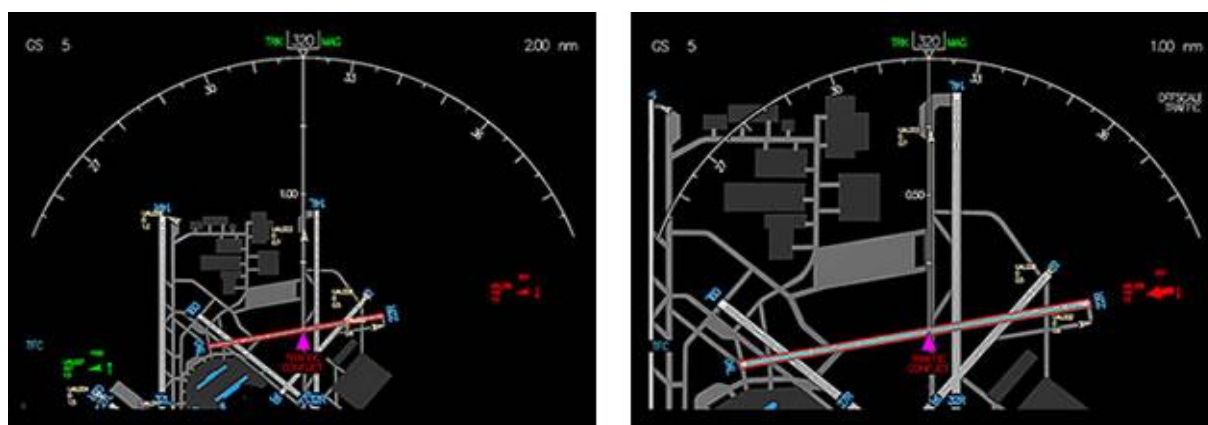
2.1.6 Dynamická mapa letišť

Systém je spíše ve vývoji a dá se předpokládat využití v budoucnu. U tohoto systému je v kokpitu, případně na externím elektronickém zařízení (například tablet), zobrazována mapa letiště na displeji, kde jsou vyznačeny všechny překážky, mobilní prostředky, světla, označení pojezdových drah apod. Mapa se dynamicky mění s časem, v závislosti na měnícím se okolním provozu. Pro získání informací o poloze okolních mobilních prostředků je využíváno systému ADS-B, který polohu získá například z již zmíněného GNSS systému. Pro informace o počasí, dočasných překážkách a jiné, je možné využít systému TIS-B.



Obrázek 10: Dynamická mapa letiště (9)

Systém je velmi podporován zejména v USA, protože do systému jsou zakomponované i různé výstrahy. Zejména nejnebezpečnějším a největším problémem je vjezd na RWY bez povolení, obzvláště v okamžiku, kdy je využívána pro právě přistávající, či vzlétávající letadlo. Dynamická mapa umí zvýraznit RWY, když se k ní blíží posádka letadla a také případný provoz, který RWY právě využívá. (9)



Obrázek 11: Dynamická mapa letiště s výstrahou na RWY (9)

Ve spojení se systémem, který by dokázal s dostatečnou přesností určit polohu letadla, by se dynamická mapa mohla využívat společně s automatickým naváděním při nízké až nulové dohlednosti.

2.2 PŘEHLEDOVÉ ŘEŠENÍ

Přehled nad provozními plochami letiště je primárně zřizován pro řízení letového provozu. Řídící letového provozu na základě informací, které získají z přehledových systémů, vykonávají činnosti k zajištění bezpečného, hospodárného a co možná nejefektivnějšího provozu na plochách letišť a v přilehlém vzdušném prostoru.

2.2.1 Vizualní přehled

Na malých letištích může být přehled provozních ploch zajištěn vizuálně. Řízení letového provozu má možnost pozorovat bez pomocných prostředků veškeré provozní plochy letiště a tím i koordinovat provoz. K tomuto účelu byly dříve stavěny vysoké řídicí věže, aby byl zajištěn přehled nad okolím letiště. Pokud je služba řízení provozu na pohybové ploše dostupná, musí být zajištěna radiotelefonním komunikačním zařízením. (2)

Pro letiště, které je možné použít za dráhové dohlednosti menší než 550 m, vizualní přehled nestačí a musí být instalován přehledový radar nebo jiný adekvátní systém (např. MLAT) umožňující sledovat letadla na provozních plochách. (2)

2.2.2 Primární radar

Pomocí letištního pojezdového radaru (SMR – Surface Movement Radar) mohou být provozní plochy sledovány a řízeny i za špatných podmínek, kdy není možné provoz řídit vizuálně. (10)

Azimut je dán natočením antény, která se otáčí v horizontální rovině konstantní rychlostí a přijímač měří, v jaké pozici je signál nejsilnější. (11)

Výhodou primárního radaru je aktivní zjišťování polohy cíle, tedy i nekooperujících cílů (nevyžaduje žádné dodatečné vybavení sledovaných objektů). Z tohoto důvodu jsou primární radary používány i jako záložní systém. (10)

Nedostatkem primárního radaru jsou zejména falešné indikace, kdy vyslaný signál se odrazí i od nežádoucích cílů. K částečné eliminaci těchto chyb se používá systém IPC – indikace pohyblivých cílů (*MTI - Moving Target Indication*). (11)

Dalším nedostatkem je například i nejednoznačná identifikace cíle, kdy při hustém provozu, z důvodu nedostatku informací, může dojít k nepřehledné situaci pro řídicího provozu a tím k snížení plynulosti provozu, případně k incidentu. (10)

2.2.2.1 Letištní radar TERMA

Letištní radar TERMA je instalován na letišti Praha/Ruzyně. Charakteristiky radaru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5: Charakteristiky letištního radaru TERMA (10)

Pracovní kmitočet	9410 MHz
Opakovací kmitočet	8128 Hz
Dosah	4,5 km
Šířka vysílacího impulsu	40 ns
Impulsní výkon	25 kW
Počet otáček antény	60 ot/min

2.2.3 Sekundární radary

Sekundární přehledový radar (SSR – Secondary Surveillance Radar) vysílá signál jako primární radar, ale místo odrazu přijímá a zpracovává odpověď kooperujícího cíle, který musí mít na své palubě tzv. odpovídač (transpondér). (10)

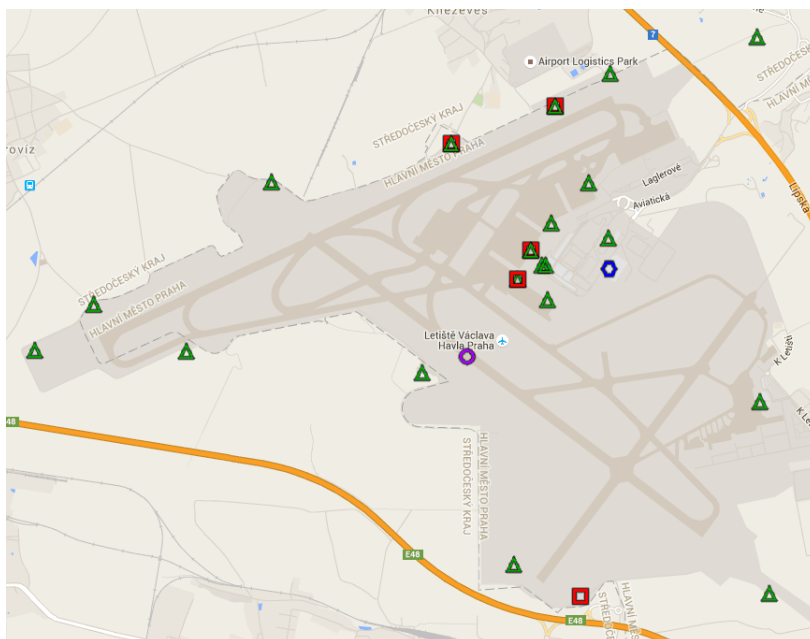
SSR se však pro sledování letadel a ostatního provozu na pohybových plochách nevyužívá. Letadlo, pokud je na zemi, by mělo blokovat odpovědi na klasické A/C dotazy a na všeobecné dotazy módu S. To je řešeno automaticky odpovídačem na základě vstupu ze zátěžového čidla na podvozku nebo manuálně, kdy pilot zajistí příslušným nastavením na ovládacím panelu odpovídače režim, který zajistí blokování odpovědí.

2.2.4 Multilaterační systém

Multilaterační systém přijímá informace od odpovídačů a následně určí polohu letadla. Toho je dosaženo na základě vyhodnocení časového rozdílu příchodu signálu na minimálně tři přijímací stanice. Vyhodnocené časové rozdíly odpovídají hyperboloidům, na jejich průsečíku se nachází sledovaný objekt.

Pro vyšší přesnost je možné systém doplnit o další přijímací stanice, čehož se často využívá pro sledování provozu na pohybových plochách. Pro získání odpovědí je systém doplněn o dotazovací stanice. (10)

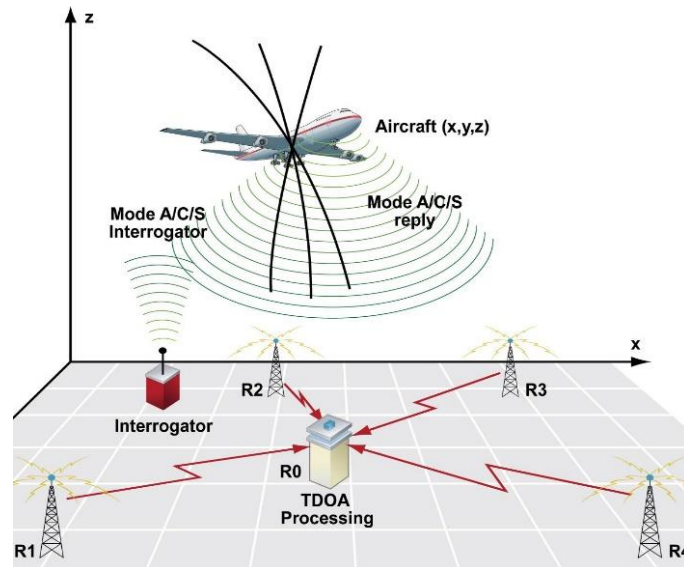
Na následujícím obrázku můžeme vidět uspořádání stanic na Letišti Praha, zelené trojúhelníky představují přijímací stanice, červené čtverce dotazovací stanice.



Obrázek 12: Uspořádání stanic P3D - AS na letišti Praha (12)

Přijímací stanice multilateračního systému jsou většinou také využívány systémem ADS-B, pro příjem zpráv 1090ES, ze kterých jsou dekodovány polohy cílů a další informace (jak bude vysvětleno dále). (10)

Velmi důležitým prvkem je vyhodnotit správně čas příchodu signálu TOA (Time Of Arrival) na přijímacích stanicích. Tyto časy jsou poté využity v centrální stanici CPS (Central Processing Station) pro výpočet rozdílů časů TDOA (Time Difference Of Arrival). Ke správnému vyhodnocení je potřeba čas u všech prvků systému synchronizovat, k tomu je využíváno čtyř metod.

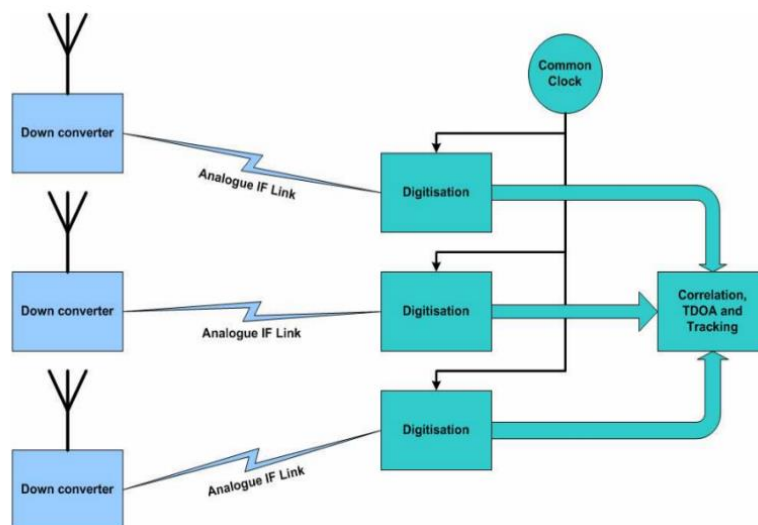


Obrázek 13: Multilaterace (13)

2.2.4.1 Metody synchronizace času

2.2.4.1.1 Jednotné hodiny

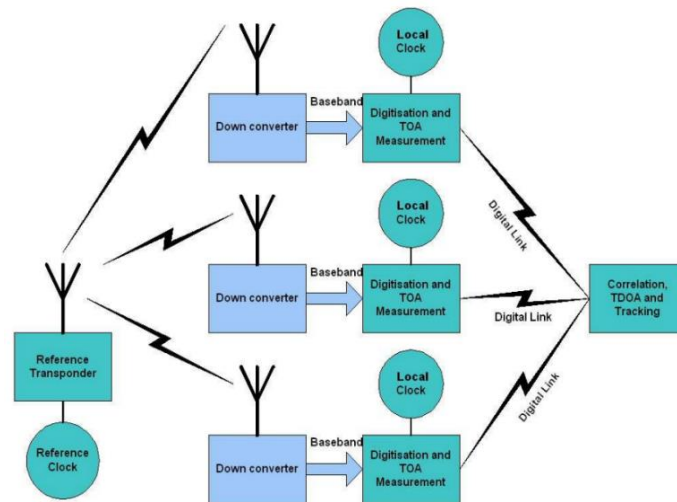
V této metodě posílají přijímače nezpracovanou zprávu do jednoho centrálního prvku CPS, pro který jsou definovány jedny společné hodiny. Až v tomto prvku se signál zpracuje do digitální formy a přidá se čas přijmutí signálu z každé stanice. Následně se tyto zprávy vyhodnotí. (14)



Obrázek 14: Architektura systému jednotných hodin (14)

2.2.4.1.2 Vysílačem synchronizované hodiny

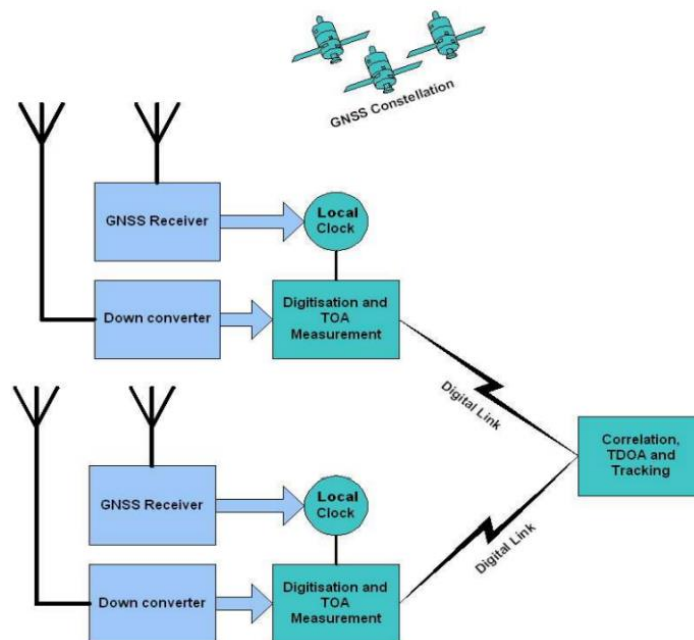
Každý přijímač má své lokální hodiny, které jsou synchronizovány pomocí signálu od referenčních hodin. Signál od letadla je zpracován (je přidána časová značka) již na přijímači a poslán do CPS multilateračního systému, který zprávy vyhodnotí. (14)



Obrázek 15: Vysílačem synchronizovaný systém (14)

2.2.4.1.3 Synchronizace hodin pomocí GNSS

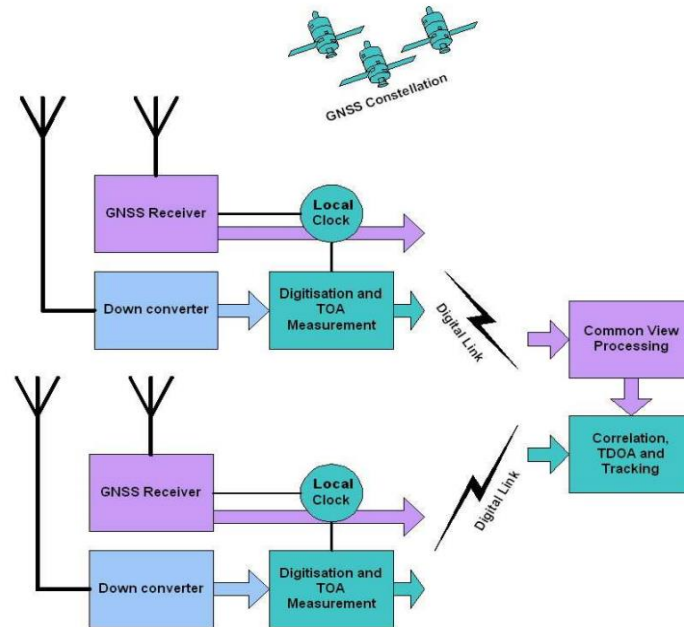
Přijímací stanice obsahují i přijímače GNSS, které získávají přesný čas ze satelitního systému. Tím jsou nastavovány lokální hodiny každé stanice, které se použijí pro dodání časové značky pro příchozí signál. Následně zpracovaná data jsou poslána k vyhodnocení. (14)



Obrázek 16: Systém synchronizace pomocí GNSS (14)

2.2.4.1.4 Jednotný čas pomocí GNSS systému

Tento typ synchronizace je velmi podobný předchozímu, tedy lokální hodiny na každém přijímači jsou synchronizovány pomocí GNSS. Signál je na přijímači převeden do digitální zprávy a poslán ke zpracování v CPS. Pro větší přesnost u tohoto typu synchronizace je poskytována prvku CPS informace o času na lokálních hodinách přijímacích stanic. (14)



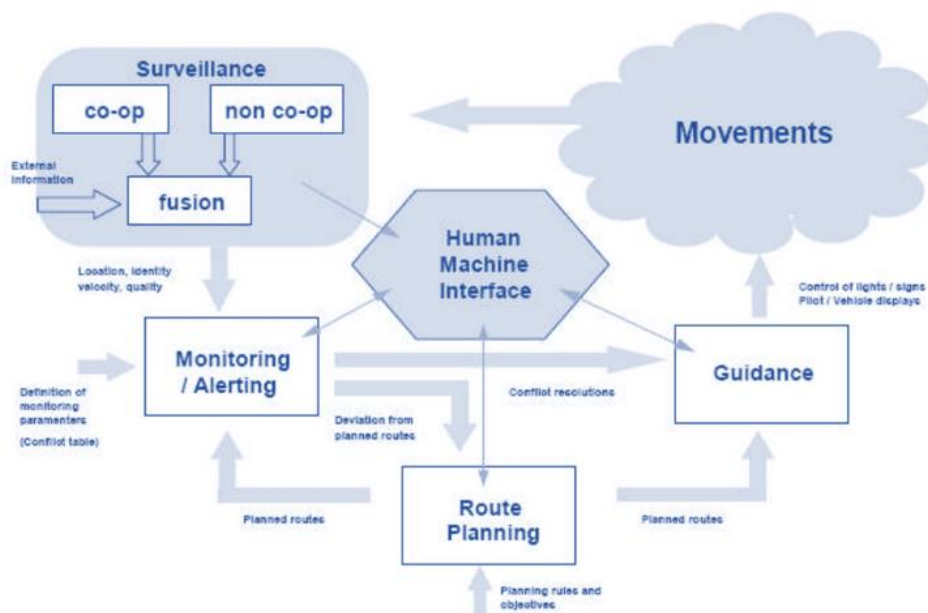
Obrázek 17: Synchronizace všech prvků pomocí GNSS (14)

2.2.5 A-SMGCS

Systém A-SMGCS slouží řízení letového provozu ke zlepšení provozu na pohybových plochách letiště. K tomuto účelu jsou do systému zasílány informace z více přehledových systémů, jako je primární přehledový radar, MLAT, ADS-B. (15)

2.2.5.1 Funkce systému A-SMGCS

Řízení letového provozu může využívat čtyř funkcí, které A-SMGCS poskytuje v závislosti na provozní úrovni systému. Jejich vzájemné propojení je naznačeno na obrázku. (15)



Obrázek 18: Funkce systému A-SMGCS (15)

2.2.5.1.1 Přehledová funkce (Surveillance)

Součást úrovně 1 - 4.

Tato funkce zajišťuje přehled nad provozními plochami. Cílem je řízení letového provozu poskytnout veškeré dostupné informace o pohybujiícím se objektu (rychlost, směr, poloha). Za tímto účelem dochází ke zpracování dat z více přehledových systémů. Pro kooperující cíle se využívá zejména dat ze systému MLAT a ADS-B, u nekooperujících cílů jsou využívána data z primárního radaru. (15)

2.2.5.1.2 Funkce řízení a kontroly (Monitoring / Alerting)

Součást úrovně 2 – 4.

Funkce monitoruje informace z přehledové a plánovací části systému. V případě neoprávněného pohybu, přejetí aktivní stop příčky, poježdění po nenaplánované trase a další, varuje řízení letového provozu zvukovým a vizuálním signálem. (15)

2.2.5.1.3 Funkce plánování trasy (Route Planning)

Součást úrovně 4.

Plánování trasy má za cíl dosáhnout co nejvyšší propustnosti pojezdových drah a RWY. Snaží se efektivně plánovat trasu pojezdění i s ohledem na stávající situaci, k tomu využívá dat z monitorovací funkce. (15)

2.2.5.1.4 Funkce vedení

Součást úrovně 3 – 4.

Funkce slouží k poskytování informací o okolním provozu a navržené trase pojezdění posádce letadla nebo jiného mobilního prostředku. K této funkci může být využit systém dynamické mapy letiště v kokpitu. (15)

3 ZÍSKÁNÍ GNSS POLOHOVÝCH DAT ZE ZPRÁV 1090ES

3.1 ADS-B

Je systém, který je určen pro letadla ve vzduchu i na zemi a jiné mobilní prostředky, pohybující se po provozních plochách letiště. Tento systém vysílá bez nutnosti dotazu periodicky informace, v kterých je například obsažena poloha, ICAO adresa nebo také informace o vertikálním nebo horizontálním pohybu. Informace jsou vypočítány na palubě letadla nebo mobilního prostředku. Získat ADS-B zprávu může kdokoli, kdo se nachází v dosahu vysílání. To může vést ke zlepšení přehledu o okolním provozu a tím zvýšení bezpečnosti. (16)

ADS-B můžeme rozdělit na ADS-B In a ADS-B Out. ADS-B Out slouží k periodickému vysílání informace o letadlu či mobilním prostředku. K této funkci je však zapotřebí mít v letadle či mobilním prostředku nainstalovaný zdroj informací o poloze, která je získána z GNSS systémů, a odpovídač, který nám poskytuje další doplňující informace. K přijmutí a zpracování vysílání jiných stanic ADS-B je nutné mít vybavení, které je schopno informace přijmout, dekodovat a tím využít funkce ADS-B In. (16)

Příjem ADS-B zpráv je využíván hlavně pro řízení letového provozu, které službu využívá jako doplňkový vstup k radarovému přehledu. Do budoucna se s touto službou počítá mnohem více, je však třeba dořešit některé problémy, které jsou s ADS-B a polohou GNSS spojeny. (16)

ADS-B zprávy jsou vysílány pomocí různých technologií, kdy nejrozšířenější jsou asi dvě. První technologií je UAT (Universal Access Transceiver), prostřednictvím které funguje „data link“ komunikace. UAT není podporován pouze ADS-B, ale také systémy FIS-B (Flight Information Service Broadcast) a TIS-B (Traffic Information Service Broadcast), které podporují služby poskytující informace o počasí, provozu a provedení letu. UAT je však využíván pouze v USA a na dálném východě, a to především ve všeobecném letectví (GA). Pro naši práci je důležitá druhá technologie 1090 ES, která se zaměřuje na dekodování zpráv vysílaných odpovídačem. (16)

3.2 1090 ES

Technologie 1090 ES je v podstatě rozšíření klasického odpovídače pracujícího v módu S, kde informace v ADS-B zprávách jsou kódovány ve 112 bitech. (16)

Tabulka 6: Struktura 1090 ES zprávy (16)

Bit #	1 --- 5	6 --- 8	9 ----- 32	33 -----88	89 --- 112
Pole	DF	CA	AA	ME	PI
[Počet bitů]	[5]	[3]	[24]	[56]	[24]

3.2.1 DF (Downlink Format)

Ve všech „Downlink“ formátech se vyskytuje „DF“ pole na prvním místě a obsahuje informaci o typu a kódování zprávy. (16)

- DF 17 – jsou veškeré ADS-B zprávy vyslané pomocí rozšířeného mód S
- DF 18 – Jsou veškeré ADS-B zprávy vyslané jiným než letadlovým vybavením a také jsou takto označené veškeré zprávy TIS-B
- DF 19 – jsou veškeré zprávy, které jsou vysílány armádním vybavením nebo jsou pro vojenské účely

Existují i další formáty, pro nás nejsou ale podstatné. Pro tuto práci jsou využity pouze zprávy formátu DF 17.

3.2.2 CA (Capability Field)

Jedná se o 3 bitové pole, které se používá k informaci o schopnosti a vlastnosti odpovídače. (16)

3.2.3 AA (Address Field)

AA 24 bitové pole obsahuje jedinečnou adresu vysílací stanice. Je tedy možná přesná identifikace vysílajícího letadla nebo vozidla. U kódování DF 17 je v poli AA obsažená ICAO adresa. (16)

3.2.4 ME (Message, Extended Squitter)

ME pole je složeno z 56 bitů a vyskytuje se v každé zprávě 1090 ES. V ME poli se nachází data ADS-B zpráv. Prvních 5 bitů „TYPE Code“, případně další upřesňující 3 bity „SUBTYPE Code“, nám definuje typ zprávy ve zbytku ME pole. (16)

Zprávy 1090 ES tak můžeme rozdělit do několika kategorií, „Airborne Position“, „Airborne Velocity“, „Surface Position“, „Identification and Category“, „Aircraft Intent“, „Aircraft Status“ a další. Pro tuto práci jsou pro nás podstatné zprávy typu „Surface Position“. (16)

Tabulka 7: ME pole "Surface Position" zprávy (16)

Bit zprávy #	33 --- 37	38 ----- 44	45	46 ---- 52
ME bit #	1 --- 5	6 ----- 12	13	14 --- 20
Pole	TYPE Code	Movement	Heading/ Ground track status	Heading/Ground track
[Počet bitů]	[5]	[7]	[1]	[7]
Bit zprávy #	53	54	55 ----- 71	72 ----- 88
ME bit #	21	22	23 ----- 39	40 ----- 56
Pole	Time	CPR format	CPR encoded latitude	CPR encoded longitude
[Počet bitů]	[1]	[1]	[17]	[17]

3.2.4.1 Type Code

Pro „Surface Position“ zprávy má hodnotu 5 až 8. „SUBTYPE Code“ se u těchto zpráv neaplikuje. (16)

3.2.4.2 Movement

„Movement“ pole se skládá ze 7 bitů a obsahuje informaci o pohybu letadla nebo vozidla na zemi. (16)

3.2.4.3 Heading / Ground track status

Jedná se o 1 bitové pole, které nám určuje, zda data v následujícím poli jsou správná. (16)

3.2.4.4 Heading / Ground track

Je 7 bitové pole obsahující údaje o pohybu ADS-B vysílače na zemi. (16)

3.2.4.5 Time

„Time“ pole nám pomocí 1 bitu určuje, zda je období platnosti horizontální polohy rovno přesně 0,2s UTC době. (16)

3.2.4.6 CPR Format

„CPR Format“ nám určuje pomocí 1 bitového pole formát kódování CPR (Compact Position Reporting). Typy formátů máme dva, sudý „EVEN“ a lichý „ODD“ a znalost těchto formátů slouží k dekódování zeměpisné šířky a výšky v následujících dvou polích, „latitude“ a „longitude“. (16)

3.2.4.7 CPR encoded latitude

Jedná se o 17 bitové pole, ve kterém je zakódovaná podle CPR postupu zeměpisná šířka. (16)

3.2.4.8 CPR encoded longitude

Stejně jako „CPR encoded latitude“ jde o 17 bitové pole, ale na rozdíl od předešlého, je zde zakódovaná zeměpisná délka. (16)

3.2.5 PI (Parity / Identify)

PI je 24 bitové pole, které obsahuje ověření správnosti zprávy. Tedy můžeme z informace vyčíst, zda zpráva nebyla při vysílání či přijímání poškozena. Chybné zprávy je možné na základě tohoto pole opravit a následně použít. Využívá se k tomu pokročilých dekódovacích programů. Pokud je ADS-B zpráva v pořádku, je pole PI rovno hodnotě nula. (16)

3.3 DEKÓDOVÁNÍ POLOHY

Jak již bylo výše uvedeno, pro kódování polohy se využívá metoda CPR s dvěma formáty, sudým a lichým. Dva formáty mají výhodu kompaktnosti a efektivnosti pro ADS-B zprávy, protože umožňuje některé části zprávy (vyšší bity polohy v pořadí) neodesílat v každé zprávě. Jedná se o takové bity, které se po dlouhý čas nemění a v každé zprávě by byly stejné. Vzhledem k tomu, že některé bity nejsou odeslané, může pro kódovanou polohu existovat více reálných poloh na Zemi. (16)

Pro určení nezaměnitelné polohy je poté třeba přijímat oba formáty v krátkém čase (u Surface position zprávy přibližně 50 sekund). Tento způsob se nazývá „globální nezaměnitelné kódování“ (globally unambiguous encoding). Druhým způsobem je tzv. „lokální nezaměnitelné kódování“ (locally unambiguous encoding), v tomto případě stačí přijmout pouze jednu zprávu. To je umožněno tím, že jsou jednotlivé sektory kódované polohy pro „Surface position“ zprávy odděleny minimálně 90 NM. Poté nám stačí k určení reálné polohy znát referenční polohu, okolo které se v okruhu 45 NM letadlo nebo vozidlo nachází. Pro získání polohových dat v mé práci byla použita právě metoda „lokálního kódování“ za pomoci programu „ADSBdecoder“. (16)

3.3.1 Lokální dekódování „Surface position“ zprávy

Následující kapitola je věnována výpočtu k získání polohy z kódované zprávy. (16)

Tabulka 8: Parametry pro metodu CPR kódování (16)

XZ	Nachází se ve zprávě ADS-B (ME bity 40-56) a jedná se o polohovou informaci ve směru východ – západ.
YZ	Nachází se ve zprávě ADS-B (ME bity 23-39) a jedná se o polohovou informaci ve směru sever – jih.
Dlat	Definuje velikost sektoru ve směru sever – jih.
Dlon	Definuje velikost sektoru ve směru východ – západ.
NZ	Určuje počet sektorů mezi rovníkem a pólem. NZ = 15
NL	Určuje počet sektorů podle zeměpisné délky.
i	Určuje, zda se jedná o sudý / lichý formát. (ME bit 22)
j	„latitude zone index number“
m	„longitude zone coordinate“
lat_s	Referenční zeměpisná šířka.
lon_s	Referenční zeměpisná délka
Nb	Počet bitů potřebných pro odeslání CPR kódované zeměpisné šířky nebo délky. Pro „Surface“ zprávu Nb = 19.
Rlat	Reálná zeměpisná šířka.
Rlon	Reálná zeměpisná délka.

1. Nejprve je potřebné vypočítat parametr **Dlat**

$$Dlat_i = \frac{360^\circ}{4 * NZ - i}$$

2. V dalším kroku vypočítáme parametr **j** ze známých hodnot **lat**, **Dlat** a **YZ**

$$j = FLOOR \left(\frac{lat_i}{Dlat_i} \right) + FLOOR \left(\frac{1}{2} + \frac{MOD(lat_s, Dlat_i)}{Dlat_i} - \frac{YZ_i}{2^{Nb}} \right)$$

3. Vypočítáme hodnotu zeměpisné šířky **Rlat**

$$Rlat_i = Dlat_i * \left(j + \frac{YZ}{2^{NB}} \right)$$

4. Výpočet parametru **NL**

$$NL(Rlat) = FLOOR \left(2\pi \left[\arccos \left(1 - \frac{1 - \cos \left(\frac{\pi}{2 * NZ} \right)}{\cos^2 \left(\frac{\pi}{180^\circ} * |lat| \right)} \right) \right]^{-1} \right)$$

5. Výpočet parametru **Dlon**

$$Dlon = \begin{cases} 90^\circ, & \text{when } NL(Rlat) - i > 0 \\ NL(Rlat) - i, & \text{when } NL(Rlat) - i = 0 \\ 90^\circ, & \text{when } NL(Rlat) - i < 0 \end{cases}$$

6. Koordinát **m** vypočteme

$$m = FLOOR \left(\frac{lon_i}{Dlon_i} \right) + FLOOR \left(\frac{1}{2} + \frac{MOD(lon_s, Dlon_i)}{Dlon_i} - \frac{XZ_i}{2^{NB}} \right)$$

7. Výpočet zeměpisné délky **Rlon**

$$Rlon_i = Dlon_i * \left(m + \frac{XZ}{2^{NB}} \right)$$

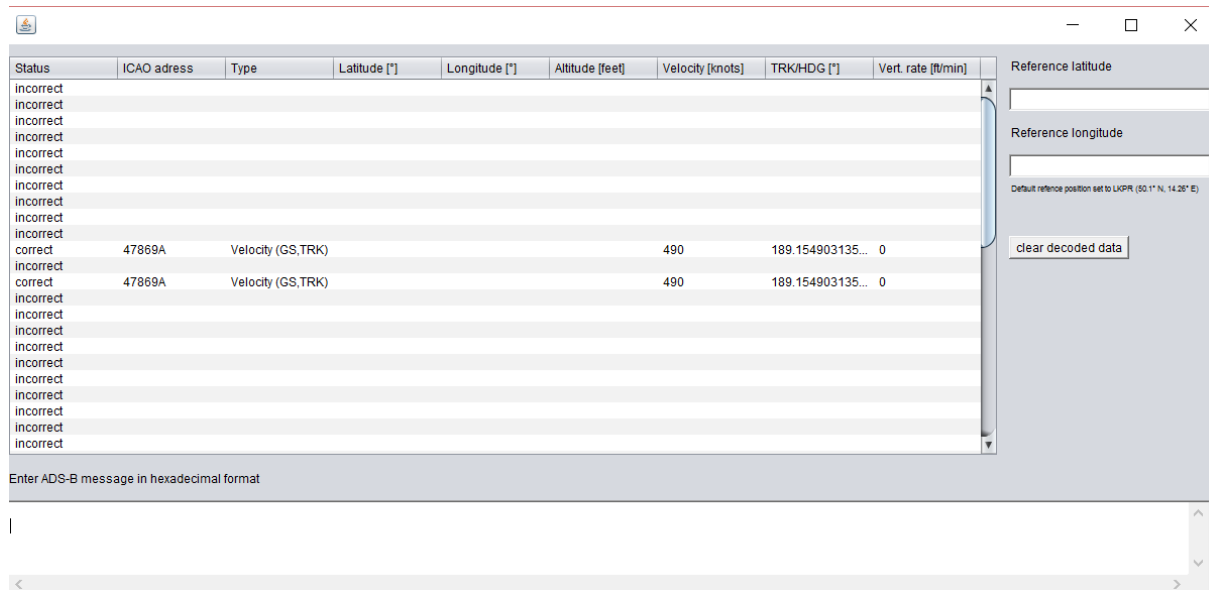
Výsledná poloha je rovna parametrům **Rlat** a **Rlon**. (16)

4 ZPRACOVÁNÍ DAT

4.1 DATA ADS-B

Data z letiště Praha/Ruzyně byla získána pomocí pasivního systému P3D - AS, který je schopen zachytávat ADS-B zprávy. Výpis zachycených zpráv poskytla pro účely týkající se této bakalářské práce společnost ERA a.s. již vytříděný pouze na zprávy DF 17 a ve formátu „.txt“. Pro následné snadnější zpracování byla data převedena do formátu „.xls“ a roztríděna na nepoškozená a poškozená. Náznak poškození je značen ve sloupci „=crcmu“ a „=crcsw“. Pro nepoškozená data platí, že v obou sloupcích se nachází hodnota 0. Dále také bylo provedeno protřídění dat, která jsou neúplná, tedy část zprávy nebyla zaznamenána přijímačem. Tyto zprávy jsou označené ve sloupci s názvem „X“.

Následně pomocí programu „ADSBdecoder“ byla nepoškozená data dekodována a opět zahrnuta do tabulky (ADSBdecoder data dekoduje opět do formátu „.txt“). Po dekodování byl již znám typ zprávy a data mohla být dále roztríděna pouze na „Surface position“ zprávy, které udávají polohu letadel nebo jiných dopravních prostředků na zemi.



Obrázek 19: Uživatelské rozhraní programu ADSBdecoder

Ukázka textového souboru od společnosti ERA a.s.:

DMU[ns]=3.125000 DMI[us]=409.600000 DLI[ms]=49.152000 DLI[dmj]=120 DLI[dmu]=15728640 DMI[dmu]=131072

```

block#  byte#  unixtim.nnnn    mitim   toaf2  toaf1  kod  ch iff spi
block#  byte#  unixtim.nnnn    mitim   toap4  toap1  adress ch DF  parity  P  F =crcmu =crclsx x =====data===== _=====data===== _ =====HWE===== _=====HWE===== _
8;s;   10e58; 1381940669.0000; 775776368; 610546; 610545; 408080; 17; 17; 000000; 0; 1; 256E9E; 39B5B2; ; 89_40_80_80_58_82_00_04_22_04_00_00_00_00_00; ; 11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_
8;s;   10e60; 1381940669.0000; 775776368; 611087; 611087; 468692; 18; 17; 202087; 0; 0; 6F8F8B; 4AF6E7; ; 8D_46_86_92_50_C0_81_1C_B2_16_7B_20_20_87; ; 00_01_00_01_01_01_10_10_11_11_01_01_11_10_
8;s;   10fe4; 1381940669.0000; 775776368; 745823; 745832; 47829A; 14; 17; 1F82A4; 0; 0; 03CCA6; 0288DF; ; 89_47_82_9A_99_14_4F_BC_A0_04_OC_1F_82_A4; ; 01_00_11_00_10_00_00_00_00_01_00_10_11_
8;s;   10fe8; 1381940669.0000; 775776368; 746418; 746421; 46829A; 16; 17; 198084; 0; 1; 43A427; 7D3ADF; ; 8D_46_82_9A_99_14_4F_B0_A0_00_0C_19_80_84; ; 10_11_11_00_00_10_10_01_00_01_11_01_11_11_
8;s;   10fec; 1381940669.0000; 775776368; 746642; 746644; 47069A; 18; 17; 1880A4; 0; 0; 1911F9; 11E1BA; ; 8D_47_06_9A_99_10_4F_AC_20_04_04_18_80_A4; ; 00_00_10_01_00_11_10_10_10_00_11_11_11_00_
8;s;   10ff4; 1381940669.0000; 775776368; 748398; 748402; 47869A; 3; 17; 1F82A4; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_47_86_9A_99_14_4F_BC_A0_04_OC_1F_82_A4; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   10ffc; 1381940669.0000; 775776368; 749051; 749054; 47869A; 0; 17; 1F82A4; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_47_86_9A_99_14_4F_BC_A0_04_OC_1F_82_A4; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   11004; 1381940669.0000; 775776368; 749504; 749512; 47869A; 9; 17; 1F82A4; 0; 1; 00242C; 003836; ; 8D_47_86_9A_99_14_4F_BC_A0_04_08_1F_82_A4; ; 10_00_00_00_00_00_00_00_00_01_00_00_00_00_
8;s;   1101c; 1381940669.0000; 775776368; 751986; 751991; 47869A; 13; 17; 1B82A4; 0; 0; 060024; 040000; ; 8D_47_86_9A_99_14_4F_BC_A0_04_0C_1B_82_A4; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_01_00_00_00_
8;s;   11028; 1381940669.0000; 775776368; 753554; 753561; 420618; 1; 17; 000000; 0; 0; C6E702; 84BD3B; ; 8D_42_06_18_10_04_44_08_20_00_04_00_00_00; ; 00_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_11_
8;s;   11030; 1381940669.0000; 775776368; 754388; 754391; 478698; 2; 17; 1F82A4; 0; 0; 81E6C2; FEBE8A; ; 8D_47_86_98_99_14_4E_BC_A0_04_OC_1F_82_A4; ; 00_00_00_01_00_00_01_00_01_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   1103c; 1381940669.0000; 775776368; 755872; 755882; 45009A; 5; 17; 1D0084; 0; 1; 0CFACD; 08ACFF; ; 8D_45_00_9A_18_04_05_B8_20_00_00_1D_00_84; ; 10_01_11_10_11_10_11_01_10_11_11_11_11_11_11_11_
8;s;   11064; 1381940669.0000; 775776368; 759643; 759643; 47869A; 11; 17; 1F82A4; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_47_86_9A_99_14_4F_BC_A0_04_OC_1F_82_A4; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   120dc; 1381940669.0000; 775776368; 6799024; 6799029; 440665; 14; 17; E13CE9; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_3C_E9; ; 00_01_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   120e0; 1381940669.0000; 775776368; 6799414; 6799389; 440465; 17; 17; C030A9; 0; 0; 9CCAA6; E889F7; ; 8D_44_04_65_99_05_24_1A_88_08_04_C0_30_A9; ; 00_10_01_00_01_10_11_10_11_11_11_11_01_11_11_11_
8;s;   120e4; 1381940669.0000; 775776368; 6799611; 6799607; 440665; 16; 17; E12CE9; 0; 0; 001800; 001000; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_2C_E9; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_10_00_00_00_
8;s;   120e8; 1381940669.0000; 775776368; 6799978; 6799974; 440665; 18; 17; C12C29; 0; 0; 69CDB9; 4E8AFE; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_80_08_0A_C1_2C_29; ; 00_00_10_01_00_00_00_00_11_10_01_11_11_11_11_
8;s;   120ec; 1381940669.0000; 775776368; 6799995; 6799996; 440445; 15; 17; 411060; 0; 0; 3B9F04; 2D147F; ; 8C_44_04_45_99_45_34_0A_88_08_0A_41_10_60; ; 01_00_01_11_01_00_01_10_10_11_11_11_11_11_11_11_
8;s;   120f0; 1381940669.0000; 775776368; 6801170; 6801171; 440645; 19; 17; E13CA1; 0; 0; 369762; 24E440; ; 8D_44_06_45_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_3C_A1; ; 00_00_00_10_00_00_10_00_00_00_00_00_00_11_11_11_11_
8;s;   120fc; 1381940669.0000; 775776368; 6802154; 6802157; 440665; 3; 17; E13CE9; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_3C_E9; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   1210c; 1381940669.0000; 775776368; 6802928; 6802925; 440665; 0; 17; E13CE9; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_3C_E9; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_
8;s;   12110; 1381940669.0000; 775776368; 6803214; 6803210; 440665; 9; 17; E13CE9; 0; 0; 000000; 000000; ; 8D_44_06_65_99_45_34_1A_88_08_0E_E1_3C_E9; ; 00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_00_

```

4.2 MAPA LKPR

Pro vyhodnocení GNSS polohových dat, která byla získána ze zpráv 1090ES, bylo zapotřebí mít mapu letiště Praha/Ruzyně s evidovaným denním značením, aby bylo možné odečíst souřadnice významných bodů. Tyto významné body definují křivky, ke kterým je zjišťována odchylka od reálné polohy letadla, v případě této práce se bude jednat o křivky osy pojezdové dráhy. Mapa pro tuto práci byla poskytnuta oddělením geodézie a kartografie Letiště Praha a.s. Pro vznik této mapy byla použita digitalizace původní analogové mapy v měřítku 1:1000 a je vedena v programovém prostředí Topobase v zobrazovacím systému S-JTSK se vztažným měřítkem 1:500. Digitální forma mapy je průběžně doplňována z geodetického zaměření skutečného provedení staveb. Pro potřebu této práce byla mapa převedena do zobrazení systému WGS84 pomocí SW AutoCAD. (17).

Referenční parametry pro WGS 84 jsou (19):

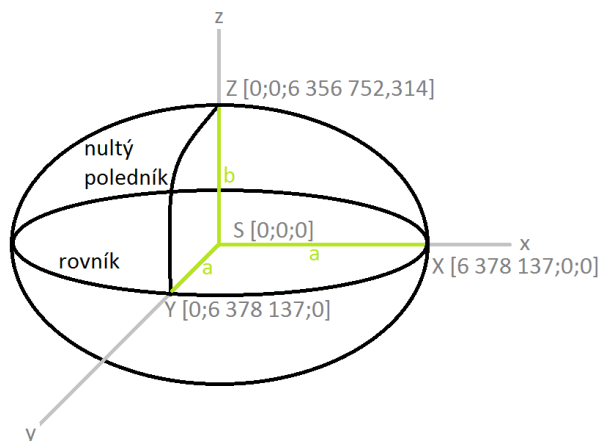
- Délka hlavní poloosy: $a = 6\,378\,137\text{ m}$
- Převrácená hodnota zploštění ($f = 1 - b/a$): $1/f = 298,257223563$
- Úhlová rychlost Země: $\omega = 7,292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$
- Gravitační parametr: $GM = (3986004,418 \pm 0,008) \times 10^8\text{ m}^3/\text{s}^2$

Z toho je možné získat potřebné parametry:

- Délka vedlejší poloosy $b = 6\,356\,752,314\text{ m}$
- Excentricita $e = 8,1819190842622 \times 10^{-2}$

4.3 PŘEVOD POLOHOVÝCH DAT Z WGS84 DO SYSTÉMU ECEF

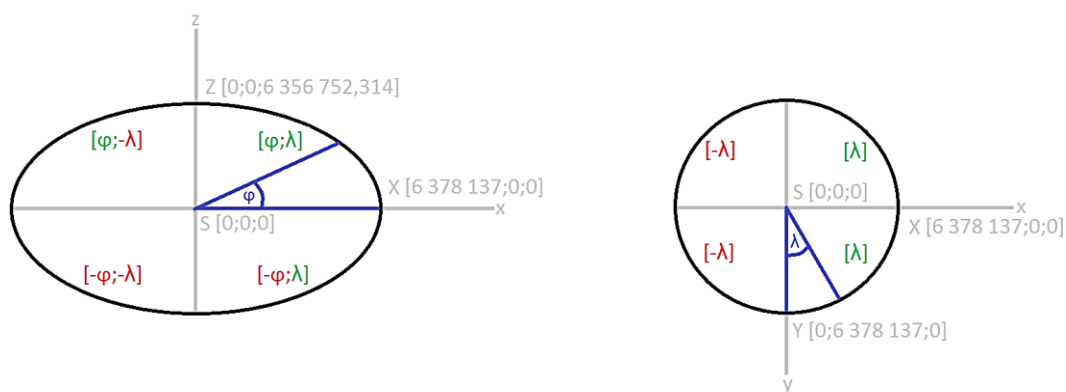
Pro lepší zpracování dat byly převedeny souřadnice naměřených GNSS poloh a souřadnice význačných bodů do systému ECEF (Earth – Cnetered, Earth – Fixed) s počátečním bodem $S[0;0;0]$ ve středu elipsoidu definovaného parametry WGS84, kde osa y prochází bodem $S[0;0;0]$ a bodem $Y[0;6\ 378\ 137;0]$, který je definován průsečíkem rovníku a nultého poledníku.



Obrázek 20: Elipsoid WGS84

Z obrázku je zřejmé, že zemská šířka φ je definována jako úhel v rovině os x a z , kde severní šířku budeme označovat kladně $+\varphi$ a jižní šířku záporně $-\varphi$.

Zemská délka λ je definována obdobně, ale s tím rozdílem, že se jedná o úhel v rovině xy , kde východní délka bude označována kladně $+\lambda$ a západní délka záporně $-\lambda$.



Obrázek 21: Přehled rovin "xz" a "xy"

Pro správný převod do systému ECEF je potřeba znát výšku h , v které se polohový bod nachází, a poloměr křivosti N . Pro tuto práci byla jako výška h zvolena referenční výška letiště, která může být

použita pro každý bod v zkoumané oblasti, protože případná chyba je velmi malá, jak bude vysvětleno dále.

Pro převod do systému souřadnic ECEF zvolíme libovolný bod $A[\varphi_A; \lambda_A]$ s výškou h_A a vypočteme poloměr křivosti:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2(\varphi)}}$$

Souřadnice x , y a z vypočteme následovně:

$$x = (N + h) * \cos(\varphi) * \sin(\lambda)$$

$$y = (N + h) * \cos(\varphi) * \cos(\lambda)$$

$$z = (N * (1 - e^2) + h) * \sin(\varphi)$$

Tedy výsledný převod bodu A :

$$A[\varphi_A; \lambda_A] \Rightarrow A[(N + h) * \cos(\varphi) * \sin(\lambda); (N + h) * \cos(\varphi) * \cos(\lambda); (N * (1 - e^2) + h) * \sin(\varphi)]$$

4.4 URČENÍ VZDÁLENOSTI OD REFERENČNÍ KŘIVKY

Po převedení polohových dat a význačných bodů do kartézské soustavy souřadnic můžeme pro výpočet vzdáleností použít klasickou analytickou matematiku. Pro zjednodušení jsme v našem případě vybrali za referenční křivku přímku t , která je dána dvěma body v prostoru (význačné body) $T_1[x_1; y_1; z_1]$ a $T_2[x_2; y_2; z_2]$. Bod polohy letadla označíme $A[x_A; y_A; z_A]$ a definujeme parametr p a bod X ležící na přímce t , kde platí, že XA je kolmé na přímku t .

Přímka t je dána parametricky:

$$x_t = x_1 + (x_2 - x_1) * p$$

$$y_t = y_1 + (y_2 - y_1) * p$$

$$z_t = z_1 + (z_2 - z_1) * p$$

Pokud platí, že XA je kolmé na t , pak:

$$(A - X) * [(x_2 - x_1); (y_2 - y_1); (z_2 - z_1)] = 0$$

Po dosazení za X z parametrické rovnice přímky t , dostaneme vyjádřený parametr p :

$$\begin{aligned} [x_A - (x_1 + (x_2 - x_1) * p)] * [x_2 - x_1] + [y_A - (y_1 + (y_2 - y_1) * p)] * [y_2 - y_1] + \\ + [z_A - (z_1 + (z_2 - z_1) * p)] * [z_2 - z_1] = 0 \end{aligned}$$

Po úpravě dostáváme:

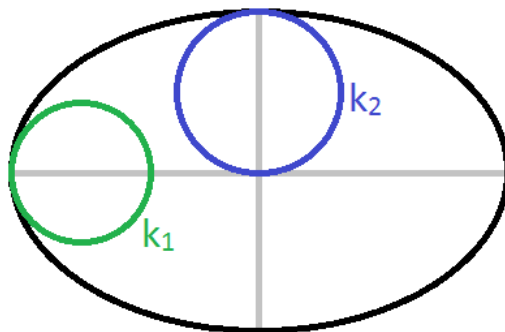
$$p = \frac{x_2 * x_A - x_1 * x_A - x_1 * x_2 + x_1^2 + y_2 * y_A - y_1 * y_A - y_1 * y_2 + y_1^2 + z_2 * z_A - z_1 * z_A - z_1 * z_2 + z_1^2}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Nyní známe parametr p a po dosazení parametru do parametrické rovnice přímky t dostáváme souřadnice bodu X . Pro výpočet vzdálenosti d potom tedy platí:

$$d = \sqrt{(x_1 + (x_2 - x_1) * p - x_A)^2 + (y_1 + (y_2 - y_1) * p - y_A)^2 + (z_1 + (z_2 - z_1) * p - z_A)^2}$$

Ačkoliv jsme na Zemi a její povrch je zaoblený, je možné vzdálenost d počítat jako přímou vzdálenost mezi bodem X a A , protože chyba vzniklá při takovémto výpočtu dosahuje pro krátkou vzdálenost velmi malé hodnoty.

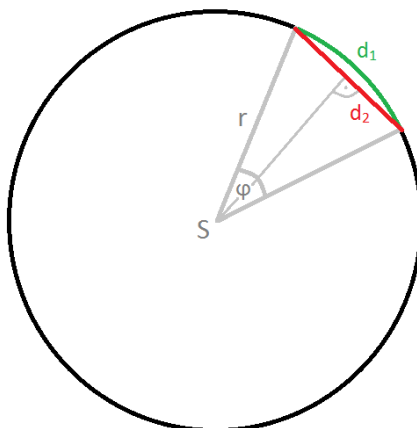
Důkaz: Pro důkaz si vezmeme kružnici s nejmenším poloměrem, na výběr máme kružnici k_1 se středem v ohnisku elipsy a bodem dotyku s průsečíkem hlavní poloosy a kružnici k_2 se středem v polovině vedlejší poloosy a bodem dotyku s průsečíkem vedlejší poloosy. Tyto kružnice budou mít vždy větší zaoblení, než samotná elipsa v bodě dotyku s danou kružnicí.



Obrázek 22: Dvě kružnice s větším zaoblením v bodě dotyku elipsy

V našem případě má menší poloměr kružnice k_2 , a proto si vybereme pro náš důkaz právě ji.

Budeme se snažit dokázat, že délka oblouku d_1 kružnice k_2 je bezvýznamně delší než přímá vzdálenost d_2 krajních bodů stejného oblouku.



Obrázek 23: Porovnání vzdáleností na kružnici

Pro vzdálenost d_1 platí:

$$d_1 = \frac{2 * \pi * r}{360} * \varphi$$

Pro vzdálenost d_2 platí:

$$d_2 = 2 * r * \sin \frac{\varphi}{2}$$

Výpočet rozdílu vzdáleností $d_1 - d_2$ po úpravě:

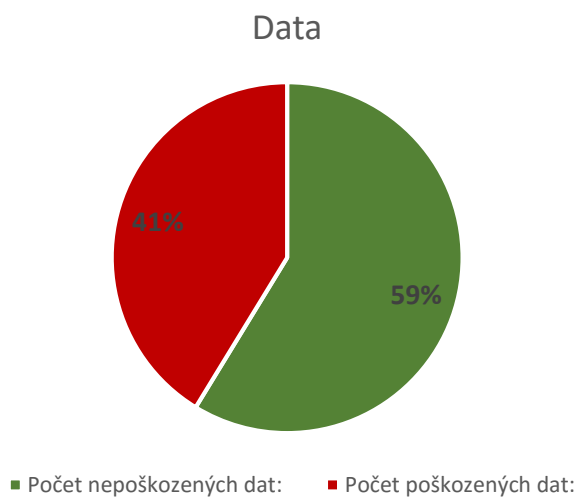
$$d_1 - d_2 = 2 * r * \left(\frac{\pi}{360} * \varphi - \sin \frac{\varphi}{2} \right)$$

Po dosazení $r = 3\,178\,376,157\text{ m}$; $d_2 = 1\,000\text{ m}$ dostaneme $\varphi = 1,8027 * 10^{-2}^\circ$, $(d_1 - d_2) = 4,12 * 10^{-3}\text{ mm}$.
To znamená, že pokud naměříme odchylku reálné polohy od osy pojižděcí dráhy v hodnotě jednoho kilometru, dopustili jsme se chyby maximálně v řádu 10^{-3} mm , což je pro naše účely zanedbatelné.

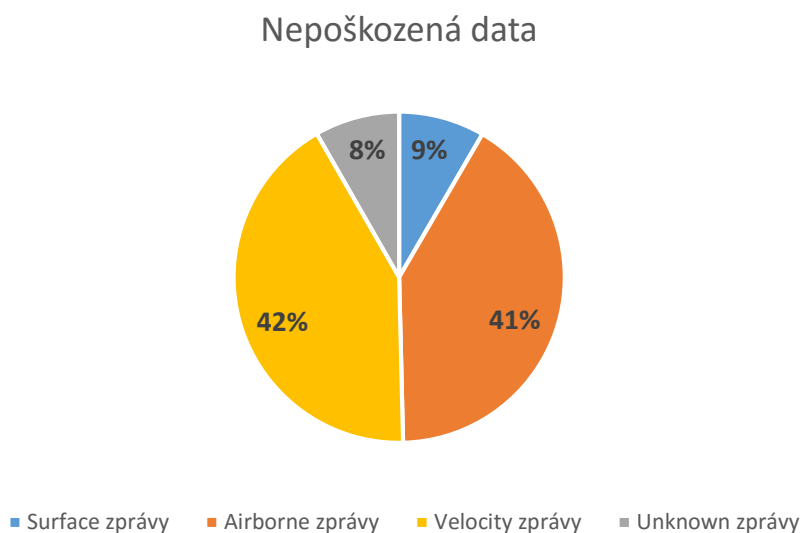
5 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

5.1 OBECNÉ INFORMACE

Pro tuto práci bylo poskytnuto celkem 363 015 řádků dat, z čehož s náznakem poškození bylo 149 793 řádků.



Nepoškozená data zahrnovala tři typy zpráv, u některých zpráv typ nebyl zjištěn.

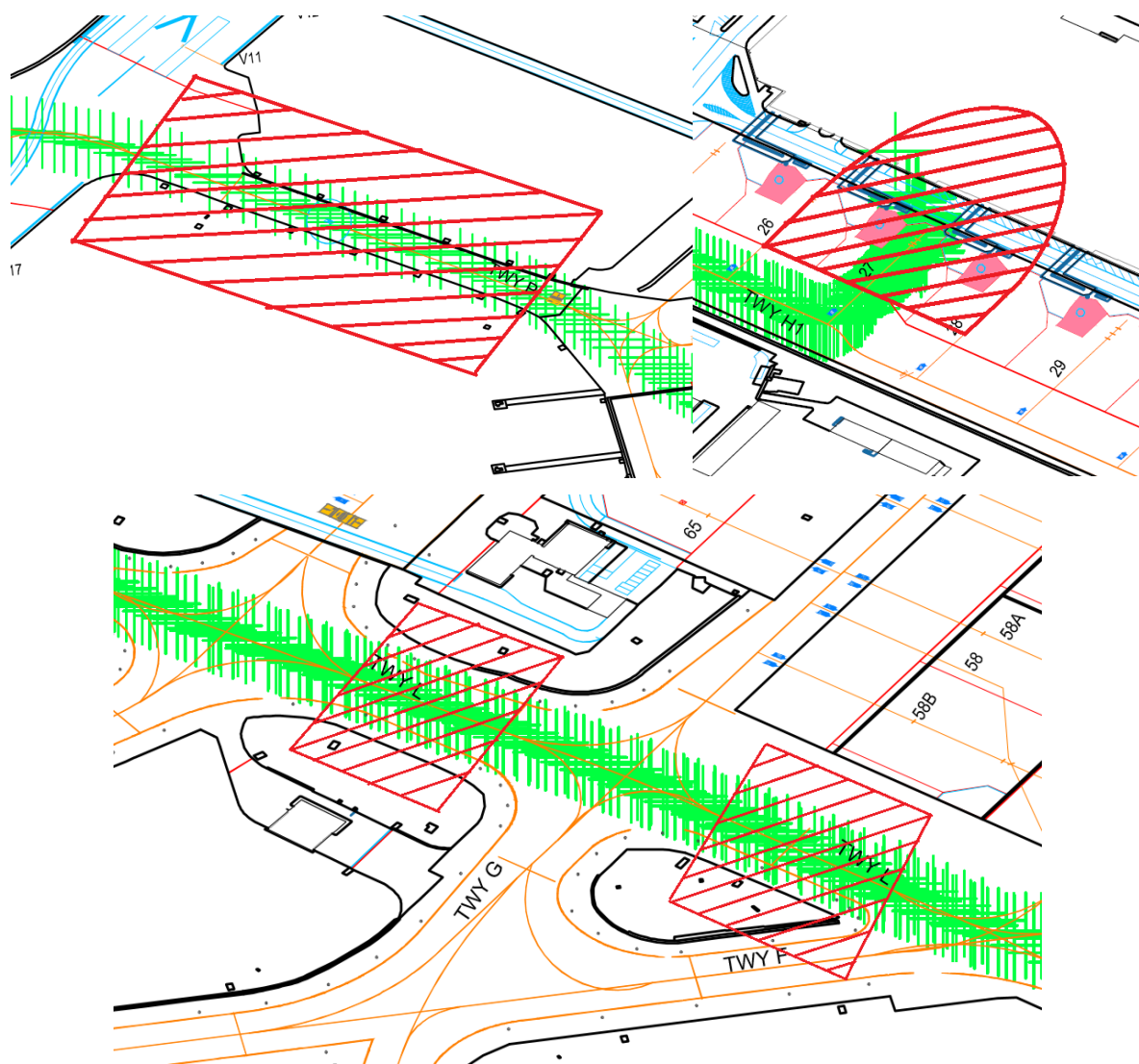


Jak je vidět z grafu, „Surface position“ zpráv nebylo mnoho, konkrétně 17 892 řádků, které zachytily pohyb pěti letadel.

5.2 VÝPOČET ODCHYLKY OD OSY POJEZDOVÉ DRÁHY

5.2.1 Volba sektorů

Pro vyhodnocení odchylek byly vybrány celkem čtyři sektory na letišti Praha/Ruzyně, konkrétně se jedná o sektory pojezdové dráhy Lima (TWY L) a to mezi křížením s TWY D až TWY G a TWY G až TWY F. Třetí sektor se nachází na pojezdové dráze Papa (TWY P) u terminálu 3, sektor je stanoven od křížení s RWY 04/22 až po křížení s TWY N a jako čtvrtý sektor bylo vybráno stání 27. Úsek vyhodnocení byl brán pouze v rozsahu, kde nemohlo dojít k odbočení letadla na jinou pojezdovou dráhu.



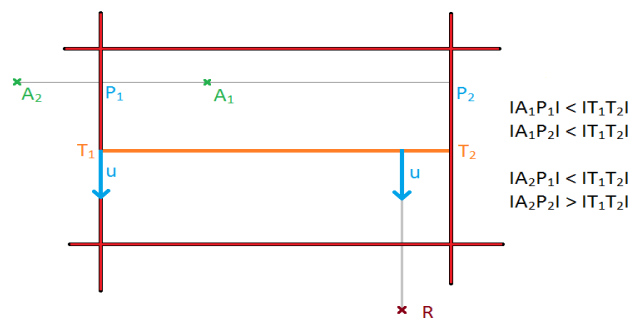
Obrázek 24: Vybrané sektory pro vyhodnocení odchylky

5.2.2 Ohraničení sektorů

Sektory byly příčně ohraničené křížením pojezdových drah a podélně hodnotou, kterou bylo možno v tabulce editovat (příloha Data ADS-B.xls, záložka „seznam TWY“). Pro vyhodnocení v této práci byla u sektorů nastavena šířka pásma na 200 m, tedy 100 m na každou stranu od osy pojezdové dráhy.

Podélného ohraničení bylo dosaženo filtrací dat odchylek převyšující nastavenou hodnotu šířky pásma.

Příčného ohraničení bylo dosaženo značně složitěji. Nejprve bylo zapotřebí definovat rovinu oblasti, v které se dané sektory budou nacházet. Pro definování této roviny byly využity postranní body sektoru, které se nacházely na ose pojezdové dráhy, označme T_1 a T_2 (zároveň nám tyto body definují přímkou osy pojezdové dráhy) a referenční bod letiště Praha/Ruzyně $R [50,10083333^\circ \text{ s.š.}; 14,26000000^\circ \text{ v.d.}]$. Z takto definované roviny byl získán jednotkový vektor u , který je kolmý k dané ose pojezdové dráhy. Tento vektor následně sloužil k určení kolmých přímk z bodů T_1 , T_2 , od kterých byla měřena vzdálenost k polohovému bodu letadla A (pomocí stejného vzorce, jako měření vzdálenosti polohového bodu od osy pojezdové dráhy, uvedeného v kapitole 4.4). Vzdálenost AP_1 a nebo AP_2 nesmí přesáhnout vzdálenost krajních bodů sektorů T_1T_2 . Bod P leží na průsečíku kolmice z bodu T k ose pojezdové dráhy a rovnoběžky k ose dráhy procházející bodem A . Pokud jedna ze vzdáleností AP přesáhne hodnotu vzdálenosti T_1T_2 , nachází se polohový bod mimo daný sektor a nemůže tedy být brán do vyhodnocení, přestože splňuje podélnou podmínku ohraničení.



Obrázek 25: Ohraničení sektoru sběru dat

5.2.2.1 Sektor „stání 27“

Specifickým sektorem je stání 27. Zde byla šířka pásma zvolena 65 m na každou stranu od osy a kolem přesné pozice stání předního podvozku byla vytyčena hranice sběru dat kružnicí o poloměru 65 m.

Pro výpočet v tomto sektoru byla snaha odlišit, kdy je letadlo v pohybu a kdy již stojí na stání. Protože z dat není možné vyčíst tento údaj, respektive údaj o rychlosti vyčíst jde, ale po celou dobu stání letadla je tento údaj nenulový, byla pro sběr dat určena hranice 4,5 kt (knots). Tedy pokud údaj o rychlosti byl menší jak 4,5 kt, letadlo bylo bráno jako nepohybující se a odchylka byla počítána od bodu stání všemi směry.

5.3 SEKTOR TWY L/D – TWY L/G

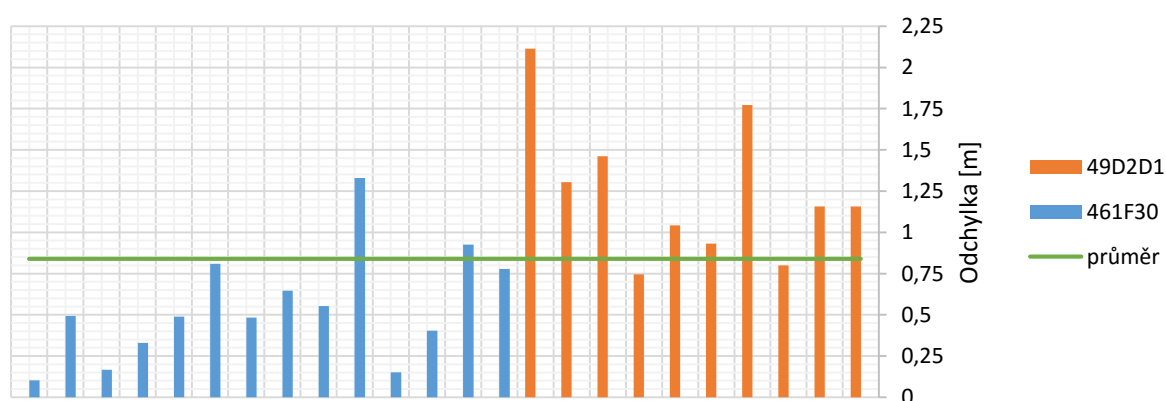
Jedná se o již zmíněný sektor na TWY L od křížení s TWY D až po křížení s TWY G. V tomto sektoru se nám pohybovala dvě letadla, u kterých jsme zaznamenali 24 neduplicitních záznamů (každá poloha je přijímána více přijímači a tím vznikají duplicitní záznamy). V průměru byl každý záznam přijat 12 přijímacími stanicemi. Maximální odchylka, která byla zjištěna z těchto dat, se rovnala hodnotě 2,1142 m a liší se od průměru v tomto sektoru o 1,2746 m.

Tabulka 9: Základní statistické hodnoty sektoru L/D - L/G

L/D-L/G					
	Odchylka [m]	Počet letadel	Počet přijímacích stanic	Počet celkem záznamů	Počet neduplicitních záznamů
Suma	-	2	-	292	24
Průměr	0,8396	-	12	-	-
Medián	0,7887	-	13	-	-
Maximální	2,1142	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	1,2746	-	-	-	-
Minimální	0,1022	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	0,7374	-	-	-	-

Následující graf ukazuje v časové posloupnosti odchylky od reálné polohy pohybů dvou letadel v oblasti TWY L/D –L/G. (Na ose x je tedy pouze posloupnost údajů, nepředstavuje časový údaj).

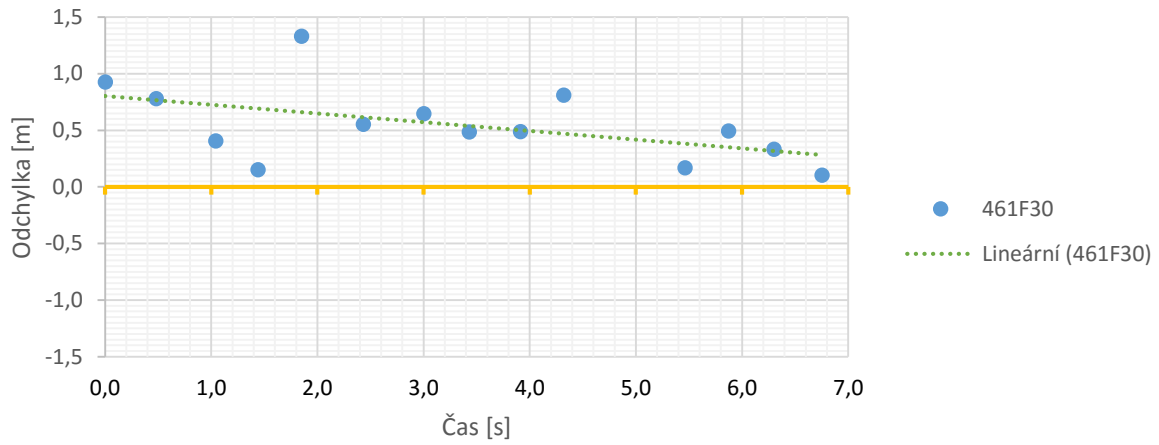
Odchylky sektoru L/D - L/G



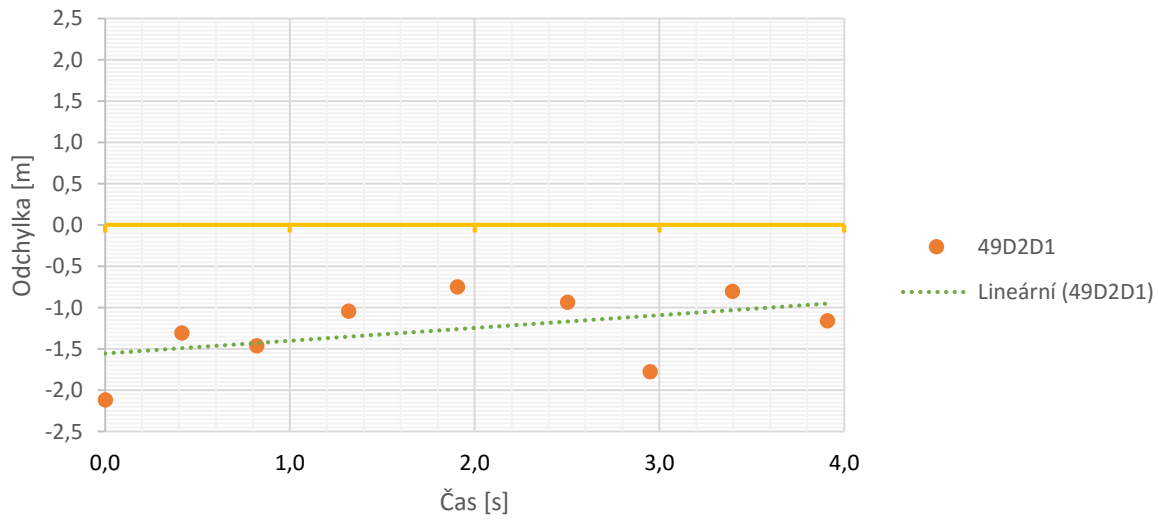
Jak je z grafu vidět, v tomto pozorovaném úseku byla největší odchylka naměřena u letadla s ICAO kódem „49D2D1“. Jedná se o letadlo Cirrus SR-22, s registrační značkou OK–SVM.

Dynamická chyba je znázorněna na následujících dvou grafech. Pro každé letadlo jeden graf, kde je zvýrazněna žlutě nulová odchylka (představuje osu pojezdové dráhy).

Odchyly sektoru L/D - L/G letadla "461F30"



Odchyly sektoru L/D - L/G letadla "49D2D1"



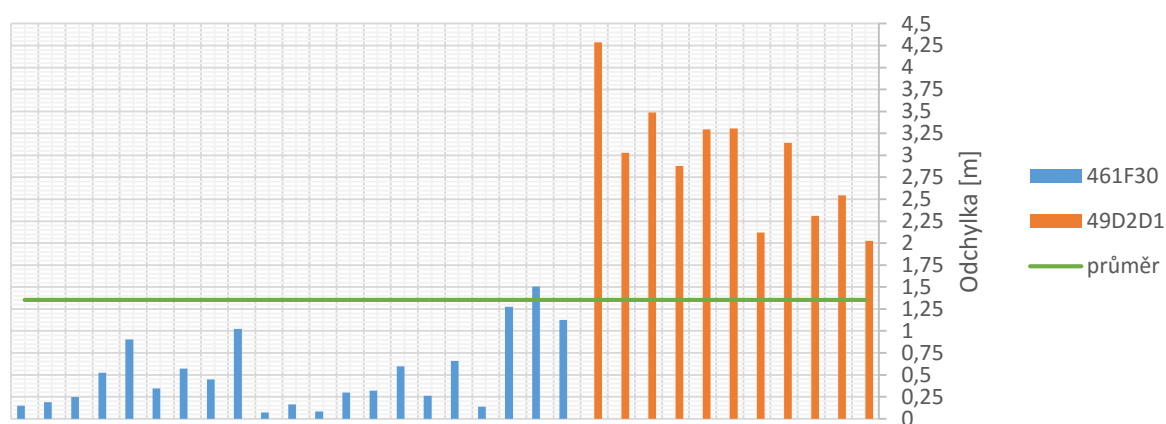
5.4 SEKTOR TWY L/G – L/F

Je to sektor na pojezdové dráze TWY L od křížení s TWY G až po křížení TWY F. Na tomto sektoru je zaznamenán pohyb dvou letadel s ICAO kódem „461F30“ a „49D2D1“. Celkem bylo zaznamenáno 32 poloh na průměrně 12 přijímacích stanicích. Průměrná odchyłka činila 1,3541 m a rozdíl maximální odchyłky od průměrné byl 2,9333 m.

Tabulka 10: Základní statistické hodnoty sektoru L/G - L/F

L/G-L/F					
	Odchyłka [m]	Počet letadel	Počet přijímacích stanic	Počet celkem záznamů	Počet neduplicitních záznamů
Suma	-	2	-	397	32
Průměr	1,3541	-	12	-	-
Medián	0,7815	-	13	-	-
Maximální	4,2874	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	2,9333	-	-	-	-
Minimální	0,0708	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	1,2833	-	-	-	-

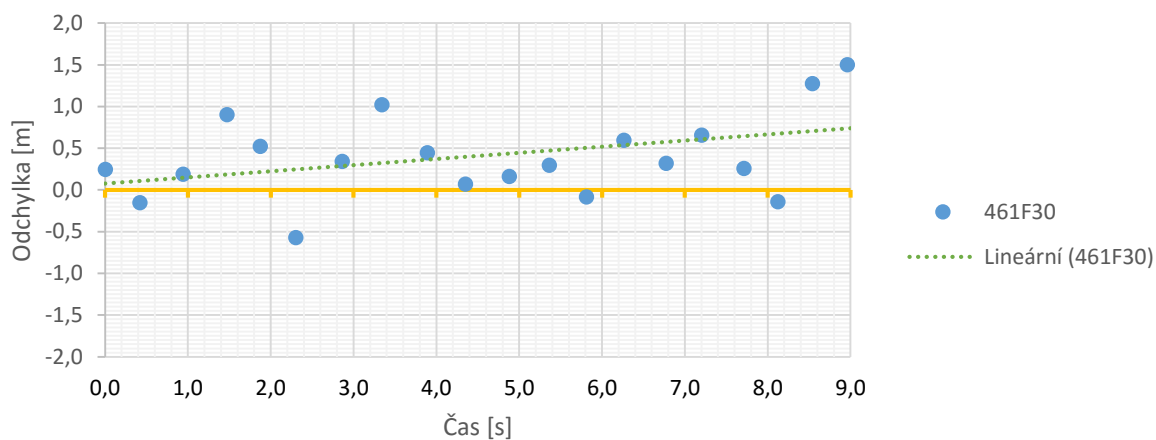
Odchyłky sektoru L/G - L/F



Na grafu je opět vidět značný rozdíl odchyłek letadla „461F30“ od „49D2D1“.

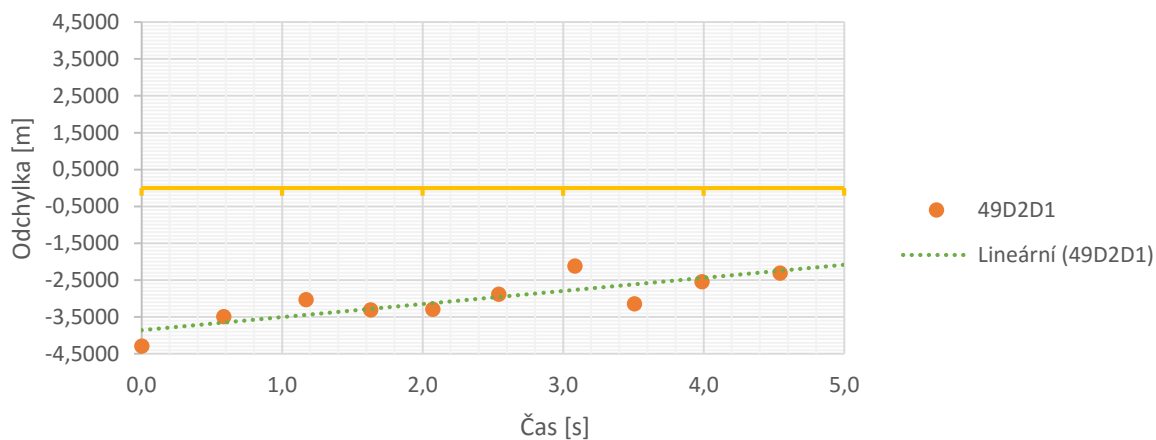
Opět v tomto sektoru je vyznačena dynamická chyba na následujících dvou grafech.

Odchyšky sektoru L/G - L/F letadla "461F30"



Na následujícím grafu je vidět lineární trend, od kterého se odchyšky příliš nevzdalují, ačkoliv odchyška od osy pojezdové dráhy je celkem vysoká. Vzhledem k velikosti letadla, se může jednat o nepřesné pojiždění na ose dráhy.

Odchyšky sektoru L/G - L/F letadla "49D2D1"



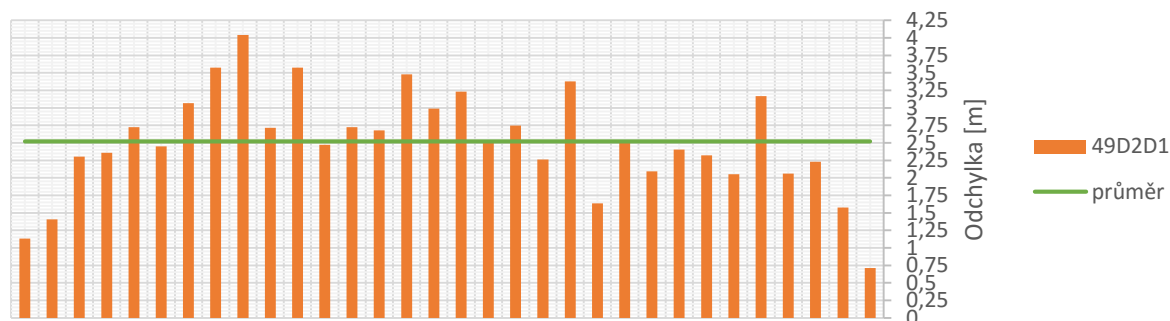
5.5 SEKTOR TWY P/RWY 22 – P/N

Plocha sběru dat se nachází mezi křížením pojezdové dráhy TWY L s nevyužívanou vzletovou a přistávací dráhou RWY 04/22 a křížením TWY L s TWY N. V tomto sektoru je zaznamenán pohyb pouze jednoho letadla „49D2D1“, nicméně velmi zajímavým zjištěním je počet stanic, které přijímaly jeho ADS-B zprávu s polohovými daty. V tomto místě je počet stanic v průměru velmi malý, dosahuje hodnoty pouhých čtyř stanic.

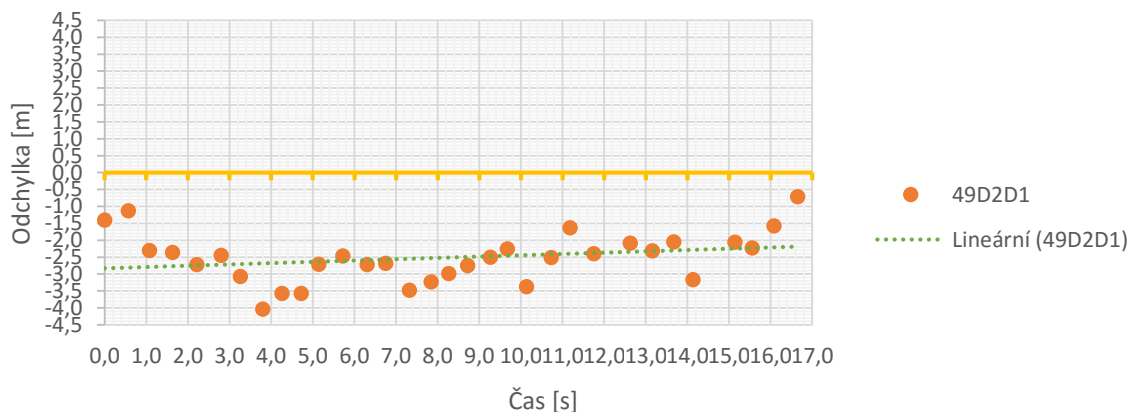
Tabulka 11: Základní statistické hodnoty sektoru P/RWY 22 - P/N

P/RWY 22-P/N					
	Odchylka [m]	Počet letadel	Počet přijímacích stanic	Počet celkem záznamů	Počet neduplicitních záznamů
Suma	-	1	-	134	32
Průměr	2,5183	-	4	-	-
Medián	2,4870	-	4	-	-
Maximální	4,0423	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	1,5240	-	-	-	-
Minimální	0,7130	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	1,8054	-	-	-	-

Odchylky sektoru P/RWY 22 - P/N



Odchylky sektoru L/G - L/F letadla "49D2D1"



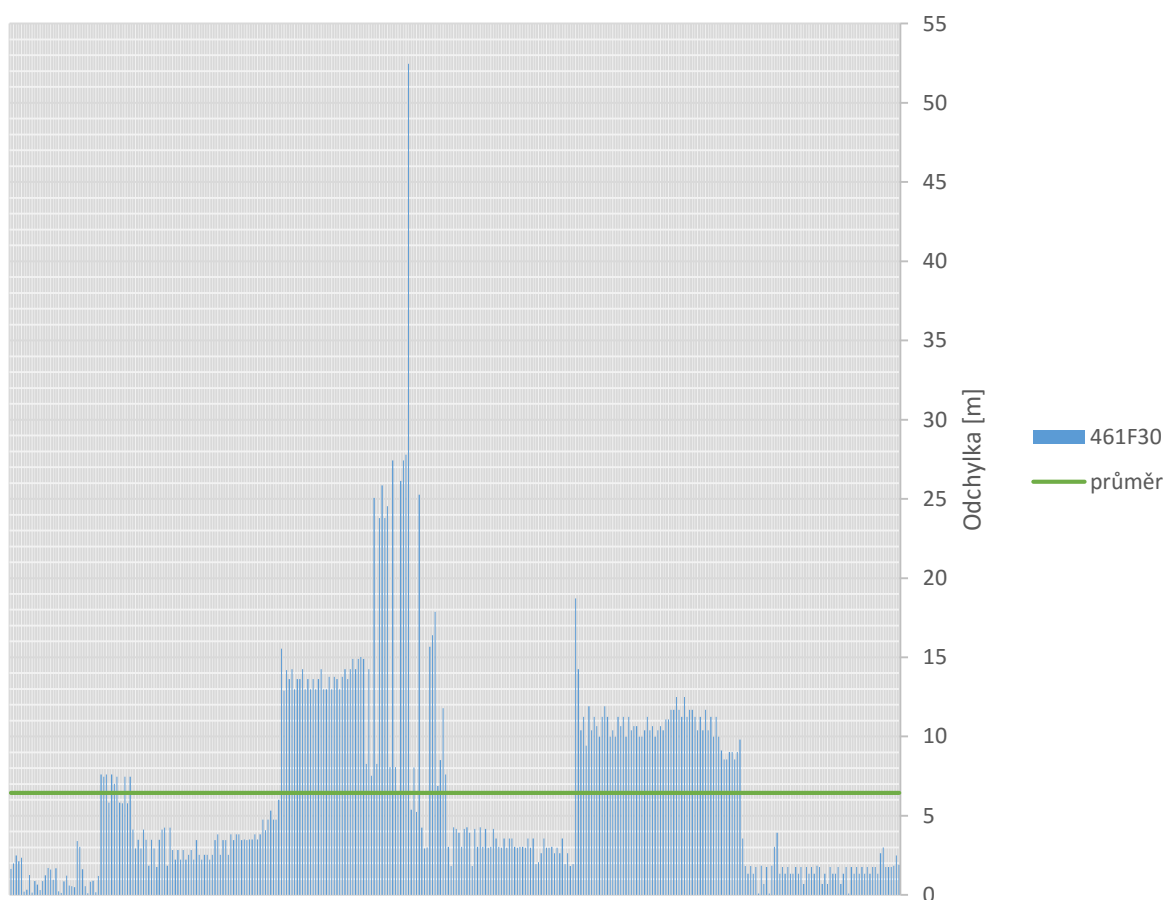
5.6 SEKTOR STÁNÍ 27

Specifickým místem sběru dat pro tuto práci je oblast kolem stání 27. Zde po dobu stání a zapnutí avioniky bylo naměřeno celkem 336 neduplicitních záznamů. Hodnota maximální odchylky je kolem 52 m, což je od 44 m více, než je průměrná hodnota. Odchylky je nutné brát s rezervou, vzhledem k určení nepohybujícího se letadla (bylo již vysvětleno).

Tabulka 12: Základní statistické hodnoty sektoru stání 27

Stání 27					
	Odchylka [m]	Počet letadel	Počet přijímacích stanic	Počet celkem záznamů	Počet neduplicitních záznamů
Suma	-	1	-	2598	336
Průměr	8,4515	-	8	-	-
Median	5,5861	-	7	-	-
Maximální	52,4614	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	44,0099	-	-	-	-
Minimální	0,0836	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	8,3680	-	-	-	-

Odchylky sektoru stání 27



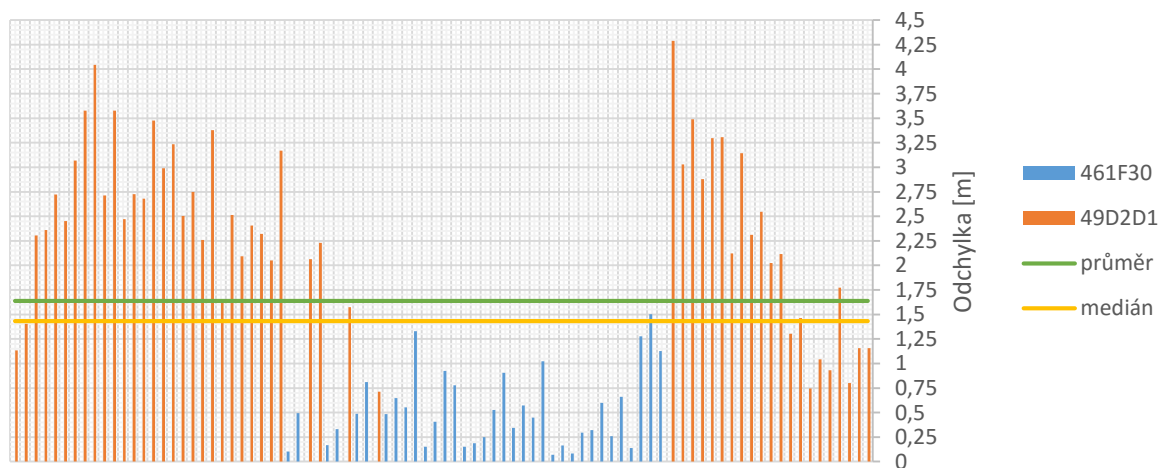
5.7 CELKOVÉ VYHODNOCENÍ

V celkovém vyhodnocení jsou zahrnuta data ze tří pozorovaných sektorů (TWY L oba sektory a TWY P). Celkově byl zaznamenán pohyb dvou letadel s celkovým počtem 88 polohových bodů. V průměru byl každý bod zaznamenán 9 přijímacími stanicemi, ale tato hodnota byla znatelně snížena v oblasti TWY P, kde polohu přijmuly v průměru 4 stanice. Celkově se jednalo o 823 polohových záznamů. Průměrná odchylka od reálné polohy letadla se pohybuje kolem 1,6 m, za zmínku stojí také medián, který má hodnotu 1,4335 m.

Tabulka 13: Základní statistické hodnoty celkové

Celkem					
	Odchylka [m]	Počet letadel	Počet přijímacích stanic	Počet celkem záznamů	Počet neduplicitních záznamů
Suma	-	2	-	823	88
Průměr	1,6371	-	9	-	-
Medián	1,4335	-	11	-	-
Maximální	4,2874	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	2,6503	-	-	-	-
Minimální	0,0708	-	-	-	-
Rozdíl od pr.	1,5663	-	-	-	-

Odchylky celkem



Tabulka 14: Přehled sledovaných letadel (19)

ICAO Adress	Registrační značka	Typ	Foto
461F30	OH LVC	A319 - 112	
49D2D1	OK – SVM	SS - 22	

5.8 CHYBY V METODĚ

Metoda určení odchylky od reálné polohy, která je zpracována v této práci, může obsahovat některé chyby. Určení reálné polohy spočívá v odhadu pohybu letadla po pojezdové dráze, to znamená, že předpokládáme pohyb letadla, respektive pohyb přijímače GNSS po ose pojezdové dráhy. Ovšem i za předpokladu, že letadlo se opravdu po dané ose pohybovalo, stále nemáme 100% jistotu, že v námi využívané mapě je tato osa vyznačena s dostatečnou přesností vůči reálnému značení.

Pokud se podíváme na výsledky našeho pozorování, můžeme si všimnout, že malé letadlo všeobecného letectví „49D2D1“ vykazuje v průměru větší odchylku od reálné polohy, než větší dopravní letadlo „461F30“. To může být způsobeno tím, že malé letadlo se vzhledem ke své velikosti nemusí držet při pojíždění přesně osy dráhy. Důkazem může být zejména oblast TWY L, kde letadlo „49D2D1“ vykazuje klesající trend odchylek. Je tedy možné, že posádka letadla se v tomto úseku snaží o vyrovnání letadla do osy dráhy.

5.9 VYUŽITÍ

Tato práce měla najít efektivní způsob, jak vypočítat odchylky polohových dat od reálné polohy tak, abychom k výpočtu a měření využili data poskytovaná přímo palubními systémy. Ohodnotili tedy přesnost polohových informací, které jsou poskytovány palubním přijímačem GNSS, kódovány do ADS - B zpráv a následně vysílány palubním odpovídačem. S přihlédnutím k chybám, které tento postup obsahuje, byl v této práci takový způsob nalezen.

Postup v této práci by mohl být využit například k naprogramování softwaru, který by obsahoval seznam všech pojezdových drah a jejich význačných bodů. Program by tak mohl na vstupu přijmout velké množství surových dat z ADS - B přijímače a následně vypočítat odchylky. Poté by mohl přehledným způsobem tato data interpretovat.

Po úpravě by bylo možné počítat odchylky od jakéhokoli systému, z kterého jsme schopni získat polohová data. To by mohlo vést k porovnání a vyhodnocení přesnosti dvou a více systémů, například porovnání MLAT a GNSS na konkrétním letišti.

6 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem uvedl základní přehled současných systémů, které se používají k přehledu a vedení na provozních plochách letišť. Podrobněji jsem popsal systém ADS-B, především technologii 1090ES a naznačil jsem dekódování ADS-B zpráv.

Vlastní práce zahrnovala dekódování zpráv typu DF 17 obsahujících GNSS polohová data pomocí programu „ADSBdecoder“ (od pana Simona Tésiho) a jejich filtraci na nepoškozené „Surface position“ zprávy. Pro výpočet odchylek od reálné polohy jsem odečetl z mapy letiště Praha/Ruzyně pomocí programu „AutoCAD 2016“ souřadnice bodů na pojezdové dráze a poté i s daty „Surface position“ zpráv jsem výpočtem převedl souřadnice systému WGS84 na souřadnice ECEF, ze souřadnic v ECEF jsem následně vypočítal odchylku od mnou vybraných pojezdových drah, k těmto výpočtům byl použit tabulkový editor „Microsoft Excel 2010“. Důležité a zajímavé informace jsem interpretoval přehlednou formou tabulek a grafů.

Rád bych se touto problematikou zabýval i v budoucích pracích.

REFERENCE A PROGRAMY

1. **Řízení letového provozu.** Letecká informační příručka. [Online] [Citace: 10. 7 2014.] http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm.
2. **Ministerstvo dopravy České republiky.** *Letecký předpis letiště (L14)*. Praha : Úřad pro civilní letectví.
3. **Řízení letového provozu České republiky.** *Naše služby*. [Online] [Citace: 22. srpen 2015.] <http://www.rlp.cz/sluzby/nase/Stranky/default.aspx>.
4. **UCwBLing.** [Online] [Citace: 5. srpen 2015.] <http://ucwbling.chicagolandwritingcenters.org/graphic-design-crash-course-part-1-color/6a0120a85dcdae970b0128776fb9a9970c-pi/>.
5. **Skybrary.** *Stand Entry Guidance Systems*. [Online] [Citace: 5. srpen 2015.] http://www.skybrary.aero/index.php/Stand_Entry_Guidance_Systems.
6. **Kohout, Petr.** Možnosti využití GNSS systémů pro lokalizaci v letecké dopravě. *Bakalářská práce*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2011.
7. **archive.is.** *List of Satellites*. [Online] [Citace: 4. srpen 2015.] https://archive.is/20120529152315/ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/.
8. **GMV Inovation Solutions.** *Magic SBAS*. [Online] [Citace: 4. srpen 2015.] <http://www.gmv.com/en/space/magicSBAS/Motivation/>.
9. **Enaire.** *air navigation*. [Online] [Citace: 4. srpen 2015.] <http://www.enaire.es/csee/Satellite/navegacion-aerea/en/Page/1086172037298/>.
10. **Aeromagazine.** *Boeing*. [Online] [Citace: 19. srpen 2015.] http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011_q1/2/.
11. **Příbyla, David.** *Radary - Současně používané systémy*. *Semestrální práce*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2006.
12. **Kohutek, Jakub.** *Přehledové radary v ČR*. *Bakalářská práce*. Brno : VUT Fakulta strojního inženýrství, 2009.
13. **ERA a.s.**
14. **Aviation Online Magazine.** [Online] [Citace: 2. srpen 2015.] http://avstop.com/news2/wide_area_multilateration_colorado.htm.

15. **NLR, National Aerospace Laboratory.** Surveillance report. *Eurocontrol*. [Online] [Citace: 20. Srpen 2015.] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>.
16. **Příbyla, David.** *A-SMGCS*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, ČVUT Fakulta dopravní, 2006.
17. **Tési, Somin.** Nástroj na dekódování zpráv 1090 ES. *Bakalářská práce*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2014.
18. **Letiště Praha a.s. /geodézie a kartografie.** Podkladová data ze ZML LKPR - stav k 11.11.2013.
19. **National Geospatial - Intelligence Agency.** *World Geodetic System 1984*. 2005.
20. **Air Services Australia.** Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B).
21. **Airframes.org.** [Online] [Citace: 20. srpen 2015.] <http://www.airframes.org/>.
22. **Autodesk. CivilCAD 2014.**
23. **Ministerstvo dopravy České republiky.** Letecký předpis o civilní letecké telekomunikační službě (L10). *Svazek IV - Přehledový radar a protisrážkový systém*. Praha : Úřad pro civilní letectví.

SEZNAM PŘÍLOH

- Mapa LKPR.dwg
- Data ADS-B.xlsx (elektronická verze)