

Určování nejistoty polohy pomocí systému GPS

Position uncertainty determination using GPS

Bc. Lukáš Vrána

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš VRÁNA**
Osobní číslo: **A08547**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Určování nejistoty polohy pomocí systému GPS**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši a popište současný stav dané problematiky.
2. Popište stávající systémy pro určování polohy.
3. Provedte analýzu zdrojů nejistot při určování polohy.
4. Navrhněte měřicí metodu a provedte měření polohy na různých GPS přijímačích.
5. Vyhodnoťte nejistoty měření a porovnejte dosažené výsledky.
6. Pokuste se navrhnout laboratorní úlohu pro potřeby výuky na FAI UTB.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KAPLAN, Elliott D.; HEGARTY, Christopher J.** Understanding GPS: principles and applications. [s.l.] : Artech House, 2006. 703 s. ISBN 9781580538947.
2. **SAMAMA, Nel.** Global positioning: technologies and performance. [s.l.] : Wiley-Interscience, 2008. 419 s. ISBN 0471793760.
3. **GLEASON, Scott; GEBRE-EGZIABHER, Demoz.** GNSS Applications and Methods. [s.l.] : Artech House, 2009. 508 s. ISBN 9781596933293.
4. **GREWAL, Mohinder S.; WEILL, Lawrence R.; ANDREWS, Angus P.** Global positioning systems, inertial navigation, and integration. [s.l.] : Wiley-Interscience, 2007. 525 s. ISBN 9780470041901.
5. **EL-RABBANY, Ahmed.** Introduction to GPS: the Global Positioning System. [s.l.] : Artech House, 2006. 210 s. ISBN 9781596930162.
6. **HOJGR, Radek; STANKOVIČ, Jan.** GPS : Praktická uživatelská příručka. [s.l.] : Computer Press – TDK, 2007. 256 s. ISBN 978-80-251-1734-7.
7. **SEDLÁČEK, M.**: Zpracování signálů v měřicí technice. Dotisk 2. vyd. – Praha : ČVUT, 1999

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

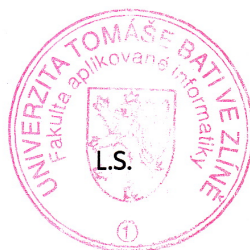
Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem teoretické části této diplomové práce je popis současného stavu družicových navigačních systémů, jejich aplikační využití a analýza zdrojů nejistot ovlivňující proces měření. V praktické části bude vypracován projekt měření neurčitosti polohy na různých GPS přijímačích s následným vyhodnocením získaných výsledků. Součástí práce je i návrh laboratorní úlohy pro potřeby výuky na FAI UTB.

Klíčová slova: GPS, GLONASS, Galileo, GNSS, družice, navigace.

ABSTRACT

The main goal of the theoretical part of this Master's Thesis is description of the current state of satellite navigation systems, its application usage and analysis of the sources of uncertainties that influence process of measurement. The practical part of the work is focused on a project of uncertainty measurement of the position on variety of GPS receivers with subsequent evaluation of obtained results. Part of this work is proposal of laboratory exercise for needs of FAI at UTB.

Keywords: GPS, GLONASS, Galileo, GNSS, satellite, navigation.

Děkuji Ing. Milanu Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi poskytl při vypracování této diplomové práce. Poděkování patří také mé rodině, blízkým a přátelům, kteří mi byli po celou dobu mého studia oporou.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 23. 5. 2011

.....
Bc. Lukáš Vrána

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 URČOVÁNÍ POLOHY V PROSTORU	13
1.1 URČOVÁNÍ POLOHY PŘÍMÝM MĚŘENÍM	13
1.2 URČOVÁNÍ POLOHY NEPŘÍMÝM MĚŘENÍM	13
1.2.1 Dálkoměrné měření	13
1.2.2 Úhломěrné měření	14
1.2.3 Kombinace dálkoměrného a úhломěrného měření	14
2 NAVIGACE	15
2.1 ZEMĚPISNÉ SOUŘADNICE	15
2.1.1 Poledník	15
2.1.2 Rovnoběžka	15
2.1.3 Zeměpisná šířka	15
2.1.4 Zeměpisná délka	16
2.1.5 Souřadnicový systém	16
2.1.6 Nadmořská výška	16
2.2 ZPŮSOBY NAVIGACE	17
2.2.1 Osobní komunikace	17
2.2.2 Srovnávací navigace	17
2.2.3 Hrubé stanovení polohy	17
2.2.4 Dle orientačních bodů	17
2.2.5 Dle astronomických objektů	18
2.2.6 Inerciální navigační systém	18
2.2.7 Rádiová navigace	18
2.2.7.1 Dálkoměrné měření	19
2.2.7.2 Úhломěrné měření	20
2.2.7.3 Principy měření	20
3 DRUŽICOVÉ SYSTÉMY PRO URČOVÁNÍ POLOHY	22
3.1 GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)	22
3.1.1 Struktura GPS	23
3.1.1.1 Vesmírný segment	23
3.1.1.2 Řídící a kontrolní segment	24
3.1.1.3 Uživatelský segment	25
3.1.2 Rádiové signály	26
3.1.2.1 Modulace signálu	27
3.1.2.2 C/A kód	28
3.1.2.3 P(Y) kód	29
3.1.2.4 Navigační zpráva	29
3.1.2.5 Zpracování signálu	30
3.1.2.6 Modernizace	31
3.1.3 Přijímací zařízení	33
3.1.3.1 Anténa	33

3.1.3.2	Navigační přijímač	33
3.1.3.3	Navigační počítač	34
3.1.4	Určování polohy a času	34
3.2	GLOBALNAJA NAVIGACIONNAJA SPUTNIKOVAJA SISTĚMA (GLONASS)	34
3.2.1	Struktura GLONASS	35
3.2.1.1	Vesmírný segment	35
3.2.1.2	Řídící a kontrolní segment	36
3.2.1.3	Uživatelský segment	37
3.2.2	Rádiové signály	38
3.2.2.1	Přidělování frekvence konkrétním družicím	38
3.2.2.2	Standard Positioning (SP) kód	38
3.2.2.3	High Positioning (HP) kód	39
3.2.2.4	Navigační zpráva	39
3.2.2.5	Modernizace	39
3.2.3	Určování polohy a času	40
3.3	GALILEO	40
3.3.1	Struktura Galileo	40
3.3.1.1	Vesmírný segment	40
3.3.1.2	Řídící a kontrolní segment	41
3.3.1.3	Uživatelský segment	41
3.3.2	Poskytované služby	42
3.3.3	Rádiové signály	42
3.3.3.1	Navigační zprávy	43
3.4	REGIONÁLNÍ AUTONOMNÍ DRUŽICOVÉ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY	44
3.4.1	Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS)	45
3.4.1.1	Segmenty	45
3.4.1.2	Signály	45
3.4.1.3	Polohová přesnost	45
3.4.2	Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)	46
3.4.2.1	Segmenty	46
3.4.2.2	Signály	47
3.4.2.3	Polohová přesnost	47
3.5	APLIKAČNÍ VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ	47
3.5.1	Civilní využití	47
3.5.1.1	Pozemní doprava	47
3.5.1.2	Letecká navigace	48
3.5.1.3	Kosmický provoz	49
3.5.1.4	Geodézie a tvorba map	49
3.5.1.5	Vědecké aplikace	50
3.5.1.6	Časové služby	50
3.5.1.7	Rekreace	50
3.5.2	Vojenské a vládní využití	51
4	ZDROJE NEJISTOT PŘI URČOVÁNÍ POLOHY	52
4.1	STÍNĚNÍ	52
4.2	VLIV ATMOSFÉRY	52
4.2.1	Ionosféra	52

4.2.2	Troposféra	53
4.3	VÍCECESTNÉ ŠÍŘENÍ SIGNÁLU	54
4.4	POLOHA DRUŽIC	54
4.5	NEPŘESNOST HODIN	57
4.6	CHYBA EFEMERID	57
4.7	SELECTIVE AVAILABILITY (SA)	57
4.8	ANTI-SPOOFING (AS)	58
4.9	INTERFERENCE SIGNÁLŮ	58
4.10	PŘIJÍMAČ SIGNÁLŮ GNSS	59
4.11	RELATIVISTICKÉ EFEKTY	60
4.12	KONKRÉTNÍ VLIV FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍ URČOVÁNÍ POLOHY	60
4.13	NEJISTOTY MĚŘENÍ	61
4.13.1	Chyby měření	61
4.13.1.1	Dělení chyb	61
4.13.2	Nejistoty měření	63
4.13.2.1	Vyhodnocení nejistot typu A	64
4.13.2.2	Vyhodnocení nejistot typu B	64
4.13.2.3	Vyhodnocení kombinované nejistoty	65
4.13.3	Nejistoty veličin získaných výpočtem	65
II	PRAKTICKÁ ČÁST	66
5	POUŽITÉ PROSTŘEDKY	67
5.1	HW VYBAVENÍ	67
5.1.1	Notebook Premio	67
5.1.2	GPS moduly	68
5.1.2.1	Qstarz BT-Q1200Ultra	68
5.1.2.2	Qstarz BT-Q1000X	69
5.2	SW VYBAVENÍ	70
5.2.1	Qstarz Travel Recorder PC Utility V5	70
5.2.2	Microsoft Excel	71
6	VLASTNÍ MĚŘENÍ	72
6.1	METODIKA MĚŘENÍ	72
6.2	REALIZACE VLASTNÍHO MĚŘENÍ	72
6.2.1	Rychlá statická a Statická	73
6.2.1.1	Lokalita	73
6.2.1.2	Průběh měření	75
6.2.2	Dynamická	76
6.2.2.1	Lokalita	76
6.2.2.2	Průběh měření	78
6.3	ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	78
6.3.1	Výsledky Rychlé statické metody (varianta městské zástavby)	79
6.3.2	Výsledky Rychlé statické metody (varianta volného prostranství)	80

6.3.3	Výsledky Statické metody (varianta městské zástavby).....	82
6.3.4	Výsledky Statické metody (varianta volného prostranství).....	83
6.3.5	Porovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody (varianta městské zástavby).....	85
6.3.6	Porovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody (varianta volného prostranství).....	86
6.3.7	Výsledky Dynamické metody.....	87
7	LABORATORNÍ ÚLOHA PRO POTŘEBY VÝUKY NA FAI UTB.....	89
7.1	TITULNÍ STRANA	89
7.2	ÚKOLY.....	89
7.3	SEZNAM POUŽITÝCH POMŮCEK.....	89
7.4	TEORIE K VYPRACOVÁNÍ.....	90
7.5	POSTUP MĚŘENÍ	90
7.6	ZÁPIS A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	90
7.7	ZÁVĚR.....	90
	ZÁVĚR	91
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	92
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	93
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	100
	SEZNAM TABULEK	102
	SEZNAM PŘÍLOH	103

ÚVOD

Již od pradávna, kdy lidé toužili objevovat nová území, pocítili potřebu ujasnit si, kde se vlastně nacházejí, případně, kde se nalézá oblast, do které směřují. Pokud se pohybovali na souši, mohli si zapamatovat určité specifické znaky okolní krajiny, které je například navedly zpět na místo, odkud své putování začali. Pokud se však přesouvali na lodích po moři, přesná orientace byla mnohem složitější, protože specifické znaky okolí na širém moři jednoduše nejsou vyjímaje astronomických objektů. Proto se mořeplavci museli plavit v blízkosti břehů, odkud mohli specifické znaky stále pozorovat. V případě nočních plaveb jim bylo umožněno při pravidelném pozorování noční oblohy odhalit principy pohybu Země vůči astronomickým tělesům, díky kterým byli schopni do jisté míry určovat svou polohu, resp. kurz plavby. Tyto techniky činily navigaci do jisté míry omezující, nekomfortní a hlavně nepřesnou. Je logické, že postupem času docházelo k objevování, resp. vynalézání nástrojů, potažmo technik, které umožňovaly navigaci provádět mnohem přesněji a rychleji (např. kamal, kompas, astroláb, Jakubova hůl, sextant, majáky apod.), později byli s příchodem elektroniky a rádiové komunikace takovými nástroji bezdrátový telegraf, radiomajáky apod. V uplynulých cca 60 letech prošla elektronika a potažmo i související obory (jako např. telekomunikace a kosmonautika) nesmírným vývojovým pokrokem. Tento evoluční postup umožnil mimo jiné i vznik zcela nové sféry v oblasti polohových a navigačních služeb, tzn. družicových navigačních systémů.

Služby poskytované těmito systémy stále více zasahují do profesních i soukromých životů aktuální populace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 URČOVÁNÍ POLOHY V PROSTORU

Určováním polohy označujeme procesy a technologie používané ke stanovování polohy bodů v prostoru. Poloha bodu je běžně vyjadřována pomocí souřadnic ve zvoleném souřadnicovém systému. Určuje se měřením, a to ať už na mapě, anebo v terénu. Polohu lze určovat dvěma základními způsoby:

- přímým měřením,
- nepřímým měřením. [1]

1.1 Určování polohy přímým měřením

Principem přímého měření je zjišťování, kolikrát je jednotka délky obsažena v měřeném úseku. K tomuto stanovení se využívá nejrůznějších měřidel jako jsou např. pravítko, pásmo, měřická lať, invarový drát apod. [3]

Určování polohy bodu v prostoru tímto způsobem měření je velice pracné a namáhavé. Podstatně více se využívají metody nepřímého měření.

1.2 Určování polohy nepřímým měřením

Jak již název vypovídá, u tohoto způsobu určování polohy se neměří přímo požadovaná délka, nýbrž veličiny, ze kterých tuto délku následně určíme. K nalezení neznámé polohy tímto způsobem lze využít některou z následujících metod:

- dálkoměrná,
- úhломěrná,
- kombinace dálkoměrné a úhломěrné.[1]

1.2.1 Dálkoměrné měření

Určování neznámé polohy touto metodou probíhá tak, že se např. pomocí mapy a dalekohledu s funkcí měření vzdálenosti od pozorovaného objektu určí vzdálenost od dvou na mapě vyznačených bodů. Těmto bodům následně zakreslíme kružnici o naměřeném vzdálenostním poloměru a v jednom ze dvou průsečíků, kde se tyto kružnice protnou, se nachází námi hledaná poloha. Pro správné určení, o který z těchto průsečíků se jedná, je navíc nutno znát doplňující informace.

Tento způsob dálkoměrného měření se v praxi příliš nepoužívá, daleko častěji se využívá dálkoměrného měření pomocí rádiových vln. Princip hledání neznámé polohy je obdobný jako u výše zmíněného, avšak s tím rozdílem, že v minimálně dvou místech se známou polohou jsou umístěny vysílače, které do okolí vysílají rádiové vlny s časovými značkami. V bodě s neznámou polohou je umístěn přijímač, který následně vyhodnotí přijaté signály a určí tak vlastní polohu od vysílačů. [1]

1.2.2 Úhломěrné měření

Při úhломěrném zjišťování polohy se postupuje tak, že se z neznámé polohy určí nejméně dva význačné body na mapě, následně se k těmto bodům změří azimuty a poté jimi na mapě proloží přímky, jejichž úhly měřené od severu odpovídají naměřeným azimutům. Každá z těchto přímek reprezentuje všechny body, z nichž je daný orientační bod vidět pod naměřeným azimutem. Neznámá poloha bodu se pak nachází v průsečíku těchto přímek. Úhломěrné měření se realizuje zejména pomocí kompasu nebo směrových antén. Pro přesné určování polohy bodů se používá měření teodolitem. Vlastní určení polohy se pak provádí graficky na mapě nebo výpočtem. Mezi nevýhody úhломěrného měření patří složitost samotné koncepce a také fakt, že s rostoucí vzdáleností od orientačního bodu roste chyba určení polohy. [1]

1.2.3 Kombinace dálkoměrného a úhломěrného měření

Určování polohy bodů pomocí kombinace dálkoměrných a úhломěrných měření je hojně využívaná metoda. Typickým představitelem je zde určování polohy s využitím radaru nebo tzv. totální stanice. Vlastní měření může být uspořádáno dvěma způsoby:

- z bodu o známých souřadnicích provedeme odměření azimutu a vzdálenosti k neznámému bodu, nebo
- z bodu o neznámé poloze provedeme zaměření azimutu a vzdálenosti ke známému bodu.

Následně pak výpočtem nebo geometrickou konstrukcí můžeme určit polohu neznámého bodu. [1]

2 NAVIGACE

Je definována jako souhrnné označení pro metodu, díky které lze stanovit polohu objektu kdekoli na Zemi a následně je možno dle předem určených kritérií vytyčit nejvhodněji zvolenou trasu daného objektu. Původně se termín „navigace“ spojoval výlučně s lodní dopravou, odtud také pochází její vznik - z latinského „navis“, což znamená „lod“. Později se však tento význam slova začal běžně spojovat také s ostatními druhy dopravy, jako je např. pozemní, letecká, vesmírná apod.

2.1 Zeměpisné souřadnice

Zeměpisné souřadnice, tedy kombinace zeměpisné šířky a zeměpisné délky, jsou nezbytnými údaji k určení přesné polohy kdekoli na Zemi.

2.1.1 Poledník

Poledník je označení pro pomyslné polokružnice spojující oba póly na povrchu Země. Všechny poledníky jsou stejně dlouhé (20004 km) a označují se v zeměpisných stupních. Poledníky směrem na východ od tzv. nultého poledníku (ležící v Greenwich, Anglie) mají vzdálenost 0° až 180° východní délky, poledníky směrem na západ 0° až 180° západní délky.

2.1.2 Rovnoběžka

Celá Země je na povrchu rozdělena kružnicemi, které jsou vymezeny rovinou procházející určeným bodem rovnoběžně s rovinou zemského rovníku. Jednotlivé rovnoběžky jsou kolmé na poledníky a nejsou stejně dlouhé. Nejdelší z nich, zemský rovník, leží uprostřed mezi severním a jižním pólem. Měří přibližně 40075 km a značí se 0° .

2.1.3 Zeměpisná šířka

Zeměpisná šířka ($\varphi = 0 - 90 [^\circ]$) určuje polohu na povrchu Země směrem od rovníku k severu nebo jihu. Jedná se o úhel, který svírá rovina rovníku s přímkou, procházející středem Země a určeným bodem na povrchu Země.

Body ležící na rovníku mají nulovou zeměpisnou šířku, body ležící na sever od rovníku mají severní zeměpisnou šířku (zkr. „S.Š.“, angl. „N“), body ležící na jih od rovníku mají jižní zeměpisnou šířku (zkr. „J.Š.“, angl. „S“)

2.1.4 Zeměpisná délka

Zeměpisná délka ($\lambda = 0 - 180$ [°]) určuje polohu na povrchu Země směrem od nultého poledníku na východ nebo západ. Jedná se o úhel, který svírá rovina nultého poledníku s rovinou místního poledníku, jenž prochází určeným bodem na povrchu Země.

Body ležící na východ od nultého poledníku (až do hodnoty 180°) mají východní (kladnou) zeměpisnou délku (zkr. „V.D.“, angl. „E“), body ležící na západ od nultého poledníku (až do hodnoty 180°) mají západní (zápornou) zeměpisnou délku (zkr. „Z.D.“, angl. „W“).

2.1.5 Souřadnicový systém

Protože má Země složitý tvar elipsoidu, využívá se, dle potřeby vědního oboru, pro výpočet a zápis zeměpisných souřadnic několik odlišných souřadnicových systémů. Pro snazší práci a představu se zemský povrch převádí na tzv. Geoid. Jedná se o fyzikální model zemského povrchu při střední hladině světových moří a oceánů. Je také definován jako ekvipotenciální plocha vůči gravitaci, neboli plocha se stejnou úrovní tíhového potenciálu, na kterou je vektor tíhového zrychlení kolmý. [2]

K přesné definici souřadnicového systému, referenčního zemského elipsoidu a geoidu, jež slouží pro účely vědních oborů jako jsou navigace, kartografie a geodézie, se dnes v systému GPS používá „World Geodetic System 1984 (WGS-84)“. Jedná se o celosvětově uznávaný standard vydaný ministerstvem obrany USA v roce 1984. V systému GLONASS se využívá souřadnicový systém „PZ-90“ a v projektu Galileo „GTRF“ (jenž se od WGS-84 liší minimálně). Pro potřeby vzájemné transformace souřadnic mezi nejrozličnějšími souřadnicovými systémy slouží přesně definované matematické postupy.

2.1.6 Nadmořská výška

Nadmořskou výškou označujeme vzdálenost měřenou ve směru zemské tíhy mezi konkrétním místem na zemském povrchu a geoidem (obvykle nejbližšího) moře či oceánu v jednotkách metrů nad mořem [m. n. m.]. V České republice se používá Baltský systém po vyrovnání (Bpv).

2.2 Způsoby navigace

Existuje několik způsobů navigace založených na fyzických, matematických a fyzikálních zákonitostech.

2.2.1 Osobní komunikace

Princip je jednoduchý, založen na komunikaci s osobou (např. průvodcem) znalou daného, námi neznámého území, která nás nasměruje k požadovanému cíli.

2.2.2 Srovnávací navigace

Srovnávací navigací se rozumí fyzické porovnání terénu dané oblasti s mapou a následně se tak určí aktuální poloha dopravního prostředku či osoby. Nejčastěji se využívá v letecké navigaci.

2.2.3 Hrubé stanovení polohy

Tato metoda byla využívána zejména námořníky, již znali pouze výchozí bod lodi, její rychlost a směr plavby.

Rychlost lodi byla měřena buď vhozením předmětu do vody a následným měřením času, za jak dlouho bylo kolem něj propluto, později byl však použit provaz, na kterém byly navázány uzly v pravidelných vzdálenostech. Tato pomůcka, zakončená dřevem, byla vhozena do vody a provaz se při plavbě postupně odmotával. Po přesně stanové době byl provaz vytažen z vody a následnou kalkulací počtu odmotaných uzlů se stanovila rychlost lodi. Dodnes se pro vyjádření rychlosti plavidel používá jednotka počtu uzlů za hodinu.

Pro stanovení směru plavby (kurzu) se hojně využívala poloha astronomických objektů (viz. 2.2.5), později však zejména různé pomůcky, jako např. kompas.

Všechny získané informace byly samozřejmě průběžně zakreslovány pověřenou osobou do mapy. Zaznamenávala se tak přibližná trasa objektu, kterou bylo následně možno porovnat s trasou plánovanou a dle potřeby měnit kurz.

2.2.4 Dle orientačních bodů

Při tomto způsobu navigace je využívána buď samotná poloha význačných bodů v prostoru, kdy se následně podle nich orientujeme (např. přibližně 100 metrů za propastí odboč

vpravo) nebo je informace vedoucí k dosažení cíle na něm přímo uvedená (např. hrad Karlštejn 120 metrů + ukazatel směru).

Význačné orientační body mohou být rozděleny do těchto kategorií:

- přírodní – hora, rybník, louka, skála, propast, statný strom apod.,
- uměle vytvořené – budova, stožár, siréna, maják, turistická či dopravní značka apod.

Tento způsob navigace se často využívá ve spojení s různými navigačními pomůckami (např. kompasem, kdy se měří azimuty obvykle k severnímu pólu).

2.2.5 Dle astronomických objektů

Navigace touto metodou je založena na pozorování polohy nebeských těles (tedy Slunce, Měsíce, hvězd a planet) v určitém čase. Naši polohu na Zemi lze určit pomocí deklinace, tedy analogie zeměpisné šířky, jednotlivých hvězd. Zeměpisná šířka odpovídá deklinaci konkrétní hvězdy v určitém čase, pokud se tato hvězda nachází v zenitu pozorovatele. V situacích, kdy se konkrétní hvězda nenachází v zenitu pozorovatele, můžeme stále určit svou polohu, a to změřením úhlu mezi hvězdou a zenitem pozorovatele. Pomůcky používané k navigaci pomocí astronomických objektů jsou např. Kamal, Sextant, Astroláb, Oktant, Kompas, hodiny. [4]

2.2.6 Inerciální navigační systém

Inerciální navigační systém využívá počítač, inerciální senzory (gyroskopy a akcelerometry) pro měření rychlosti pohybu objektu a následné pozice, přičemž primární měřenou veličinou je zpravidla zrychlení. Předností této technologie navigace je absolutní separace od hmotného okolí. [5]

2.2.7 Rádiová navigace

K určování polohy touto metodou se využívá příjmu rádiového signálu vyslaného tzv. radiomajáky. Jedná se o systém strategicky umístěných vysílačů, jenž v pravidelných intervalech vysílají do okolí rádiový signál o specifické frekvenci, který nese informaci například o identifikaci vysílače či jeho lokaci. Za radiomajáky můžeme považovat i

vesmírné družice, které díky neustálému pohybu po oběžných drahách naší planety zaručují možnost lokace objektu kdekoli na povrchu Země.

K teoretickému určení neznámé polohy přijímače (resp. uživatele) postačí znát informace o pseudovzdálenosti ke 3 družicím, v praxi se však měření provádí k minimálně 4, kde se řeší tato soustava rovnic:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \sqrt{(x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2 + (z_1 - z_n)^2} + c \cdot t_k \\
 p_2 &= \sqrt{(x_2 - x_n)^2 + (y_2 - y_n)^2 + (z_2 - z_n)^2} + c \cdot t_k \\
 p_3 &= \sqrt{(x_3 - x_n)^2 + (y_3 - y_n)^2 + (z_3 - z_n)^2} + c \cdot t_k \\
 p_4 &= \sqrt{(x_4 - x_n)^2 + (y_4 - y_n)^2 + (z_4 - z_n)^2} + c \cdot t_k
 \end{aligned} \tag{1}$$

x_i, y_i, z_i - vyjadřují souřadnice jednotlivých družic v trojrozměrném prostoru

x_n, y_n, z_n - neznámé souřadnice polohy přijímače, resp. uživatele

c - rychlost šíření světla

t_k - odchylka hodin přijímače od systémového času [11]

2.2.7.1 Dálkoměrné měření

Jak již bylo naznačeno v kapitole 1.2.1, podstatou tohoto způsobu měření je hledání neznámé vzdálenosti objektu od minimálně dvou vysílačů. Principiálně se však měří čas, za který dorazí signál z vysílače do přijímače, a na základě těchto údajů se vypočítá samotná vzdálenost.

K rozlišení jednotlivých signálů se využívají tyto metody:

- Kódové dělení – Individuální vysílače emitují nosnou vlnu se shodným kmitočtem, avšak s rozdílným dálkoměrným (PRN) kódem.
- Kmitočtové dělení – Jednotlivé vysílače šíří nosnou vlnu se specifickým kmitočtem.
- Dělení dle času – Všechny vysílače používají shodný kód i kmitočet nosné vlny, leč v přesně definovaných časových intervalech.

Dělení dálkoměrných navigačních systémů:

- Aktivní – Přijímač vybavený tzv. odpovídačem reaguje na jemu určené příchozí družicové signály. Na základě této obousměrné komunikace se určuje konkrétní

poloha přijímače. Z principu funkce v podstatě nelze tyto aktivní dálkoměrné navigační systémy použít pro vojenské či podobné účely.

- Pasivní – Vysílače (družice) emitují dálkoměrné signály s časovými značkami a údaji o svých konkrétních oběžných drahách. Přijímač zpracuje a vyhodnotí dané údaje, následně tak určí vzdálenost k jednotlivým družicím a lokalizuje tak svou polohu. [1]

2.2.7.2 Úhloměrné měření

Princip tohoto měření byl již popsán v kapitole 1.2.2. Realizuje se k jedné družici v odlišných časech nebo k více družicím současně. Vzhledem k poměrně nepřesnému určování polohy se tento způsob měření téměř nepoužívá.

2.2.7.3 Principy měření

K rádiové navigaci jsou využívány následující principy měření:

- **Kódové měření**

Podstatou tohoto měření je vysílání dálkoměrných kódů obsahujících časové značky a konkrétní údaje o poloze vysílače (družice). Na základě těchto informací je schopen přijímač stanovit čas odeslání signálu konkrétního vysílače a určit tak i jeho vzdálenost. Vzhledem k nesynchronnosti hodin mezi vysílačem a přijímačem, vlivům prostředí, rychlosti zpracování těchto signálů atd. dochází k chybovosti, která se projevuje nepřesností měření polohy přijímače.

$$\Delta t_z = t_p - t_d \quad (2)$$

Δt_z - časové zpoždění signálu (zahrnující veškeré negativní vlivy působící na měření vzdálenosti viz. kapitola 4)

t_p - čas přijetí signálu přijímačem

t_d - družicí odeslaná časová značka

Konkrétní čas, resp. pseudovzdálenost P k družici se určí vztahem:

$$P = \Delta t_z \cdot c \quad (3)$$

c - rychlost šíření světla

- **Fázové měření**

Výpočet vzdálenosti mezi družicí a přijímačem je realizován pomocí měření a porovnávání změn nosné vlny signálu. Toto měření je však doprovázeno určitou nejednoznačností rovnající se počtu celých vlnových délek nosné vlny, nacházejících se mezi vysílačem a přijímačem na počátku měření. Pro určování celočíselné nejednoznačnosti bylo vytvořeno několika matematických postupů, jež umožní její stanovení přímo v reálném čase či při následném zpracování. Po nalezení počáteční hodnoty celočíselné nejednoznačnosti je přijímač schopen průběžně sledovat změny fázového posunu, počet celých vln a následně tak určit svou polohu. Pokud při tomto měření dojde k přerušení kontinuity signálu, je nutné, aby přijímač celý cyklus měření zopakoval.

Fázové měření je zejména časově a technicky náročné, naproti tomu se vyznačuje vysokou přesností. Své uplatnění nalézá především ve vědeckých a geodetických aplikacích. [1, 6]

- **Dopplerovo měření**

Díky stále se pohybujícím družicím je schopen pozemní přijímač měřit průběžně měnící se frekvenci příchozího signálu a tím následně vypočítat vzdálenost od dané družice. Tento způsob měření se však v praxi spíše využívá k zjištění rychlosti pohybu přijímače.

3 DRUŽICOVÉ SYSTÉMY PRO URČOVÁNÍ POLOHY

V roce 1973 bylo vydáno rozhodnutí vlády USA o vybudování historicky prvního dálkoměrného pasivního družicového systému „Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS)“, který zdokonalil poznatky z předchozích navigačních systémů a umožnil tak určování polohy (v trojrozměrném prostoru), přesného času a aktuální rychlosti pohybu. Dnes se NAVSTAR GPS stal nejpoužívanějším celosvětovým navigačním systémem (angl. Global Navigation Satellite System - GNSS).

Roku 1976 však vydal tehdejší Sovětský svaz rozhodnutí o započítí budování svého vlastního globálního družicového systému jménem „Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma (GLONASS)“. Roku 1982 byla vypuštěna na oběžnou dráhu první družice GLONASSu, avšak později se vývoj tohoto projektu dostal do úpadku, zejména díky finančním problémům. Aktuálně provozovatelé systému GLONASS usilovně pracují na plném zprovoznění.

Jelikož jsou oba výše zmíněné GNSS primárně určeny pro vojenské účely, teoreticky mohou (např. v případě válečných či jiných konfliktů) jejich provozovatelé pozastavit nebo úplně zrušit poskytování služeb těchto systémů určitému spektru lidí. Zejména tento fakt vedl Evropskou unii k rozhodnutí o výstavbě nezávislého a primárně civilního GNSS jménem Galileo.

3.1 Global Positioning System (GPS)

Jedná se o primárně vojenský globální družicový polohový systém, poskytující zdarma část svých služeb i civilním uživatelům, jehož provoz zajišťuje Ministerstvo obrany USA. Díky GPS lze určit dříve neznámou polohu, přesný čas a rychlost pohybu kdekoliv a kdykoliv na Zemi (tj. i nad jejím povrchem) při splnění podmínky přímé viditelnosti přijímače na alespoň čtyři družice tohoto systému.

V současné době se GPS využívá v širokém spektru oborů lidské činnosti (viz. kapitola 3.5) a na jeho provoz se ročně vynakládá přibližně 600 až 900 milionů (v letech 2006-2008) amerických dolarů z rozpočtu USA. [10]

3.1.1 Struktura GPS

GPS družicový navigační systém se skládá ze třech základních segmentů:

- vesmírný,
- řídicí a kontrolní,
- uživatelský.

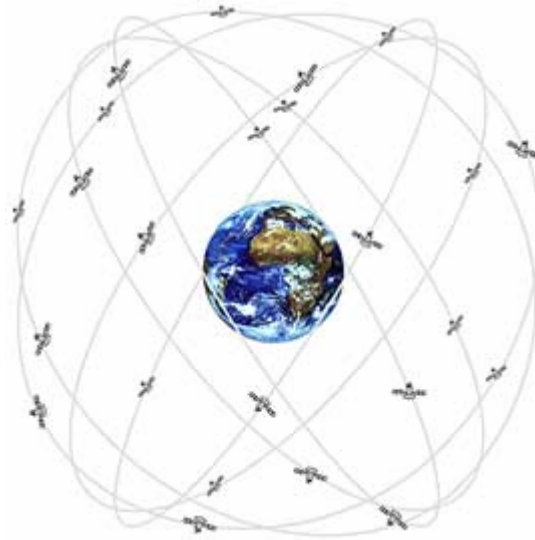
3.1.1.1 Vesmírný segment

Jedná se o soustavu 32 aktivních a 2 záložních družic, jež jsou rozděleny do šesti oběžných drah Země. Na jednotlivých oběžných drahách, které jsou tvořeny téměř kruhovým tvarem s inklinací 55° vzhledem k rovníkové rovině a s pravidelnými vzájemnými 60° odstupy, obíhá 4-7 aktivních družic. Družice vybavené 12L-pásmovými pravotočivě polarizovanými anténami, třemi až čtyřmi atomovými (Cesiovými nebo Rubidiovými) hodinami, S-pásmovými anténami určenými pro komunikaci s pozemními stanicemi, anténami pracujícími v pásmu ultra vysokých frekvencí pro vzájemnou komunikaci mezi družicemi, raketovými motory, fotovoltaickými panely, bateriemi a ostatními přístroji se pohybují rychlostí 3,9 m/s ve výšce cca 20200 km nad povrchem Země, kdy oběžná doba každé z nich trvá 11 hodin a 58 minut. Individuální družice přijímá, zpracovává a uchovává informace odeslané pozemním řídicím centrem, na základě kterých např. monitoruje stav vlastních systémů a podává o těchto skutečnostech informace zpět do řídicího centra, upravuje odchylky v dráze letu apod. V případě vzniku komplikací je každá družice vybavena záložními zdroji. [8]

Konkrétní družice byly a jsou vypouštěny na oběžnou dráhu po jednotlivých blocích (viz. Tab. 1) ať už za účelem prvotního spuštění či jako inovace za již vysloužilé kusy.

Název	Data vypuštění na oběžnou dráhu	Počet úspěšných vypuštění	Počet neúspěšných vypuštění
Blok I	22.02.1978 – 09.10.1985	10	1
Blok II	14.02.1989 – 01.10.1990	9	0
Blok IIA	26.11.1990 – 06.11.1997	19	0
Blok IIR	17.01.1997 – 06.11.2004	12	1
Blok IIR-M	26.09.2005 – 17.08.2009	8	0
Blok IIF	28.5.2010	1	0

Tab. 1 – Seznam dosud vypuštěných družic na oběžnou dráhu [7]



Obr. 1 – Grafické znázornění vesmírného segmentu GPS systému

[Zdroj:

<http://www.kowoma.de/en/gps/orbits.htm>]

3.1.1.2 Řídicí a kontrolní segment

Slouží zejména k monitorování, řízení a kontrole celého GPS. Konkrétněji pak zpracovává a následně reaguje na navigační zprávy (v L-pásmu) vysílané družicemi a spravuje tak např. úkoly spojené s úpravou kurzu, napájením, údržbou a veškeré další nezbytné úkony.

Řídicí a kontrolní segment se dělí na následující podkategorie:

- Hlavní řídicí středisko – situováno v Schriever U.S. Air Force Space Command, Second Space Operation Squadron v Colorado Springs, státě Colorado, které nepřetržitě spravuje veškerou činnost GPS systému. Je provozováno sálovými počítači společnosti IBM, které pracují pod Multiple Virtual Storage (MVS) operačním systémem. Bezdrátově komunikuje s řídicími a monitorovacími stanicemi (pracujícími pod operačním systémem UNIX, provozovanými společností Sun) pomocí TCP/IP protokolu.
- Záložní hlavní řídicí středisko – jako záložní hlavní kontrolní středisko slouží to v Gaithersburgu, ve státě Maryland.

- Řídící stanice – na vojenských základnách Diego García, Kwajalein, Ascension Island a Cape Canaveral jsou vybudovány řídicí stanice, jež slouží pro komunikaci s družicemi.
- Monitorovací stanice – po celé Zemi konkrétněji na Hawaii, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego García, Kwajalein, Washington DC, Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland)) jsou strategicky umístěné bezobslužné, dálkově ovládané (hlavním řídicím střediskem) monitorovací stanice, jež slouží jako přesné GPS přijímače s atomovými hodinami. Data přijatá z aktuálně viditelných družic pak slouží k přesnému určení oběžných drah a korekci atomových hodin jednotlivých družic. [1]

3.1.1.3 Uživatelský segment

Prostřednictvím GPS zařízení jsou koncoví uživatelé schopni přijímat signály z aktuálně „viditelných“ družic. Po zpracování takto přijatých dat lze následně určit polohu kdekoli na Zemi včetně nadmořské výšky a přesného aktuálního času a data.

Jednoduché GPS přijímací zařízení se skládá z antény, navigačního přijímače, počítače a napájení.

Rozdělení přijímačů dle kanálů:

- jednokanálové (používané v raných fázích projektu GPS),
- vícekanálové.

Rozdělení přijímačů dle přijímaných pásem:

- jednofrekvenční,
- dvoufrekvenční,
- vícefrekvenční.

Rozdělení přijímačů dle principu výpočtů:

- kódová,
- fázová a kódová.

Běžně dostupné přijímače amatérskému (tj. negeodetickému a nevojenskému) využití se vyrábí jako jednofrekvenční, vícekanálové a kódové. Přijímače vyrobené v USA nesmějí být exportovány, pokud nemají nastaveny omezení výšky do 18 km a rychlosti do 515 m/s. [6] Tyto limity vychází z prevence možného vojenského zneužití.

Koncové uživatele využívající systém GPS můžeme rozdělit do těchto skupin:

- Autorizovaní – Tito uživatelé (zejména armáda USA a vybrané spojenecké armády) mají k dispozici službu známou pod názvem „Precise Positioning Service (PPS)“, pro kterou je nutno znát dekódovací klíče k P(Y) kódu na frekvencích L1 a L2. Tyto dekódovací klíče zaručí především vyšší přesnost systému. Své uplatnění nalézá zejména v aplikacích, jako jsou navádění zbraňových systémů, podpora velení a vojáků při konfliktech, vojenská geodézie, doprava apod.

Požadavky na přesnost (pro pravděpodobnost 95%):

- horizontální přesnost do 17,8 m,
 - vertikální přesnost do 27,7 m,
 - přesnost času do 100 ns.
- Běžní uživatelé – Tedy civilní sektor má k dispozici C/A kód na frekvencích L1, díky kterému může využívat tzv. „Standard Positioning Service (SPS)“. Mezi typické profese a odvětví běžných uživatelů využívající GPS patří: doprava, geologie a geofyzika, geodézie, archeologie, lesnictví a zemědělství, turistika apod.

Požadavky na přesnost (pro pravděpodobnost 95%):

- horizontální přesnost do 100 m,
- vertikální přesnost do 156 m,
- přesnost času do 167 ns. [1, 9, 11]

3.1.2 Rádiové signály

Všechny signály odeslané GPS družicemi tvoří kombinaci nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Tvorba signálu probíhá v několika krocích, přičemž jsou veškeré složky signálu odvozovány násobením a dělením základní frekvence $f_0 = 10,23$ MHz, která je vyvozena z frekvence atomových hodin.

Každá z družic vysílá signály na dvou nosných frekvencích:

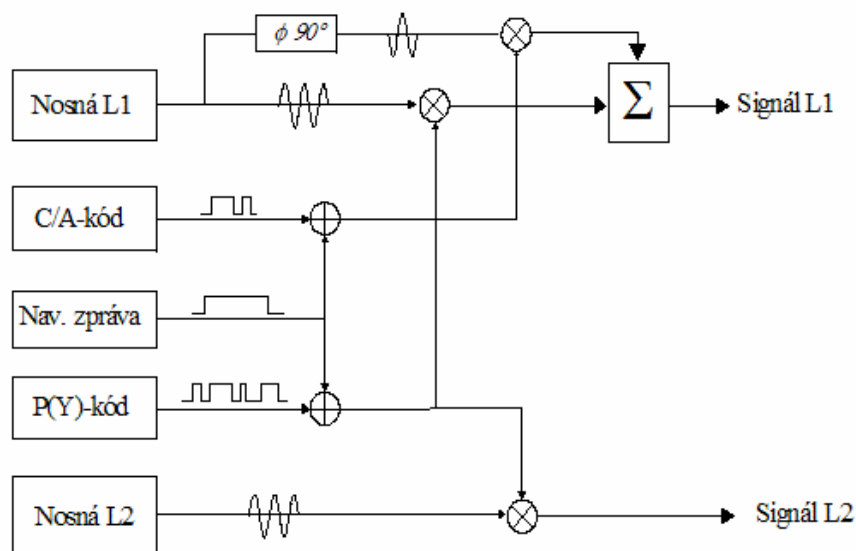
- L1 (1575,42 MHz = 10,23 MHz * 154 MHz) odpovídající vlnové délce 19 cm a
- L2 (1227,6 MHz = 10,23 MHz * 120 MHz) odpovídající vlnové délce 24,2 cm.

Frekvence L1 je modulována dvěma (C/A a P) dálkoměrnými kódy, jež se souhrnně označují jako „pseudonáhodné (PRN) šumy“, a navigační zprávou. Kdežto frekvence L2 je modulována pouze P kódem a navigační zprávou. [1]

3.1.2.1 Modulace signálu

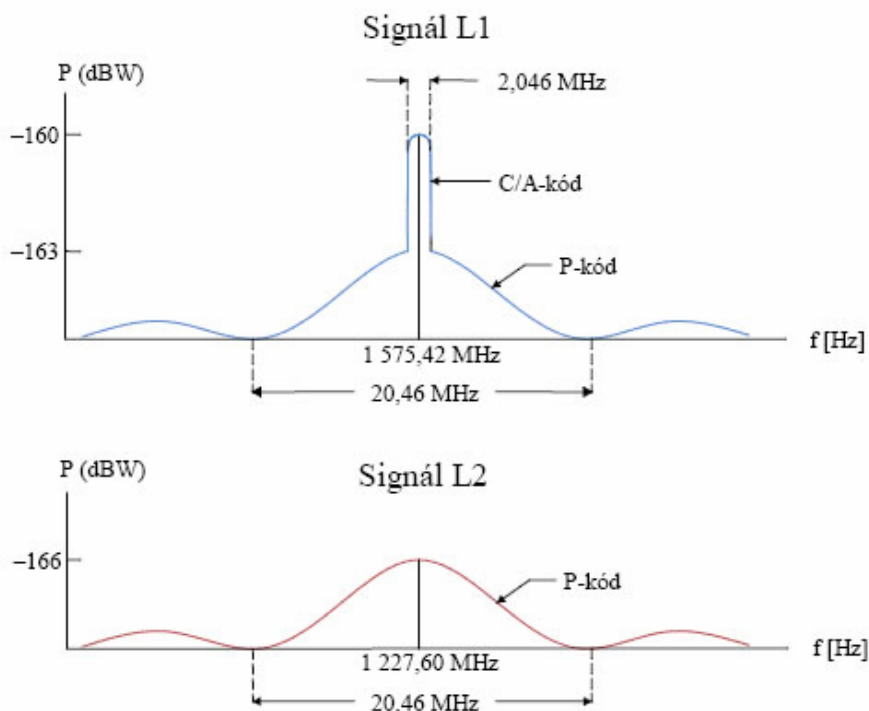
Pro modulaci GPS signálu se používá technika zvaná „binární fázové klíčování (Binary Phase-Shift Keying - BPSK)“, která mění fázi nosné vlny pokaždé, když se modulační kód změni z logické 0 na 1 či naopak. Binární fázové klíčování vede k symetrickému „rozšíření“ signálu kolem nosných vln.

Jelikož všechny družice vysílají na stejném frekvenčním kmitočtu, je potřeba oddělit jednotlivé signály a identifikovat tak konkrétní družici. K tomu se využívá metoda zvaná „Code Division Multiple Access (CDMA)“, díky které je každé družici přiřazen jednoznačný PRN kód.



Obr. 2 – Schéma modulace nosné vlny [14]

C/A kód „rozšiřuje“ signál nosné vlny L1 o šířku pásma 2,046 MHz centrovanou na 1575,42 MHz. P(Y) kód „rozšiřuje“ signál nosných vln L1 a L2 o šířku pásma 20,46 MHz centrovanou pro L1 na 1575,42 MHz a pro L2 na 1227,6 MHz.



Obr. 3 – Frekvenční spektra signálů [14]

Obr. 3 zobrazuje nosné vlny L1 a L2 při výkonu pozemní přijímací antény 0 dB, prvek C/A kódu L1 signálu má výkon -160 dBW, P(Y) kódu L1 signálu -163 dBW a P(Y) kódu L2 signálu -166 dBW. [14]

3.1.2.2 C/A kód

Tento C/A (neboli „Coarse Acquisition“ či „Clear Access“) kód modulující nosnou frekvenci L1 je tvořen 1023 chipy pseudonáhodného (PRN) kódu o datovém toku 1023 kchipů/sek., opakující se každou milisekundu. Jednotlivé družice mají přidělen svůj jedinečný C/A identifikátor, jenž je vybrán z množiny tzv. Goldových kódů, které minimalizují pravděpodobnost chybného měření přijímače (minimalizována korelace). C/A kód není šifrován a slouží tedy jako základní signál k určování polohy pro civilní účely. [12]

3.1.2.3 *P(Y) kód*

P (neboli „Precision“ či „Protected“) je rovněž jedním z PRN kódu ovšem o datovém toku 10,23 Mchipů/sek. a modulující obě (L1 i L2) nosné frekvence. Každé z družic je přiřazena jedinečná sedmidenní sekvence P kódu začínající vždy sobotní půlnocí GPS času. Tento kód je přístupný pro civilní aplikace a slouží tak k standardnímu určování polohy, může však být i zašifrován (při použití pro vojenské či podobné účely, kdy vzniká potřeba přesného určování polohy) a v těchto případech se označuje jako „Y kód“. [12]

Mezi výhody tohoto kódu patří zejména zvýšená přesnost měření vzdálenosti mezi přijímačem a družicí z důvodu použití rychlejšího a delšího kódu, dále také z možnosti měření na obou nosných frekvencích, což podstatně omezuje vliv ionosférické refrakce. [1]

3.1.2.4 *Navigační zpráva*

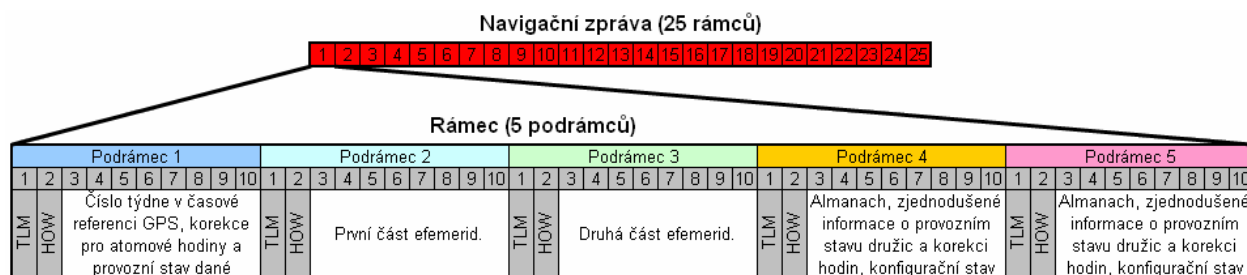
Aby bylo možno určit polohu družice včetně dalších údajů v okamžiku odeslání dálkoměrného kódu, je potřeba znát tzv. navigační zprávu, která je součástí obou L1 a L2 signálů a obsahuje tyto parametry:

- čas v okamžiku odeslání dat,
- korekci časové odchylky hodin,
- efemeridy – sloužící k výpočtu polohy družice v určitém čase,
- almanach – zahrnuje především údaje kurzu, stavu družic apod.,
- provozní stav konkrétní družice, jež odesílá navigační zprávu, ale i provozní stav všech ostatních družic,
- koeficienty ionosférického modelu – slouží pro výpočet případného vlivu ionosféry na družicí odeslané signály,
- koeficienty pro výpočet času UTC. [11]

Navigační zpráva se skládá z 25 rámců („Frame“), každý z nich obsahuje 1500 bitů. Jednotlivé rámce obsahují 5 podrámeců (každý 300 bitů) a každý z nich obsahuje deset 30 bitových slov („Word“). Při 50Hz přenosu trvá 6 sekund přijmout 1 podrámec, 30 sekund jeden rámeček a 12,5 minuty všech 25 rámců.

Obsah jednotlivých podrámců:

- „Telemetry Word“ (TLM) – skládá se z synchronizačního slova a diagnostických zpráv řídicího segmentu,
- „Hand Over Word“ (HOW) – obsahuje identifikaci daného a pořadí následujícího podrámce od počátku GPS týdne,
- 1. podrámec – číslo týdne v časové referenci GPS, korekce pro atomové hodiny a provozní stav dané družice,
- 2. podrámec – první část efemerid dané družice,
- 3. podrámec – druhou část efemerid dané družice,
- 4. a 5. podrámec – almanach, zjednodušené informace o provozním stavu družic a korekci hodin, konfigurační stav všech družic, data pro ionosférický model. [11]



Obr. 4 – Navigační zpráva GPS systému

3.1.2.5 Zpracování signálu

Pro určení vzdálenosti mezi přijímačem a družicí je potřeba přijatý signál zpracovat a získat tak tranzitní čas signálu, navigační zprávu a v případě potřeby fázového měření také rekonstruovanou nosnou vlnu. Ke zpracování takto přijatého signálu se nejčastěji využívá tzv. „kódová korelační technika“, která však vyžaduje znalost alespoň jednoho „PRN“ kódu (pseudonáhodného signálu). Tato technika je tedy obecně použitelná pro rekonstrukci pouze L1 nosné vlny přístupným C/A kódem. Pokud bychom však chtěli rekonstruovat i L2 nosnou vlnu, je potřeba znát P(Y) kód. Jestliže však máme zamezen přístup k P(Y) kódu, lze pro rekonstrukci použít některou z dalších tzv. bezkódových technik, jako jsou „vzájemná korelace (Cross-Correlation)“, „kvadrátování (Squaring)“, či jejich kombinace apod.

Postup při zpracování signálu pomocí korelační techniky:

- Přijímač generuje referenční nosnou vlnu, která je modulována replikou známého kódu.
- Výsledný referenční signál je korelován s přijatým družicovým signálem, posuzován v přesně definovaných časových krocích tak, aby se oba signály optimálně shodovaly (byly maximálně korelovány). Pokud zanedbáme chyby hodin, lze tímto způsobem získat časový posun, který odpovídá tranzitnímu času signálu mezi anténou družice a anténou přijímače.
- Pro dekódování a eliminování navigační zprávy, která je obsažena v přijatém signálu, se používá tzv. „hornofrekvenční filtr“. Následně pak získáme nosnou vlnu, kterou můžeme využít díky pohybu družice, jež je dopplerovsky posunuta, k fázovému měření. [13]

3.1.2.6 Modernizace

I přes to, že je GPS stabilní a dobře fungující systém, je samozřejmé, že jeho provoz musí procházet určitou modernizací, jež bude splňovat potřeby aktuální doby. Z tohoto důvodu byly vytvořeny následující rádiové signály, resp. kód:

- **L2C signál**

Tento poměrně nově zavedený signál (implementován na družicích od Bloku IIR-M) určený k civilnímu využití používá dvou rozdílných PRN kódů každé z družic. První z nich tzv. „Civil Moderate (CM)“ s délkou 10230 chipů, opakující se v 20ms periodách je modulován spolu s daty. Druhý, označován jako „Civil Long (CL)“, opakující se v 1500ms periodách má délku 767250 chipů a je modulován „čistě“, tedy bez dat. Jednotlivé signály jsou přenášeny rychlostí 511,5 kbps, avšak po spojení multiplexem jejich výsledná přenosová rychlost činí 1023 kbps.

Zavedení tohoto signálu přispělo k přesnějšímu určování polohy (zejména díky korekci ionosférických chyb a snadnějšímu sledování signálu), ale L2C také slouží jako redundantní signál, např. v případech interferenčních problémů. [1,11, 16]

- **M kód**

M (z angl. „Military“) kód slouží jako moderní náhrada stávajícího vojenského Y kódu nosných frekvencí L1 a L2. Koncept tvorby tohoto kódu vycházel z požadavků na vyšší výkon a odolnost proti případnému rušení či přetížení, důraz byl kladen na kvalitnější zabezpečení, autentizaci, utajení a celkovou vyšší flexibilitu kódu. Všechny tyto nové či vylepšené vlastnosti však nesmí interferovat s již zavedenými signály a nesmí také negativně ovlivňovat měření na starších civilních či vojenských přijímačích.

M kód využívá binární modulaci se zpožděnou nosnou vlnou „Binary Offset Carrier (BOC)“ 24 MHz šířky pásma (proti původním 20 MHz Y kódu).

Tento kód je vysílán spolu s novou navigační zprávou „Military Navigation Message (MNAV)“, ve které byly nahrazeny rámce tzv. pakety. Díky tomuto vylepšení se stává MNAV více flexibilní a umožňuje např. přenášet odlišné obsahy zpráv různou rychlostí na L1 a L2 kanálech. Formát MNAV také disponuje moderním paritním algoritmem, opatřením vedoucím ke zlepšení kontroly případných chyb při přenosu tzv. „Forward Error Correction (FEC)“. [17]

- **L5 signál**

Implementace tohoto, v pořadí již třetího, civilně dostupného signálu vysílaném na frekvenci 1176,45 MHz ($10,23 \text{ MHz} * 115$), jehož datový tok činí 10,23 Mchipů/sek. (vůči 1,023 Mchipům/sek. u L1 C/A kódu) přináší následující vylepšení: rozšíření rozsahu pásma, zvýšenou odolnost proti zkreslení a rušení signálu, přesnější určování polohy a zejména však poskytování služby zvané „Safety Of Life (SoL)“, která je primárně určena pro rádiově navigační služby civilního letectví.

L5 signál je složen ze dvou kanálů. Oba, „In-phase (I)“ a „Quadrature-phase (Q)“, poskytují shodně výkonný signál, avšak každý je modulován jiným, ale časově synchronizovaným L5 PRN kódem. Datový tok navigační zprávy složky „I“ je navíc modulován 100 znaky za vteřinu, kdežto „Q“ složka je modulována pouze PRN kódem. Rozdílné, téměř ortogonální PRN kódy „I5 a Q5“ se používají u obou kanálů k tomu, aby se zabránilo případnému zkreslení při příjmu těchto signálů. Jednotlivé kanály se tak stávají vzájemně zcela nezávislé.

3.1.3 Přijímací zařízení

Přijímací zařízení se skládá (jak již bylo naznačeno v kapitole 3.1.1.3) z těchto základních částí:

- anténa,
- navigační přijímač,
- navigační počítač.

3.1.3.1 Anténa

Výkonové parametry antén do značné míry ovlivňují celkový výkon přijímacího zařízení. Zejména pak záleží na konstrukci antény, citlivosti, odolnosti vůči rušení, stabilita tzv. fázového středu antény (u kvalitních antén) apod. [1]

3.1.3.2 Navigační přijímač

Jedná se o soustavu vstupní jednotky, časové základny, která navigační přijímač řídí a jeden nebo více měřících přijímačů. Úkolem navigačního přijímače je zpracovat anténou přijaté signály, např. data navigačních zpráv, pravděpodobnou vzdálenost k družicím apod.

Navigační přijímače dělíme podle vstupních kanálů na:

- jednokanálové,
- vícekanálové.

Jednokanálové přijímače pracují pouze s jedním měřícím přijímačem. Měření signálu se provádí tak, že přijímač zjistí ve vstupním signálu dálkoměrný kód dané družice, provede potřebná měření a následně přepne vstupní kanál na další družici. Po naměření potřebných dat ze všech aktuálně dostupných družic se výsledky měření předají do navigačního počítače, kde se provede následné zpracování získaných dat. Za předpokladu rychlého přepínání vstupního kanálu (cca 3 – 5 ms) je navigační přijímač schopen vyhodnocovat současně s kódovým měřením také navigační zprávy odesílané individuálními družicemi. Pokud však tato podmínka není splněna, je nutné, aby byl takovýto přijímač vybaven dalším kanálem určeným právě ke zpracování navigačních zpráv.

Vícekanálové přijímače jsou vybaveny několika samostatnými přijímači (5 a více), které umožňují současně přijímat signály z více aktuálně dostupných družic. Vícekanálové

přijímače pak umožňují daleko rychleji a přesněji určit aktuální polohu a jsou daleko méně náchylné k případným výpadkům signálů. [1]

Rozdělení přijímačů dle přijímaných pásem:

- jednofrekvenční,
- dvoufrekvenční,
- vícefrekvenční.

Rozdělení přijímačů dle principu výpočtů:

- kódová,
- fázová a kódová.

3.1.3.3 Navigační počítač

Mezi úkoly navigačního počítače patří zpracování dat navigačního přijímače, následné určení aktuální polohy přijímače, přesného GPS času, rychlosti pohybu přijímače a další požadované úkoly. [1]

3.1.4 Určování polohy a času

GPS přijímače standardně poskytují danou polohu na Zemi v geografických souřadnicích vztažených k WGS-84 souřadnicovému systému. Pro určování času pak slouží tzv. UTC formát, který udává přesný čas atomovými hodinami, avšak je patřičně upravován tak, aby byl v souladu s astronomickým časem, jenž je odvozen od rotace Země. Existují však aplikace, kdy je potřeba naměřené výsledky získat v jiném souřadnicovém systému, resp. v jiné časové škále. K těmto účelům se využívají transformační vzorce. [1]

3.2 Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema (GLONASS)

Tento pasivní rádiový družicový dálkoměrný navigační systém je aktuálně dokončovanou ruskou obdobou amerického GPS. Poskytuje služby v oblasti určení polohy, času a rychlosti kdekoli na Zemi v třírozměrném prostoru primárně pro vojenské, sekundárně pro civilní uživatele.

3.2.1 Struktura GLONASS

GLONASS je svou strukturou analogický výše specifikovanému GPS, skládá se tedy z:

- vesmírného segmentu,
- řídicího a kontrolního segmentu,
- uživatelského segmentu.

3.2.1.1 Vesmírný segment

Po plně funkčním dokončení celého projektu by se měl vesmírný segment systému GLONASS skládat z 24 družic umístěných na 3 oběžných drahách vzájemně posunutých o 120°. Každé z drah přísluší 8 družic, které jsou vzájemně posunuty o 45°. Jednotlivé družice obíhají kolem Země v cca 11 hodinových a 15 minutových periodách a to ve výšce 19100 km nad zemským povrchem se sklonem 64,8°. [18]

Číslo ob. dráhy	Družici přidělená pozice	Rádio-frekvenční kanál	GLONASS označení	Datum vypuštění na oběžnou dráhu	Datum spuštění provozu	Datum ukončení provozu	Počet měsíců v provozu	Informace o stavu družic		
								Zobrazení v almanachu	Efemeridy (UTC)	Pozn.
I	1	1	730	14.12.09	30.01.10		16,3	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
	2	-4	728	25.12.08	20.01.09		27,9	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
	3		727	25.12.08	17.01.09	08.09.10	27,9			Údržba
	5	1	734	14.12.09	10.01.10		16,3	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
	6	-4	733	14.12.09	24.01.10		16,3	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
	7	5	712	26.12.04	07.10.05		75,9	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
	8	6	729	25.12.08	12.02.09		27,9	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
	II	9	-2	736	02.09.10	04.10.10		7,7	+	+ 14:59 24.04.11
10		-7	717	25.12.06	03.04.07		52,0	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
11		0	723	25.12.07	22.01.08		40,0	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
12		-1	737	02.09.10	12.10.10		7,7	+	+ 16:00 24.04.11	V provozu
13		-2	721	25.12.07	08.02.08		40,0	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
14										V provozu (pouze L1)
		-7	722	25.12.07	25.01.08		40,0	+	+ 16:44 24.04.11	
		-6	715	25.12.06	03.04.07		52,0	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
15		0	716	25.12.06	12.10.07		52,0	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
16	-1	738	02.09.10	11.10.10		7,7	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu	
III		4	714	25.12.05	31.08.06		64,0	+	+ 16:48 24.04.11	V provozu
	17		718	26.10.07	04.12.07	29.11.10	42,0			Údržba
	18	-3	724	25.09.08	26.10.08		30,9	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
	19	3	720	26.10.07	25.11.07		42,0	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu

20	2	719	26.10.07	27.11.07		42,0	+	+ 14:59 24.04.11	V provozu
21	4	725	25.09.08	05.11.08		30,9	+	+ 15:15 24.04.11	V provozu
22	-3	731	02.03.10	28.03.10		13,7	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
		726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	30,9			Údržba
23	3	732	02.03.10	28.03.10		13,7	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu
24	2	735	02.03.10	28.03.10		13,7	+	+ 16:45 24.04.11	V provozu

Tab. 2 – Aktuální stav družic GLONASS systému ke dni 22.4.2011

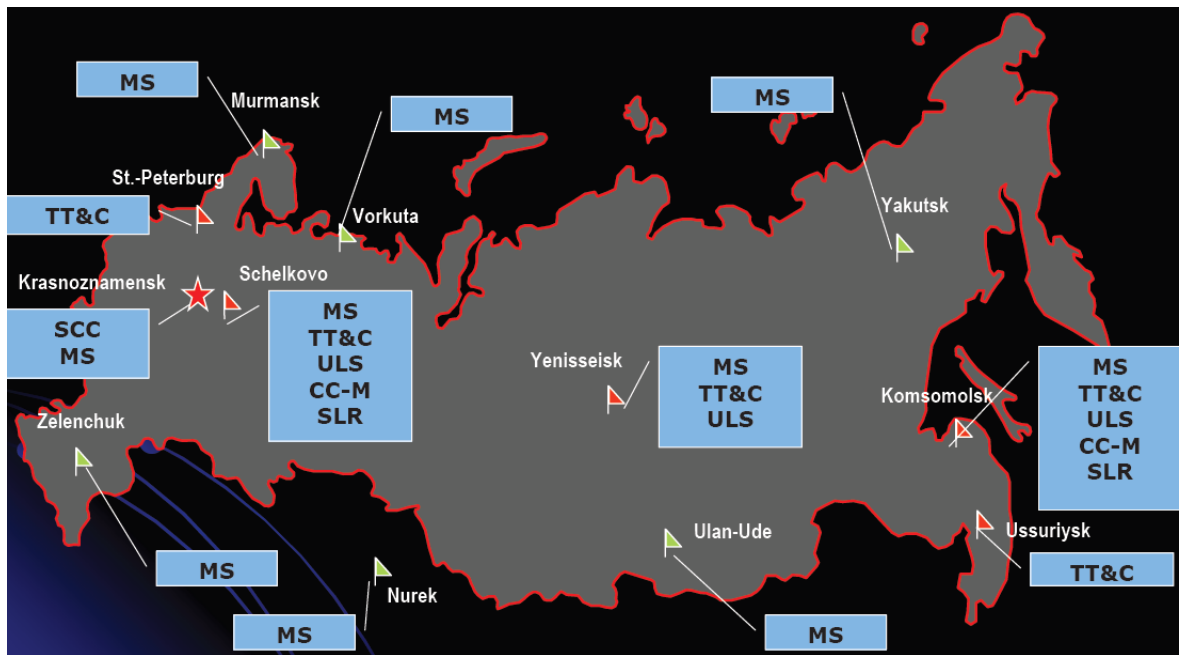
[zdroj: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:121539856524587::NO>]

3.2.1.2 Řídící a kontrolní segment

Tento segment systému GLONASS plní funkce řízení, sledování, kontroly a údržby vesmírného segmentu, měření a předpověď efemerid každé z družic; zajišťuje přenos předpověděných efemerid, časových korekcí družicových hodin a almanachu na jednotlivé družice; obstarává synchronizaci družicových hodin se systémovým časem GLONASSu. Pozemní stanice jsou rozmístěny pouze na území Ruska a blízkém okolí, lze však v budoucnu předpokládat expanzi v budování těchto stanic i na další místa světa.

Řídící a kontrolní segment se skládá z těchto stanic:

- Hlavní řídicí středisko „System Control Center (SCC)“ v Krasnoznamenck, jenž koordinuje, řídí a sleduje veškeré funkce a procesy systému GLONASS;
- 10 monitorovacích stanic „Monitor Station (MS)“ umístěných v Murmansk, Vorkuta, Yakutsk, Ulan-Ude, Nurek (Tádžikistán), Zelenchuk, Krasnoznamenck, Schelkovo, Yenisseisk, Komsomolsk, které monitorují signály systému GLONASS a komunikují s hlavním řídicím střediskem;
- 5 povelových stanic „Telemetry, Tracking and Command/Communication (TT&C)“ lokalizovaných v St. Peterburg, Ussuriysk, Schelkovo, Yenisseisk, Komsomolsk zodpovídající za měření a případnou korekci drah družic;
- 3 rozšířené stanice „Satellite Laser Ranging (SLR)“ – kalibrující radiofrekvenční měření, „Uplink Station (ULS)“ – sloužící k nahrání předpověděných efemerid na družice, Control Center (CC) – určeny pro korekci a synchronizaci systémového času“ nacházející se v Schelkovo, Komsomolsk, Yenisseisk (na této stanici není provozována služba „Control Centra, CC). [19, 20]



Obr. 5 – Rozmístění stanic řídicího a kontrolního segmentu systému GLONASS [19]

3.2.1.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z přijímačů a procesů měření GLONASS signálů, jenž umožňují koncovým uživatelům určit souřadnice, rychlost a čas. Jelikož komunikace mezi družicí a přijímačem probíhá pouze jednosměrně, řadí se i tento družicový systém mezi pasivní.

Obdobně jako i u GPS můžeme rozdělit uživatelský systém projektu GLONASS na tyto kategorie:

- Civilní uživatelé – mají k dispozici službu zvanou „Standard Positioning (SP)“, jež umožňuje určovat polohu se standardní přesností, tj.:

Při pravděpodobnosti 95 % (předpoklad / aktuálně deklarovaná provozovatelem):

- 100 m (26 m) horizontálně,
 - 150 m (do 45 m) vertikálně,
 - 15 cm/sek. (3-5 cm/sek.) rychlost,
 - do 5 ms aktuální čas.
- Autorizovaní uživatelé – především ruská armáda, vládní a podobné instituce, které využívají tzv. službu „High Positioning (HP)“ zaručující vyšší přesnost při určování

polohy. Bohužel oficiální informace o těchto hodnotách nejsou veřejně dostupné, avšak dle neoficiálních zdrojů při 95% pravděpodobnosti dosahují uživatelé těchto hodnot:

- 20 m horizontálně,
- 34 m vertikálně.

Jedním z důvodů, proč není systém GLONASS natolik rozšířen mezi veřejností, je aktuální tržní nedostatek přijímačů schopných s tímto systémem pracovat. [20]

3.2.2 Rádiové signály

Narozdíl od GPS, kde každá z družic vysílá unikátní PRN kódy (C/A a P(Y)) na stejné frekvenci pomocí metody CDMA, družice GLONASS systému vysílají PRN kódy na různých frekvencích za pomoci metody „Frequency Division Multiple Access (FDMA)“. Z tohoto důvodu jsou přijímače GLONASS systému více odolné vůči rušení a negativním interferencím jiných vysílačů, přístrojů či navigačních signálů. Naproti tomu nabývají celkově větších rozměrů a jsou složitější, respektive nákladnější konstrukce.

Každá družice vysílá na dvou frekvencích L1 a L2 (v blízké budoucnosti se počítá i s novou, L3 frekvencí), kdy vždy dvě, vzájemně protilehlé družice, používají shodné frekvence. Pro každou z těchto frekvencí přísluší i dva navigační kódy (SP, HP). Nedílnou součástí signálu je samozřejmě i navigační zpráva. [11, 20]

3.2.2.1 Přidělování frekvence konkrétním družicím

Rovnice pro přidělování frekvencí družicím:

- Pro L1 = $1\,602\text{ MHz} + n * 0,5625\text{ MHz}$, (3)

- pro L2 = $1\,246\text{ MHz} + n * 0,4375\text{ MHz}$. (4)

n ... označuje kanál, jenž je přidělen dané družici (aktuálně z intervalu -7 až 4 viz. Tab. 2) [20]

3.2.2.2 Standard Positioning (SP) kód

Pro standardní službu se využívá 511 chipový PRN kód vysílaný rychlostí 0,511 Mchipů/sek. v 1ms intervalech. [11]

3.2.2.3 *High Positioning (HP) kód*

Autorizovaní uživatelé jsou však oprávněni využívat HP službu, jejíž PRN délka kódu činí 33,55 Mchipů, vysílací rychlost 5,11 Mchipů/sek s periodou opakování (zkrácenou) na každou 1 vteřinu. [11]

3.2.2.4 *Navigační zpráva*

GLONASS systém pracuje s dvěma typy navigačních zpráv:

- Navigační zpráva pro SP kód se skládá z 5 rámců, kdy každý z nich obsahuje 15 řádků a každá řádka nese 100 bitů informací. Odeslání jednotlivých rámců trvá 30 vteřin, resp. celá zpráva se odešle za 2,5 minuty.
- Navigační zpráva pro HP kód je složena ze 72 rámců o 5 řádcích, kdy každá řádka obsahuje opět 100 bitů informací. Každý z rámců se odesílá 10 vteřin, resp. celá navigační zpráva se odesílá 12 minut. [11]

Oba tyto typy navigačních zpráv jsou shodně přenášeny rychlostí 50 bps a obsahují následující údaje:

- efemeridy družic,
- korekci hodin,
- informace o přiděleném kanálu,
- aktuální čas (případně i časový rozdíl mezi GLONASS a GPS),
- almanach,
- stáří dat a
- provozní stav družic. [20]

3.2.2.5 *Modernizace*

Mezi plánované modernizace tohoto systému aktuálně patří plné zavedení L3 signálu, následně pak implementace signálu typu „Safety of Life (SoL)“, ovšem tentokrát s modulací založenou na CDMA (díky požadavkům na interoperabilitu se systémy jako GPS a GALILEO).

3.2.3 Určování polohy a času

Jako původní geografický referenční systém projektu GLONASS sloužil „Geodetic System 1985 (SGS-85)“, avšak od roku 1993 se začal používat „Earth Parameter System 1990 (PZ-90)“, který je svými vlastnostmi velmi podobný „WGS-84“ referenčnímu systému používanému projektem GPS. Jako referenční čas se používá „UTC Soviet Union (SU)“, synchronizovaný s UTC. Pozn. Název odvozen z tehdejšího Sovětského svazu, dnešního Ruska.

3.3 GALILEO

Galileo je aktuálně budovaný volně dostupný evropský družicový navigační systém (fungující na dálkoměrném principu) provozovaný Evropskou unií prostřednictvím Evropské kosmické agentury (European Space Agency - ESA). Tento projekt byl pojmenován po slavném Galileu Galileovi, italském astronomovi, fyzikovi a filozofovi, a je primárně určen pro civilní účely (narozdíl od GPS a GLONASS). Předpokládá se (díky použití velmi podobných technologií), že tento systém bude interoperabilní se stávajícími GPS a GLONASS systémy.

3.3.1 Struktura Galileo

Tak jako i předchozí družicové navigační systémy se i Galileo skládá ze 3 základních segmentů:

- vesmírný,
- řídicí a kontrolní,
- uživatelský.

3.3.1.1 Vesmírný segment

Aktuálně jsou v provozu dvě Galileo družice (GIOVE-A a GIOVE-B) a je předpokladem, že po dokončení budování se bude systém Galileo skládat z 30 družic (27 plně funkčních a 3 záložních) umístěných ve 3 kruhových rovinách nacházejících se ve výšce 23222 km nad zemským povrchem s periodou oběhu 14 hodin. Sklon jednotlivých družic by měl činit 56° vůči rovníkové rovině se vzájemnými odstupy 120° zeměpisné délky.

Specifikace družice:

Rozměry:	2,7 x 1,1 x 1,2 m
Rozpětí solárních panelů:	13 m
Špičkový výkon:	1600 W
Hmotnost:	700 kg
Hodiny:	2 x Pasivní vodíkový maser, 2 x Rubidiové atomové hodiny
Navigační signály:	10 signálů v rozsahu 1200-1600 MHz

Tab. 3 – Specifikace Galileo družice

3.3.1.2 Řídící a kontrolní segment

Základ řídicího a kontrolního segmentu tvoří dvě kontrolní střediska (Galileo Control Center – GCC) ležící v německém Oberpfaffenhofen a italském Fucino. Tyto střediska provádí veškeré řídicí funkce a jsou podporovány těmito přidruženými stanicemi:

- Ground Control Segment (GCS) – tento segment řeší otázky údržby, odstávky a časového rozvrhu jednotlivých úkonů prováděných na družicích. Provoz tohoto segmentu bude podporován celosvětovou sítí telemetrických dálkově ovládaných (Telemetry and Telecommand - TT&C) S-pásmových stanic.
- Ground Mission Segment (GMS) – tento segment tvoří tzv. Galileo Sensor Stations (GSS), které se zabývají otázkami navigačního a časového systému a jejichž hlavní prvek tvoří referenční přijímač. Data získaná GSS stanicemi jsou dále šířena (pomocí „Up-Link“ stanic) přes pozemní a družicové spojení do dvou hlavních řídicích a kontrolních středisek, kde se provádí výpočet integrity informací a synchronizace času mezi pozemními stanicemi a družicemi.

System Galileo také počítá s možností rozšíření pokrytí a zkvalitnění tak svých služeb (např. v místech se slabým příjmem signálu) pomocí tzv. místních složek. Provoz těchto složek by pak zajišťovaly různé organizace, stát či jiné společenství.

3.3.1.3 Uživatelský segment

Tvůrci Galilea slibují přínos nových metod a technologií vedoucích zejména k maximalizaci výkonu a spolehlivosti celkového systému. Jelikož bude Galileo přijímač umět pracovat se stávajícími signály GPS i GLONASS systémů, nepochybně se tak zajistí vyšší přesnost,

spolehlivost i rychlost požadovaných uživatelských služeb. Standardně by měly přijímače Galilea umožnit určení aktuální polohy s přesností okolo 1 m, u placených aplikací pak v jednotkách několika centimetrů. Tyto výkony lze předpokládat především v oblasti Evropy zejména díky většímu sklonu družic vůči rovníkové rovině.

3.3.2 Poskytované služby

- Open Service (OS) – standardní služba, jež bude poskytována zcela zdarma. Předpokladem je vzájemná kompatibilita s GPS a GLONASS systémy, vedoucí zejména k vyšší dostupnosti, spolehlivosti a přesnosti.
- Commercial Service (CS) – placená služba, která bude zejména poskytovat vyšší přesnost při určování polohy a času, ale také další nabízené služby, jako např. aktualizace SW přijímače apod.
- Safety of Life Service (SoL) – jedná se o standardní signál s certifikovanou a zabezpečenou integritou, jež poskytuje případné varovné informace o problémovém chodu systému.
- Public Regulated Service (PRS) – šifrovaná služba určená k vládním účelům s kontrolovaným přístupem.
- Search and Rescue Service (SAR) – služba (založena na již fungujícím COSPAS-SARSAT systému) poskytující lokalizaci přijímače při nouzových či pátracích akcích s podporou vzájemné komunikaci mezi záchranným týmem (resp. operátorem) a druhou stranou.

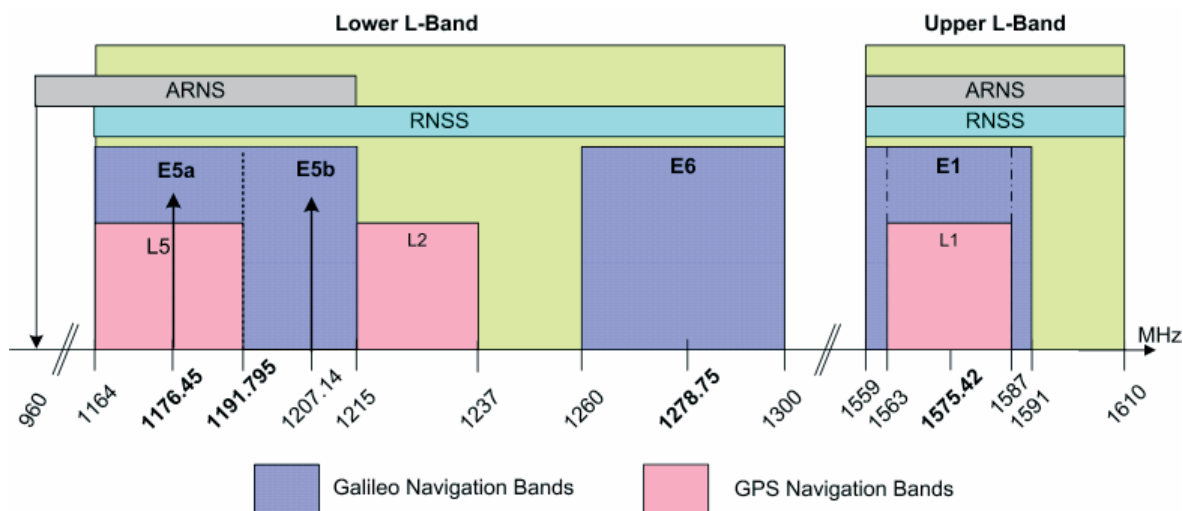
3.3.3 Rádiové signály

Každá z družic Galileo systému bude poskytovat celkem 10 signálů rozdělených do těchto 4 kategorií:

- F/Nav – určené pro otevřenou službu (OS), komerční službu (CS), službu týkající se informací o bezporuchovém chodu systému (SoL).
- I/Nav – využívané stejnými službami jako u „F/Nav“ s tím, že tato služba navíc obsahuje integrační informace.
- C/Nav – určeno pro komerční službu (CS).

- G/Nav – pro veřejně regulovanou službu (PRS).

Rádiové signály spadající pod kategorii otevřené služby (OS) jsou rozděleny do 4 základních skupin: E5a, E5b, E6 a E1 (E2-L1-E1). Takto zvolené frekvenční pásma byly vybrány z ohledem na rozsah, jenž je určen pro družicově-rádiové navigační služby (RNSS) a navíc také pro pásma určené k rádiovým navigačním službám civilního letectví a krizově varovných systémů (ARNS). [15]



Obr. 6 – Plánované frekvenční rozsahy služby „OS“ Galileo systému [15]

Název	Frekvence nosné vlny [MHz]
E1 (E2-L1-E1)	1575,420
E6	1278,750
E5	1191,795
E5a	1176,450
E5b	1207,140

Tab. 4 – Střední frekvence nosných vln

„OS“ služby (pozn. Nosné vlny E5a a E5b tvoří součást nosné vlny E5.) [15]

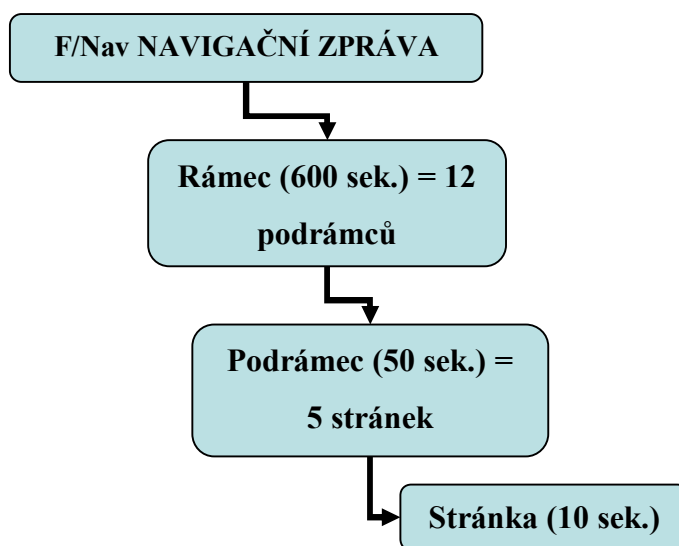
3.3.3.1 Navigační zprávy

Systém Galileo využívá různé typy navigačních zpráv (pro „OS“ službu) a to:

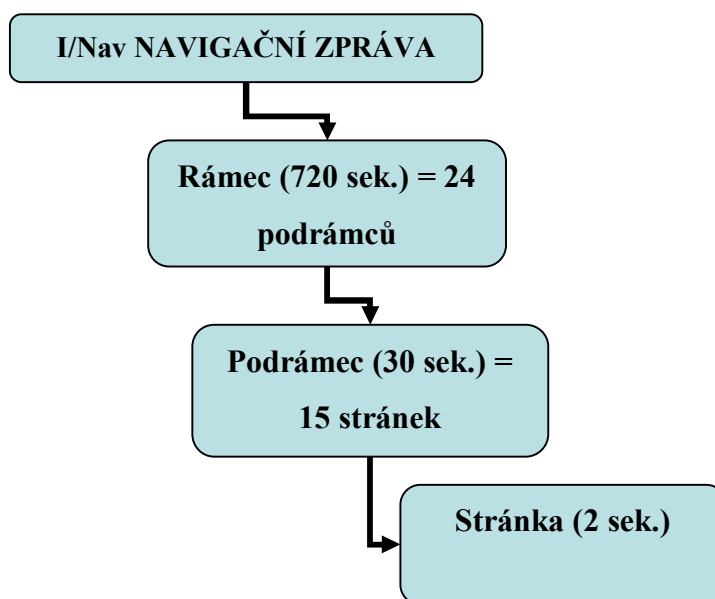
Navigační zpráva	Služba
F/Nav	OS
I/Nav	OS, CS, SoL

Tab. 5 – Typy navigačních zpráv

„OS“ služby [15]



Obr. 7 – Struktura F/Nav navigační zprávy „OS“ služby [15]



Obr. 8 – Struktura I/Nav navigační zprávy „OS“ služby [15]

3.4 Regionální autonomní družicové navigační systémy

Kromě globálních družicových navigačních systémů existují i regionální autonomní družicové systémy, které, jak již z názvu vyplývá, poskytují své služby pouze v určitém regionu. Tyto systémy jsou obvykle vlastněny konkrétním státem (či společenstvím) a jsou velmi často navrženy tak, aby byly schopny kooperace s některým z již zavedených navigačních systémů.

3.4.1 Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS)

Aktuálně budovaný autonomní indický družicový navigační systém IRNSS bude poskytovat své služby jak k vojenským, tak i civilním účelům na území Indie a blízkého okolí (do vzdálenosti cca 2000 km od hranic státu). Plánovaný rok plného dokončení je stanoven na 2014. [22, 23]

3.4.1.1 Segmenty

Vesmírný segment tohoto systému se bude skládat z celkového počtu 7 (později až z 11) družic. Některé z nich budou umístěny na geostacionární oběžné dráze (např. v polohách 34° V, 83° V, $131,5^\circ$ V zeměpisné délky) a některé na geosynchronní dráze (s křížením rovníku na 55° V a $111,5^\circ$ V zeměpisné délky), přičemž jejich inklinace bude činit 29° .

Pozemní segment se bude skládat ze 2 hlavních řídicích středisek, 2 navigačních středisek, 9 povelových stanic, 17 stanic monitorovacích stanic, 2 center pro kalibraci času, 6 stanic zodpovídajících za CDMA metodu a dva datové komunikační kanály. [22]

3.4.1.2 Signály

Systém IRNSS využívá dvou nosných vln L5 (o frekvenci 1176,45 MHz) a S (o frekvenci 2492,028 MHz).

Pro poskytování standardní služby je signál na obou nosných vlnách modulován metodou BPSK(1), kdy rychlost přenosu navigační zprávy činí 25 bps a PRN kódu 1,023 Mchipů/sek.

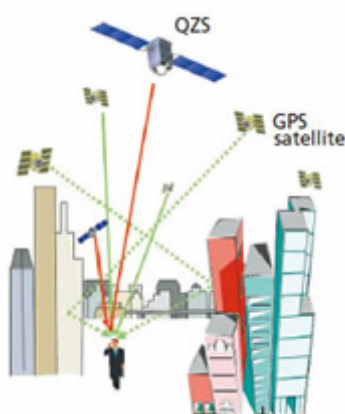
Služba určená pro autorizované uživatele je opět poskytována na obou (L5 a S) nosných vlnách, ale tentokrát za použití modulační techniky BOC (5,2). Datový tok navigační zprávy činí 25 bps a PRN kódu 2,046 Mchipů/sek. [22]

3.4.1.3 Polohová přesnost

Uvádí se, že by IRNSS svým uživatelům, disponujícím dvoufrekvenčními přijímači, byl schopen poskytnout polohovou přesnost s odchylkou menší než 10 m.

3.4.2 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

QZSS je aktuálně vyvíjený (s předpokladem plné funkčnosti pravděpodobně v roce 2013) regionálním družicovým systémem poskytujícím své služby (navigace, času, rychlosti) v oblastech východní Asie včetně Japonska a provozovaný japonskou vesmírnou agenturou JAXA. Je plně kompatibilní se stávajícím GPS (částečně také s ostatními družicovými systémy) a funguje tak (díky zenitovému umístění družic) jako jeho podpora v zastavěných oblastech výškovými budovami či jiné členitosti terénu. [22]



Obr. 9 – Znárodnění
kooperace GPS a QZSS

[Zdroj:

http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html]

3.4.2.1 Segmenty

Vesmírný segment tohoto systému se skládá z 3 nepřetržitě fungujících družic nacházejících se v rozmezí výšky 31911 až 39581 km. Družice se pohybují na odlišných oběžných dráhách s inklinací od 39° do 47° vůči rovníku a jsou vzájemně separovány v 120° rozestupech.

Pozemní segment se skládá z hlavní řídicí a kontrolní stanice umístěné v Japonsku, která zajišťuje veškerou provozuschopnost tohoto systému a dále také z 8 monitorovacích stanic ležících v Sarobetsu, Koganei, Ogasawaře, Okinawě, na Havaji, Guamě, Bangaloře a Canbeře. [22]

3.4.2.2 Signály

System QZSS využívá 5 navigačních signálů, z čehož jsou dva modulovány na nosné vlně L1 (1575,42 MHz), jeden na L2 (1227,6 MHz), jeden na L5 (1176,45 MHz) a poslední, tzv. LEX signál, na frekvenci 1278,75 MHz.

	L1 C/A	L1-SAIF	L1C	L2C	L5	LEX
Frekvence nosné vlny [MHz]	1575,42	1575,42	1575,42	1227,6	1176	1279
PRN kód [Mchipů/sek.]	1,023	1,023	1,023	1,023	10,23	5,115
Rychlost přenosu navigační zprávy [bps]	50	250	25	25	50	2000
Metoda modulace signálu	BPSK(1)	BPSK(1)	BOC(1,1)	BPSK(1)	BPSK(10)	BPSK(5)

Tab. 6 – Přehled signálů QZSS signálů [22]

3.4.2.3 Polohová přesnost

Dle simulačně-testovacího modelu kooperace QZSS a GPS signálů bylo zjištěno, že by se v 95% měla polohová nepřesnost u jednofrekvenčních přijímačů pohybovat okolo 21,9 m a u dvoufrekvenčních okolo 7,5 m. [22]

3.5 Aplikační využití družicových navigačních systémů

Spektrum aplikačního využití dnešních družicových navigačních systémů je opravdu široké. V této kapitole jsou popsány některé ze stěžejních aplikací. Jelikož je dodnes GPS stále nejrozšířenějším a nejpoužívanějším systémem, jsou tyto vybrané aplikace vztaženy zejména k tomuto GNSS.

3.5.1 Civilní využití

Služby poskytované družicovými navigačními systémy začalo v posledních letech využívat masové množství široké veřejnosti. Mezi důvody, které k tomuto rozmachu vedly, patří zejména touha lidí vlastnit zařízení, které jim usnadní nebo zpestří soukromý i pracovní život a to za daleko rozumnější pořizovací náklady, než tomu bývávalo dříve.

3.5.1.1 Pozemní doprava

Mezi veřejností asi nejčastěji využívanou oblastí služeb poskytovanou GNSS se stalo určování polohy, resp. navigace v pozemní dopravě. Dnes již naprosto běžná skutečnost, která byla ještě před pár lety nadčasovou vizí za vysoké pořizovací náklady.

Při aplikacích, kdy je požadováno zpětné monitorování pohybu vozidel (např. u společností provozujících taxislužbu, přepravu zásilek či kamionovou dopravu apod.), je do těchto dopravních prostředků nainstalován přijímač družicových navigačních signálů, který na patřičné datové médium v určitých intervalech ukládá svou polohu spolu s konkrétním časem. Při zpracování takto nasbíraných dat má provozovatel těchto služeb jasnou představu mj. o tom, na jakém místě a v jakém čase se dané vozidlo nacházelo. Záleží pak již čistě na softwarovém nastavení GNSS přijímacího zařízení, ale z nasbíraných dat lze také např. zjistit maximálně dosaženou průměrnou rychlost vozidla, dodržování povinných bezpečnostních přestávek atd. Lze tedy říci, že tato služba GNSS systému již není přepychem, nýbrž nutností, která vede ke kvalitnějšímu strategickému plánování, organizování a celkově lepšímu chodu některých společností.

Při kombinaci výše zmíněného monitorování dopravních prostředků a vzdálených úložišť dat (zajištěných např. pomocí GSM služby, specifické komunikační sítě či družicových datových přenosů apod.) lze zpracovávat získaná data o konkrétním dopravním prostředku téměř v reálném čase. Tato kombinace tedy představuje opět širší a hlavně pružnější možnosti správy takovýchto aplikací využívaných např. i v železniční či lodní dopravě.

Trendem aktuální doby se stala tzv. „autonavigace“. Ve zkratce se jedná o mini počítač, který je vybaven přijímačem družicových navigačních signálů a stále propracovanějšími mapovými podklady. Tento druh navigačního přístroje plní především funkci vizuálního a hlasového navádění na silniční síti dle uživatelem předem stanovených kritérií. Autonavigace můžeme rozdělit na pevné (ty jsou implementovány přímo do palubní desky automobilu) či přenosné. Některé typy autonavigací, navíc vybavené tzv. „Radio Data System - Traffic Message Channel (RDS-TMC)“ FM rádiovým přijímačem, jsou schopny přijímat a zpracovat signály týkající se aktuální dopravní situace. Příjem těchto informačních zpráv je poskytován zcela zdarma a obsahují informace např. o aktuální dopravní zácpě, nehodě, nesjízdné silnici apod. Po analýze takto přijatých zpráv vyhodnotí autonavigace danou situaci a případně uživateli navrhne optimálnější alternativní cestu k vytyčenému cíli.

3.5.1.2 Letecká navigace

Opravdu veliké nároky na spolehlivost a přesnost jsou kladeny na leteckou dopravu, kde by každá mylná informace mohla mít i tragické následky. Proto se aktuálně navigačního systému GPS využívá především v oblasti amatérského létání. V oblasti letecké dopravy se

system GPS používá v kombinaci se speciálními rozšiřujícími službami, které zajišťují monitorování integrity signálů a jsou schopny pilota varovat při zjištění nedostatku, závady či jiného problému. Mezi tyto rozšiřující systémy např. patří americký „Wide Area Augmentation System (WAAS)“, „Local Area Augmentation System (LAAS)“, kanadský „Cisco Wide-Area Application Services (CWAAS)“, evropský „European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)“ a čínský „Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS)“. Pomocí těchto systémů se např. zajistí pokročilejší správa dopravních koridorů, nižší spotřeba paliva, případně i zcela automatické přistání letadel. [1]

3.5.1.3 Kosmický provoz

Jelikož nabývají oběžné dráhy jednotlivých GPS družic zcela přesných parametrů, lze díky těmto údajům také určovat parametry oběžných drah ostatních, nízko letících družic. První taková družice, jež využívala služby GPS systému, byla TOPEX/Poseidon (v provozu od 1992 do 2005), která měla za úkol sledovat výšku hladiny moří a oceánů. Dnes již běžně patří GPS přijímač do „základní“ výbavy vynášených družic, raketoplánů apod. [1]

3.5.1.4 Geodézie a tvorba map

Tato aplikační oblast se liší především požadovanou přesností při určování polohy. Při tvorbě map není kladen tak velký důraz na přesnost a tak se k tomuto měření využívá diferenční kódová technika. Ovšem v oblastech geodézie jsou nároky na přesnost mnohem vyšší (v řádech centimetrů) a tak se využívá technika fázového měření.

Výhody geodetického měření pomocí GPS jsou:

- téměř nezávislé na počasí, denní či noční době a ročním období,
- nepřetržitý provoz,
- nezávislost na existující geodetické síti při výběru míst pro měření,
- trojrozměrné měření,
- rychlejší, efektivnější a tím i ekonomičtější měření.

Mezi nevýhody geodetického měření pomocí GPS patří:

- musí být zajištěna přímá viditelnost oblohy,
- vysoké vstupní náklady,

- větší nároky na plánování celého procesu měření,
- případný převod trojrozměrných souřadnic do jiných referenčních systémů,
- potřeba nových znalostí a zkušeností.

Pro tvorbu map se nejběžněji používá diferenční kódová technika měření (horizontální přesnost určování polohy okolo 1 m). V praxi se tvorba map provádí tím způsobem, že je pověřená osoba vybavena GPS přijímačem a přenosným počítačem. Daná osoba se zastaví v místě, kde potřebuje zaznamenat mapovaný geoprvek (např. kanalizační poklop, hydrant, sloup veřejného osvětlení, strom, vzácnou rostlinu apod.) a manuálně provede popis daného geoprvku. Spolu s popisem se do databáze uloží i naměřené poziční údaje. V případech, kdy je potřeba zaznamenat nepřístupný, vzdálený či obdobný objekt, využívá daná osoba k záznamu pozičních údajů laserový dálkoměr se sklonoměrem a kompasem. [1]

3.5.1.5 Vědecké aplikace

GPS se také používá k vědeckým účelům, a to např. v oblasti zkoumání pohybu ker zemské kůry, měření rozměrů kontinentů, pohybu svahů při sesuvu půdy, monitorování případných deformací velkých objektů, sledování vlastností atmosféry apod. [1]

3.5.1.6 Časové služby

System GPS je schopen poskytnout nebývale přesný časový standard, který se využívá v oblastech jako např. fyzikálním měření a synchronizaci fyzikálních pokusů na velké vzdálenosti, synchronizaci datových spojů, platebních systémů, energetických soustav, systému základnových stanic mobilních operátorů apod. [1]

3.5.1.7 Rekreace

Díky poměrně nízkým pořizovacím nákladům a tedy vyšší dostupnosti GNSS přijímačů roste také jejich využití při rekreačních aktivitách jako jsou turistika, cyklistika, lyžování, amatérské letectví (viz. 3.5.1.2) apod. Trh dnes nabízí širokou škálu různých typů těchto přijímačů. Pokud je toto zařízení např. vybaveno displejem a mapovými podklady, uživatel má možnost sledovat jeho aktuální polohu přímo na mapě. Pokud však zařízení neobsahuje mapové podklady (a nemůže si je bezdrátově stahovat např. pomocí GPRS služby), může i tak uživatel plnohodnotně využít takové zařízení pro určování polohy, a to díky periodicky

zaznamenávaným bodům (tzv. Waypointům), které zobrazují absolvovanou trasu v neznámém prostředí, díky kterým se snadno může vrátit zpět do výchozího bodu. Obdobně jako u autonavigací nám mohou posloužit získaná data k pozdějšímu zpracování určitým softwarem, díky kterému můžeme např. zjistit celkovou délku absolvované trasy, průměrnou rychlost pohybu, celkový čas potřebný k absolvování celé trasy apod. [1]

3.5.2 vojenské a vládní využití

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách práce, projekty GPS a GLONASS jsou vytvořeny primárně pro vojenské účely. Využití těchto systémů ve válečných činnostech umožnilo vznik zcela nového způsobu vedení boje a to na zemi, vodě i ve vzduchu. Díky možnosti využití kódovaných signálů, jenž umožňují zejména zvýšení přesnosti aktuální polohy, se stává tento systém výborným „pomocníkem a informátorem“ za všech povětrnostních podmínek v kteroukoli denní i noční dobu, a to vše např. i v neznámém terénu. Generálové (díky vybaveným jednotkám GNSS zařízení) mají přesný přehled o rozložení svých sil na bojišti a mohou tedy vést daleko přesnější útoky či jiné taktické manévry. Za účelem minimalizování fyzické účasti při bojích se GNSS zařízení také využívá při navádění tzv. „chytrých raket“, kdy se určí souřadnice na vytyčený cíl a pomocí senzorů a jiných zařízení raketa směřuje k místu zásahu. [1]

Existuje i mnoho jiných vládních aplikací využívající družicový navigační systém. Např. Ministerstvo zemědělství USA využívá GPS k výzkumu týkajícího se precizního zemědělství. Ministerstvo vnitra USA pomocí GPS tajně sleduje pohyb podezřelých a sbírá tak usvědčující důkazy. Obdobně funguje i mnoho tamních bezpečnostních agentur, které pomocí GPS sledují pěší pohyb podezřelých osob, pohyb jejich vozidel apod. Tzv. černé skříňky, nesoucí mj. i informace o průběhu trasy, jsou povinně implementovány do komerčních letadel a bývají také instalovány do nákladních či osobních automobilů. [11]

4 ZDROJE NEJISTOT PŘI URČOVÁNÍ POLOHY

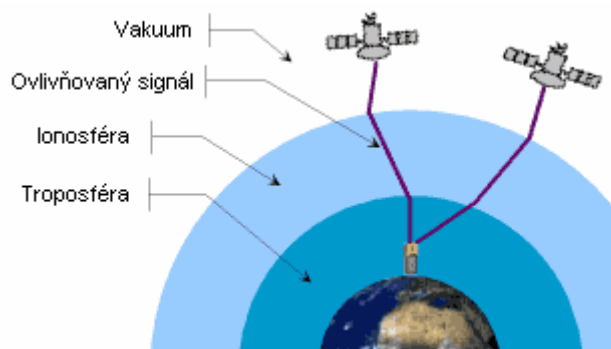
Faktorů ovlivňujících přesnost měření při určování polohy se u takto poměrně složitých družicových navigačních systémů objevuje velké množství. Některé z nich negativně působí na naměřené výsledky méně, jiné více.

4.1 Stínění

Z principu fungování družicových navigačních systémů tvoří stínění zcela zásadní faktor ovlivňující měření GNSS signálů. Jednoduše řečeno, pokud je přijímači zamezen příjem, ať už částečně nebo úplně, různými překážkami (např. tunely, jeskyně, prostory uvnitř budovy apod.), nemůže nikdy korektně fungovat.

4.2 Vliv atmosféry

Jedním z podstatných faktorů majícím vliv na přesnost měření přijatého družicového signálu činí atmosféra. Principiálně se družicové signály ve vakuu pohybují rychlostí světla, avšak při průchodu těchto signálů ionosférou a troposférou Země bývá do určité míry negativně ovlivněna rychlost jejich pohybu.



Obr. 10 – Grafické znázornění průchodu družicových signálů k přijímači [21]

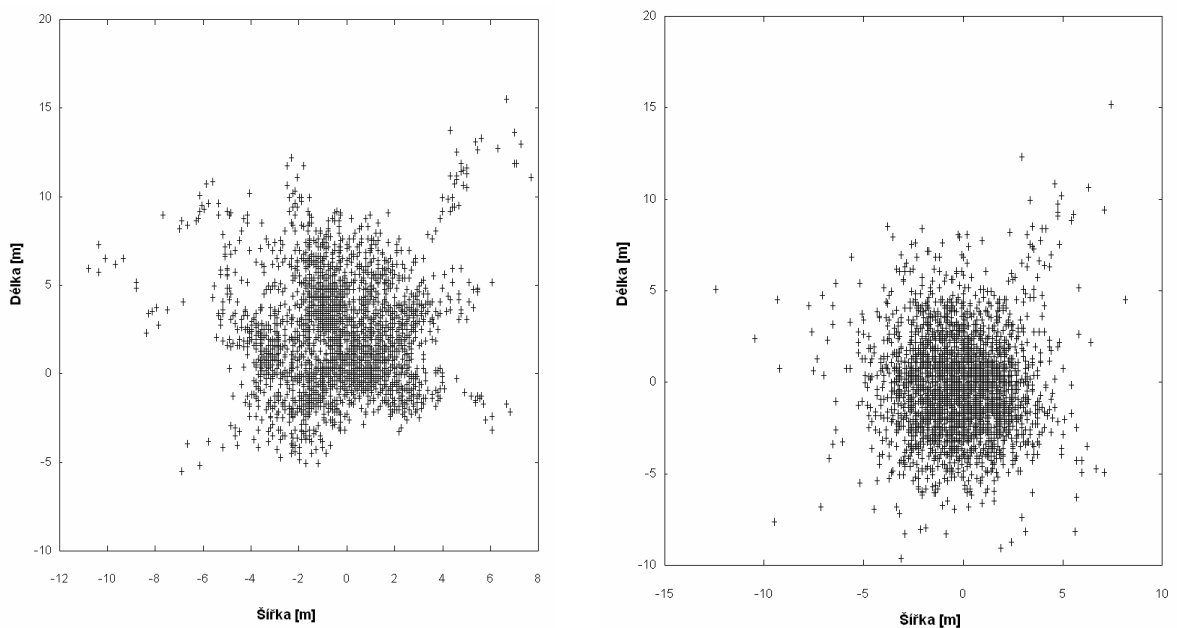
4.2.1 Ionosféra

Jedná se ionizovanou část zemské atmosféry, která se nachází přibližně ve výšce od 60 km do 1000 km. Skládá se z volně elektricky nabitých částic, jako jsou elektrony a ionty. Z důvodů proměnlivého složení ionosféry (závislého na výšce), vznikly 4 vrstvy ionosférického vrstvení (D, E, F1 a F2). Každá z těchto vrstev ovlivňuje počtem volných

částic (záleží na množství slunečního záření) rychlost pohybu signálu a to díky lomu signálu, které vede ke zpoždění signálu.

Takto vzniklé chyby jsou nejčastěji opravovány pomocí tzv. ionosférického matematického modelu, který je zohledňován při výpočtu určování polohy v přijímači. Je obecně známo, že elektromagnetické vlny procházející ionosférou jsou zpoždovány nepřímo úměrně druhé mocnině jejich frekvence. To znamená, že elektromagnetické vlny s nižší frekvencí jsou zpoždovány více, než vlny s frekvencí vyšší. Přijímací zařízení tedy porovná čas přijetí daných signálů o různých frekvencích a následně tak určí odchylku měření způsobenou ionosférou. [21]

Následující grafy zobrazují porovnání vlivu ionosférického modelu a frekvence na měření družicových signálů. Na levém grafu bylo měření prováděno pomocí jednofrekvenčního přijímače bez použití ionosférického modelu při výpočtu aktuální pozice. Na grafu vpravo můžeme vidět výsledek měření prováděném na dvoufrekvenčním přijímači za použití ionosférického modelu.



Obr. 11 – Porovnání vlivu ionosférického modelu a frekvence na naměřené výsledky [21]

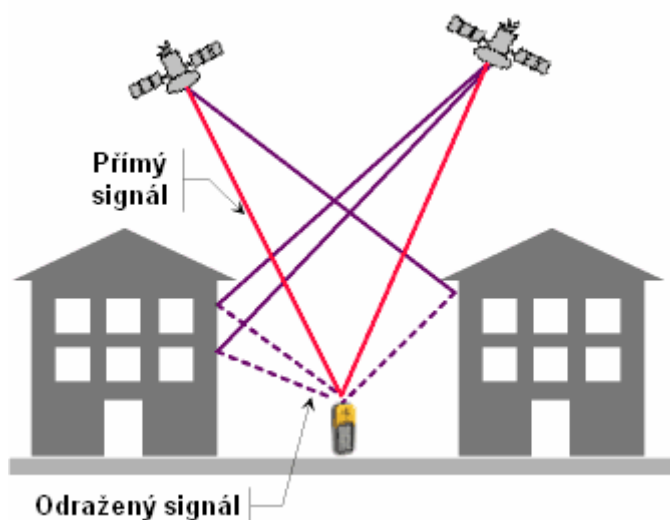
4.2.2 Troposféra

Troposféra tvoří část atmosféry tyčící se přibližně do výšky 12 km nad zemský povrch. Toto prostředí má také negativní vliv na rychlost šíření elektromagnetických vln, které se projevuje zpožděním rychlosti šíření signálů. Mezi příčiny vzniku tohoto jevu patří zejména

aktuální povětrnostní podmínky v této části atmosféry jako např. teplota, vlhkost vzduchu, tlak apod. Ke korekci takto vzniklých chyb se používají tzv. troposférické matematické modely, které jsou použity při výpočtu aktuální pozice. [21]

4.3 Vícecestné šíření signálu

Tento negativní jev je způsoben vlivem odrazu přijatého signálu od okolního terénu, např. tedy od stěn různých objektů (nejčastěji výškových budov), průsmyků, kaňonů, ale také i od zemského povrchu apod. Následky tohoto vlivu vedou k opoždění přijímaného signálu a tak zkreslení naměřených hodnot. Některé přijímače dokáží problém s dlouhou prodlevou přijatého signálu rozpoznat a jednoduše pak takovéto signály při výpočtech ignorují. Dalším opatřením je vhodně zvolený typ přijímací antény, která opět do určité míry eliminuje odražené signály. Nejvhodnějším, ale v mnoha případech nerealizovatelným, protiopatřením proti tomuto jevu je správná volba místa, odkud budeme signály družicových navigačních systémů přijímat. [21]



Obr. 12 – Vícecestné šíření navigačních signálů

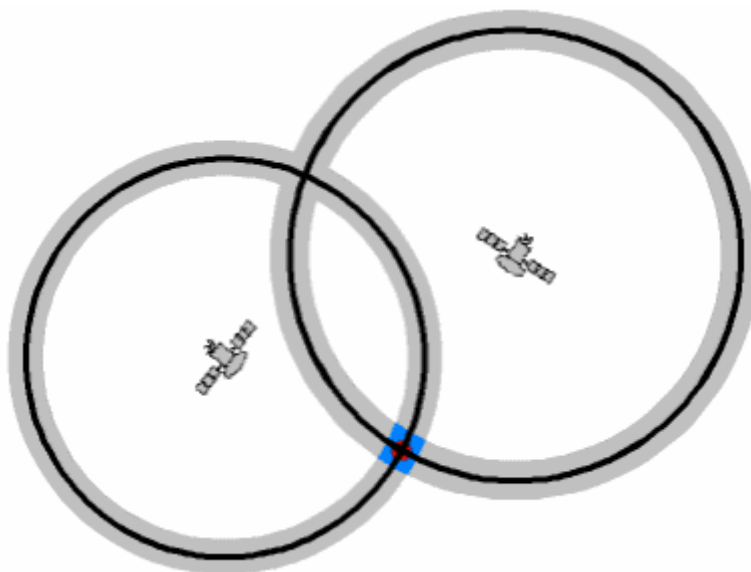
[21]

4.4 Poloha družic

Dalším faktorem, který v praxi může ovlivnit výsledky měření je vzájemná poloha družic vůči sobě a samozřejmě také vůči přijímači. Pokud se např. všechny 4 aktuálně viditelné družice nacházejí vzhledem k přijímači severozápadním směrem, z principu dálkoměrného měření tak vzniká větší pravděpodobnost nepřesného měření a to cca až do rozmezí 100 –

150 metrů. Naopak, pokud jsou tyto 4 družice rovnoměrně rozmístěny (ideálně každá na jinou světovou stranu a zároveň vzájemně v 90° úhlech) vůči přijímači, měření aktuální polohy bude velice přesné.

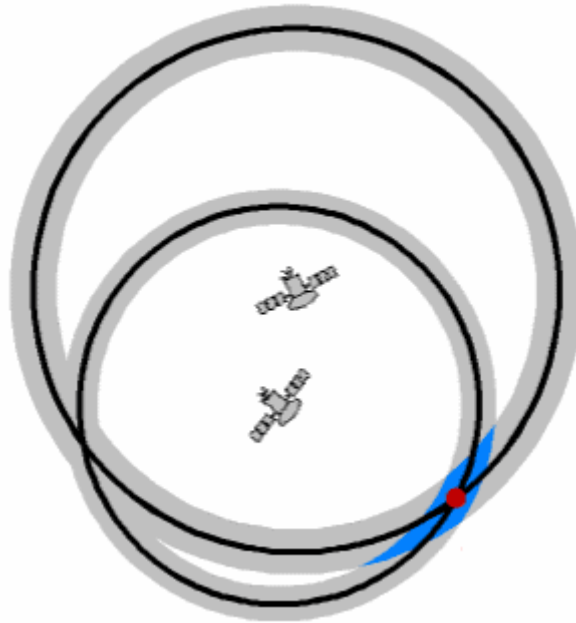
Pro dvourozměrný prostor tedy platí pravidlo, že pokud poloha přijímače vůči 2 družicím svírá 90° úhel a zároveň se každá z družic nachází na jiné světové straně, chyba nepřesného měření aktuální polohy je minimální (viz. modře vyznačená oblast Obr. 13).



Obr. 13 – Princip vzniku minimální pravděpodobné chyby měření vznikající v důsledku polohy družic vůči přijímači

[21]

Pokud je však poloha jednotlivých družic situována např. na jednu světovou stranu a úhel polohy těchto družic vůči přijímači je větší nebo menší 90° , pravděpodobnost chyby měření při určování polohy se stává výrazně větší (viz. modře vyznačená oblast Obr. 14). Obdobné zákonitosti platí i v třírozměrném prostoru.



Obr. 14 – Princip vzniku vyšší pravděpodobné chyby měření vznikající v důsledku polohy družic vůči přijímači [21]

K označení kvality signálu plynoucího z aktuální polohy jednotlivých družic vůči přijímači slouží tzv. „Dilution Of Precision (DOP). Hodnoty tohoto parametru určují do jaké míry budou naměřené výsledky ovlivněny. Čím nižší hodnotu DOP přijímač stanoví, tím přesnější bude samotné měření (1 určuje ideální podmínky, 1-2 výborné, 2-5 dobré, 5-10 průměrné, 10-20 podprůměrné, 20-50 značí velmi špatné podmínky).

Rozlišujeme několik typů DOP závislých na měřených veličinách:

- GDOP (Geometric Dilution Of Precision) – Ovlivňuje jak celkovou přesnost měření v trojrozměrném prostoru, tak i čas.
- PDOP (Positional Dilution Of Precision) – Tento parametr má vliv na měření v trojrozměrném prostoru (tedy při určování horizontální a vertikální polohy).
- TDOP (Time Dilution Of Precision) – Parametr ovlivňující korekce času.
- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) – Ovlivňuje pouze měření v dvojrozměrném prostoru (tedy při určování horizontální polohy).
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision) – Parametr mající vliv na určení výšky. [21]

4.5 Nepřesnost hodin

Jelikož ani družicové hodiny, přestože jsou velice přesné, nejsou dokonalým zařízením, mohou být i ony zdrojem vedoucím k chybám při měření. Chod těchto hodin může být ovlivněn určitými negativními šumy okolí nebo se mohou jednoduše zrychlovat či zpomalovat, ale potencionálně největším činitelem ovlivňující chod hodin je samo řídicí středisko, které provádí jejich korekce. Funkčnost služeb GNSS tedy záleží především na přesnosti konfigurace vesmírného segmentu, které poskytuje pozemní segment koncovým uživatelům prostřednictvím navigačních zpráv. Výše zmíněné nepřesnosti hodin mohou přibližně ovlivnit určení polohy s odchylkou 2 m. [21]

4.6 Chyba efemerid

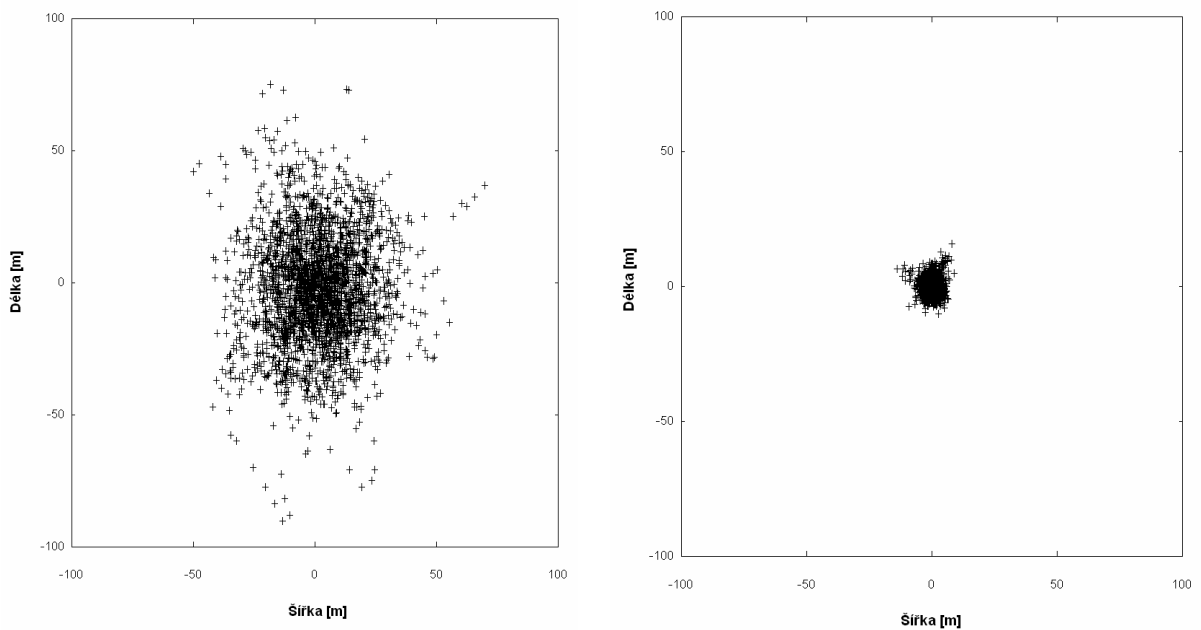
Přestože se družice pohybují po velmi přesně vymezených dráhách, lze předpokládat mírné odchylky ve směru jejich letu zejména díky působení gravitace či kosmických těles jako jsou Slunce nebo Měsíc. Údaje o dráhách jsou pravidelně kontrolovány, opravovány a zasílány do přijímačů v podobě efemerid, díky kterým jsou následně vypočteny potřebné parametry. Výsledná chyba při určování polohy způsobena efemeridy nesmí přesáhnout 2 m. [21]

4.7 Selective Availability (SA)

Jednou z funkcí disponující GPS systémy je tzv. „Selective Availability (SA)“ plnící úlohu záměrného zkreslování časových údajů veřejného signálu vysílaném na L1 spolu s přenosem méně přesných dat týkajících se efemerid. Tato funkce může ovlivnit měření aktuální pozice v rozmezí cca 50 - 150 m.

Důvodem pro zavedení SA funkce byla především bezpečnost, vedoucí k zabránění případnému zneužití, poměrně přesných služeb veřejného signálu GPS nepřítelem (např. k navádění dálkově řízených střel, lokalizaci strategických bodů apod.).

Dne 2. května roku 2000 v 5:05 byla funkce SA systému GPS deaktivována. Porovnání výsledků měření mezi aktivovanou a deaktivovanou SA funkcí můžete porovnat v Obr. 15. [21]



Obr. 15 – Porovnání vlivu aktivované (vlevo) a deaktivované (vpravo) SA funkce na naměřené výsledky [21]

4.8 Anti-Spoofing (AS)

Z důvodu teoreticky možného napodobování navigačních signálů nepřítelem a tím i strategického oklamání koncových uživatelů družicových navigačních systémů (např. při válečných konfliktech) byla zavedena služba průběžného šifrování P(Y) kódu zvaná „Anti-Spoofing (AS)“. Toto opatření vedlo k výrazně omezené možnosti manipulace s družicovými signály nepřítelem. [1]

4.9 Interference signálů

Přestože se provozovatelé GNSS systémů snaží nastavit takové podmínky, které by minimalizovaly případné negativní vlivy způsobené interferencemi (např. prosazením vyhrazeného frekvenčního pásma), nelze se těmto problémům nikdy zcela vyvarovat. Interference signálů může do značné míry ovlivnit nebo dokonce úplně vyřadit komunikaci mezi vysílačem a přijímačem.

Teoretickými zdroji interferenčních problémů jsou:

- Použití signálů ve stejném nebo podobném kmitočtovém pásmu – Tato situace může nastat tehdy, pokud potenciální zdroje pracují na stejném nebo velmi podobném kmitočtovém pásmu jako námi používaný vysílač a přijímač.

- Širokopásmový šum – Zdroj tohoto problému tvoří výkonné elektrické zařízení, které mohou ovlivnit přijímací zařízení skrz napájení, anténu, datový kanál.
- Harmonické vlny – Signály systémů GNSS mohou také ovlivnit tzv. Harmonické vlny, které bývají vysílány ve zcela odlišném kmitočtovém pásmu, avšak obsahují rušivou složku, která (pokud dosahuje velkých výkonů) může být schopna i úplného vyřazení přijímače GNSS z provozu.
- Přírodní zdroj interference – Tímto je myšleno tzv. vesmírné počasí (např. sluneční erupce, magnetické bouře apod.), které mohou nahodile a do určité míry ovlivňovat komunikaci mezi družicí a přijímačem.
- Úmyslná interference – Představuje potenciálně značný problém, jenž může citelně ovlivnit celkový chod GNSS systémů. Pokud by útočníci (např. teroristé, členové nepřátelské armády apod.) cíleně generovali interferenční signály o dostatečném výkonu, ochromili by tak částečně nebo i úplně provozuschopnost GNSS. Je potřeba podotknout, že teoreticky nejodolnější z globálních družicových navigačních systémů vůči tomuto problému by měl být GLONASS, jenž využívá metodu FDMA (oproti CDMA metodě využívané u GPS a Galileo). V případě kdy by útočníci generovali rušivý signál úzkopásmového charakteru, mohli by tak teoreticky „pouze“ vyřadit z provozu signál jedné nebo několika družic.

Interferenci není většinou jednoduché diagnostikovat a případně lokalizovat. Mezi obvyklé projevy interference patří aktuální neschopnost přijímacího zařízení zobrazovat svou aktuální polohu vlivem poklesu síly signálu, poměru signál/šum, či aktuální ztrátou viditelných družic. V případě shledání některého z těchto projevů je doporučeno ověřit, zda se zdroj interferenčních problémů nevyskytuje v místě, kde je měření prováděno (např. elektrické zařízení, CD přehrávač, klimatizace, tónované okna apod.). [1]

4.10 Přijímač signálů GNSS

Přijímací zařízení, tedy komplex HW a SW samozřejmě také do určité míry ovlivňuje přesnost výsledných údajů. Obzvláště tedy záleží na:

- správné volbě technických parametrů včetně typu a kvalit antény (zejména související s kapitolou 4.2 a 4.3) přijímacího zařízení vzhledem k požadovanému druhu měření,
- přesnosti zaokrouhlení mezivýsledků a výsledků,
- použitím algoritmu při zpracovávání získaných dat (s tím spojené případné chyby při výpočtech), apod.

4.11 Relativistické efekty

Jak již bylo několikrát zmíněno, přesný čas hraje zásadní roli ve fungování GNSS. Z teorie relativity platí, že čas běží rychleji v místech s nižším projevem působení gravitační síly (bude tedy běžet rychleji na družicích vůči pozemním hodinám), ale také běží pomaleji při velmi rychlých pohybech. Z toho plyne, že je potřeba čas družicových hodin do určité míry korigovat. Aby nemusela být synchronizace prováděna permanentně, je nastavena frekvence družicových hodin na hodnotu 10,22999999543 MHz (vůči 10,23 MHz u pozemních) a problém tak byl vyřešen. [11]

Mezi další, ovšem daleko méně významné vlivy působící na přesné měření, patří tzv. Sagnacův efekt. Ten je způsoben vlivem pohybu uživatele (resp. přijímače) vzhledem k rotaci Země. Chybu vzniklou tímto efektem lze velice komplikovaně vypočítat (závisí mj. na směru pohybu uživatele) a proto se (kromě speciálních případů) zanedbává. [21]

4.12 Konkrétní vliv faktorů ovlivňující určování polohy

V následující tabulce jsou zobrazeny přibližné odchylky způsobené některými z výše uvedených negativních faktorů ovlivňující určování polohy.

Název negativního vlivu	Odchylka při určování polohy [m]
Ionosféra	± 5
Troposféra	$\pm 0,5$
Vícecestné šíření signálu	± 1
Nepřesnost hodin	± 2
Algoritmus + zaokrouhlování	± 1

Tab. 7 – Přibližné odchylky způsobené působením vybraných negativních vlivů [21]

4.13 Nejistoty měření

Měřením se rozumí soubor činností spojených se získáváním kvantitativních informací týkajících se sledované veličiny.

4.13.1 Chyby měření

V případě opakovaného měření konkrétní veličiny x_S za stejných podmínek obvykle získáme soubor různých hodnot (x_1, x_2, \dots, x_n) i přesto, že měřené veličině odpovídá pouze jediná správná x_S . Odchytky naměřených hodnot od té skutečné se nazývají chyby. Chyby mohou např. vznikat nedokonalostí měřících přístrojů, lidského faktoru, špatně zvolené měřící techniky či proměnlivých okolních podmínek apod. Pokud bude tedy výsledkem měření hodnota x_M , která se od skutečné (a zároveň odhadované) hodnoty x_S liší, jejich vzájemný rozdíl určuje tzv. absolutní chybu měření Δx .

$$\Delta x = x_M - x_S \quad (4)$$

Chybu lze však vyjádřit i relativně vůči měřené hodnotě. V tomto případě tedy mluvíme o tzv. relativní chybě δ , která je bezrozměrnou veličinou, obvykle udávanou v procentech a může nabývat jak kladných, tak i záporných hodnot.

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_S} \quad (5)$$

4.13.1.1 Dělení chyb

Chyby můžeme rozdělit do 3 skupin, lišících se dle původu jejich vzniku:

- Hrubé chyby

Obvykle vznikají za použití vadných měřících přístrojů, nevhodnou volbou metody měření či nedbalostí obsluhy. Při ledabylé kontrole mohou zcela zásadně ovlivnit konečné výsledky, proto se k jejich eliminaci provádí opakované měření nebo se tyto chyby při zpracování výsledků zcela ignorují.

- Chyby systematické

Systematické chyby, při opakovaném měření prováděném za stejných podmínek, soustavně a shodně (s kladným nebo záporným znaménkem) zkreslují správnou hodnotu

měřené veličiny. Proto je k jejich odhalení potřeba změnit podmínky měření. Pokud lze hodnotu systematické chyby stanovit výpočtem nebo odhadem, je ji možné pomocí korekce z výsledku měření vyloučit. Pokud se příčina vzniku systematických chyb neobjevuje mezi obvyklými zdroji (jako je např. měřicí zařízení, zvolená metoda, zvolené prostředí či obsluha měření), je potřeba ji hledat v oblasti doposud neuvažovaných zdrojů chyb.

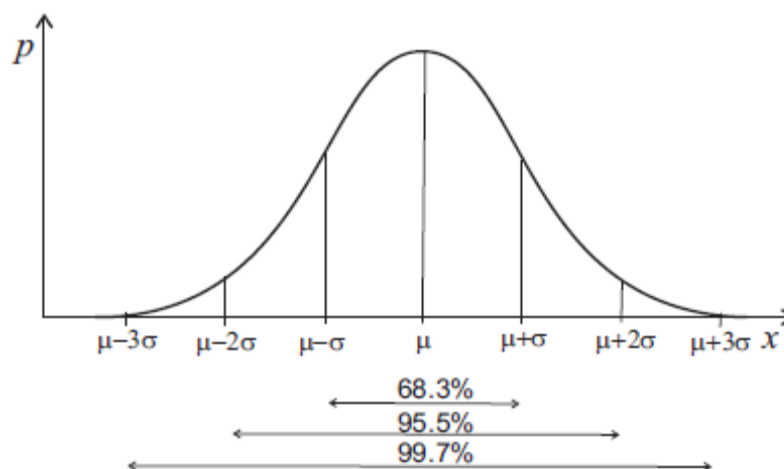
- Chyby náhodné

Jak již název vypovídá, vznikají zcela náhodně, nepředvídatelně a nekontrolovatelně. Při opakovaném měření nabývají různých hodnot (co do velikosti i znaménka), mezi kterými neexistuje žádná zákonitost ani stálost. Příčinu vzniku takovýchto chyb bohužel nelze odhalit ani vysvětlit.

K určení velikosti takovéto chyby je zapotřebí v dostatečném množství opakovat měření ($n \rightarrow \infty$), které se bude řídit statistickými zákonitostmi. Například naměřená hodnota x se vyskytne $n \cdot p(x_i)$ krát, když $p(x_i)$ označuje tzv. hustotu pravděpodobnosti výskytu jednotlivých měření x_i .

Nejčastěji se používá tzv. normální, resp. Gaussovo rozdělení pravděpodobnosti (znázorněno na Obr. 16), jenž vyjadřuje vztah:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$



Obr. 16 – Gaussova (normální) křivka rozdělení naměřených hodnot [23]

Předpokladem použití Gaussova rozdělení je fakt, že spojitá náhodná veličina je tvořena pod působením mnoha vzájemně nezávislých činitelů, z nichž žádný nemá na výsledek rozhodující vliv. Normální rozdělení se používá k přibližnému vyjádření rozdělení pravděpodobnosti četného množství náhodných veličin. Jeho parametry jsou střední hodnota μ a rozptyl $D(s^2, \sigma^2)$, které jsou určeny vztahy:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (8)$$

Pokud stanovíme tzv. směrodatnou odchylku střední hodnoty:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}, \quad (9)$$

bude interval $\mu \pm \sigma$ nabývat asi 68,3%, interval $\mu \pm 2\sigma$ asi 95,5% a interval $\mu \pm 3\sigma$ až 99,7% všech naměřených hodnot.

V případě, že měřená veličina x nabývá přesné hodnoty a podmínky měření jsou optimální, střední hodnota μ zobrazuje správnou hodnotu měřené veličiny. [23]

4.13.2 Nejistoty měření

Nejistota měření je parametr přiřazený k výsledku měření, jenž udává rozptýlení hodnot měřené veličiny. Standardní nejistotou označujeme základní kvantitativní charakteristiku nejistoty měření. Dle příčin můžeme dělit nejistoty do těchto základních skupin:

- nejistoty typu A ($\Delta_A x$) – tyto se projevují nepatrnými odchylkami výsledků při opakovaném měření (příčiny se obecně považují za neznámé),
- nejistoty typu B ($\Delta_B x$) – při opakovaném měření dostaneme vždy stejný, ale zkreslený výsledek (např. díky špatné volby metody měření, nepřesností měřidla, či chybám obsluhy apod.),
- kombinovaná standardní nejistota $\Delta_C x$ – tvoří spojení obou výše zmíněných typů nejistot (tedy A a B), kdy se skutečná hodnota s velkou pravděpodobností nachází ve výsledném intervalu této nejistoty. [23]

4.13.2.1 Vyhodnocení nejistot typu A

Nejistoty tohoto typu se stanovují z výsledků opakovaných měření statistickou analýzou série naměřených hodnot. Platí pravidlo, při kterém se statistické zákony projeví tím průkazněji, čím větší je soubor měření.

Lze předpokládat, že správné hodnotě x je nejbližší aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

naměřených hodnot x_i (výběrový průměr).

Výběrový rozptyl aritmetického průměru $D(\bar{x})$ je n -krát menší, než výběrový rozptyl jednoho měření $D(x)$. Výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru $\sigma(\bar{x})$, která je pokládána za standardní nejistotu typu A se proto stanoví:

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\frac{D(x)}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

V metrologii se stanovuje interval, jenž obsahuje správnou hodnotu x s pravděpodobností 95%. Proto se tedy stanovuje tzv. rozšířená nejistota $\Delta_A \bar{x} = k \cdot \sigma(\bar{x})$.

Koeficient k pro konfidenční pravděpodobnost 95% je odvozen od počtu měření (jak zobrazuje Tab. 8) vybrané z tzv. Studentova rozdělení. [23]

n	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	60	120	∞
k	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,20	2,14	2,09	2,04	2,00	1,98	1,96

Tab. 8 – Součinitele k pro konfidenční 95% interval pravděpodobnosti n měření [23]

4.13.2.2 Vyhodnocení nejistot typu B

Standardní nejistota tohoto typu se odhaduje úsudkem nabytým na základě dostupných informací a zkušeností. Nejčastěji se použijí:

- údaje výrobce měřicí techniky,
- zkušenosti z předchozích měření,
- údaje získané při kalibraci a z certifikátů,
- nejistoty referenčních údajů v příručkách apod.

Pro každý zdroj nejistot se stanoví dílčí nejistota typu B $\Delta_{B_i}x$ a výsledná nejistota se následně určí z těchto dílčích nejistot jako [23]:

$$\Delta_B x = \sqrt{(\Delta_{B_1}x)^2 + (\Delta_{B_2}x)^2 + \dots} \quad (12)$$

4.13.2.3 Vyhodnocení kombinované nejistoty

Výslednou nejistotu veličiny x (tzv. kombinovanou nejistotu) vypočteme dle vztahu:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_A x)^2 + (\Delta_B x)^2} \quad (13)$$

a naměřená hodnota veličiny x se vyjádří [23]:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \quad (14)$$

4.13.3 Nejistoty veličin získaných výpočtem

V případě, že je veličina y funkcí několika veličin x_i (nebo hodnot jedné veličiny):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (15)$$

a známe nejistotu Δx_i každé z těchto veličin, lze nejistotu veličiny y vypočítat ze vztahu (tzv. zákon o šíření chyb) [23]:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} \quad (16)$$

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÉ PROSTŘEDKY

K realizaci praktické části této diplomové práce byly použity prostředky spadající do těchto kategorií:

- technické (HW) vybavení a
- programové (SW) vybavení.

5.1 HW vybavení

Technické prostředky, které byly použity:

- notebook značky Premio a
- GPS moduly značky Qstarz (zapůjčeny Univerzitou Tomáše Bati).

5.1.1 Notebook Premio



Obr. 17 – Notebook Premio

PREMIO		4050N	
Konfigurace		Sítě, rozhraní	
Základní deska	Intel 855PM	Sítová zařízení	
Řada procesoru	Intel Pentium M	Sítová karta	Gigabit LAN (RJ-45)
Frekvence procesoru	1,7 GHz	Modem	RJ-11
Druh paměti	PC 2700 SO-DIMM 200pin	WiFi	802.11 b,g
Velikost paměti	512 MB	Bluetooth	
Grafická karta	ATI Mobility Radeon 9700	Rozhraní	
Velikost paměti graf. karty	128 MB DDR	FireWire	
Velikost pevného disku	100 GB	Infraport	
Displej		Paralelní port	
Úhlopříčka	15,4"	PCMCIA	typ II
Rozlišení	1280x800 (WXGA, 16:10)	S-Video	TV out
Mechanika		Sériový port	

Optická	DVD-RW	USB 2.0	
Rozměry		VGA	D-Sub konektor
Délka	360 mm	Čtečka paměťových karet	typ SD
Šířka	275 mm	Operační systém	
Výška	37 mm	Windows	XP home

Tab. 9 – Technická specifikace notebooku Premio

5.1.2 GPS moduly

Měření bylo realizováno pomocí následujících GPS modulů:

- Qstarz BT-Q1200Ultra a
- Qstarz BT-Q1000X.

5.1.2.1 Qstarz BT-Q1200Ultra



Obr. 18 – Qstarz BT-Q1200Ultra

QSTARZ		BT-Q1200Ultra	
GPS čip	MTK	Komunikační protokol	
Frekvence	L1 - 1575,42 MHz	NMEA-0183 (V3.01) - GGA,GSA,GSV,RMC,VTG, GLL	
C/A kód	1,023 Mchipů/sek.	Přenosová rychlost	115200 bps
Počet kanálů	51	Datový bit	8
Anténa	Vestavěná	Stop bit (přednastaven)	1
Citlivost	-158 dBm	Komunikační rozhraní	
Souřadnicový systém	WGS-84	BlueTooth	
Rychlost určení první pozice po zapnutí přístroje		Verze	1.2
Studený start	36	Třída	2
Teplý start	33	Frekvence	2,4 - 2,4835 GHz
Horký start	1	USB (pro připojení k PC, nabíjení)	Mini USB
AGPS	< 15 vteřin	Napájení	
Výkonnostní charakteristika		Typ baterie	Vyměnitelná Li-ion baterie
Přesnost		Napětí	DC 3,0 - 5,0 V
Poziční (2D efektivní bez DGPS)	3,0 m	Nabíjecí čas (průměrný)	3 hodiny
Poziční (s DGPS - WAAS, EGNOS, MSAS)	2,5 m	Rozměry	
Rychlost (bez DGPS)	0,1 m/sek.	Délka	88,5 mm

Rychlost (s DGPS - WAAS, EGNOS, MSAS)	0,05 m/sek.	Šířka	56 mm
Čas (efektivní)	50 ns	Výška	13,5 mm
Dynamické podmínky		Prostředí	
Nadmořská výška	< 18 000 m	Provozní teplota	-10 °C až + 60 °C
Rychlost	< 515 m/sek.	Skladovací teplota	-20 °C až + 60 °C
Zrychlení	< 4 g	Nabíjení	0 °C až + 45 °C

Tab. 10 – Specifikace GPS modulu Qstarz BT-Q1200Ultra

5.1.2.2 Qstarz BT-Q1000X



Obr. 19 – Qstarz BT-Q1000X

QSTARZ		BT-Q1000X	
GPS čip	MTK II	Komunikační protokol	
Frekvence	L1 - 1575,42 MHz	NMEA-0183 (V3.01) - GGA,GSA,GSV,RMC,VTG, GLL	
C/A kód	1,023 Mchipů/sek.	Přenosová rychlost	115200 bps
Počet kanálů	66	Datový bit	8
Anténa	Vestavěná	Stop bit (přednastaven)	1
Citlivost	-165 dBm	Komunikační rozhraní	
Souřadnicový systém	WGS-84	BlueTooth	
Rychlost určení první pozice po zapnutí přístroje		Verze	1.2
Studený start	35	Třída	2
Teplý start	33	Frekvence	2,4 - 2,4835 GHz
Horký start	1	USB (pro připojení k PC, nabíjení)	Mini USB
AGPS	< 15 vteřin	Napájení	
Výkonnostní charakteristika		Typ baterie	Vyměnitelná Li-ion baterie
Přesnost		Napětí	DC 3,0 - 5,0 V
Poziční (2D efektivní bez DGPS)	3,0 m	Nabíjecí čas (průměrný)	3 hodiny
Poziční (s DGPS - WAAS, EGNOS, MSAS)	2,5 m	Rozměry	
Rychlost (bez DGPS)	0,1 m/sek.	Délka	72,2 mm
Rychlost (s DGPS - WAAS, EGNOS, MSAS)	0,05 m/sek.	Šířka	46,5 mm
Čas (efektivní)	50 ns	Výška	20 mm
Dynamické podmínky		Prostředí	
Nadmořská výška	< 18 000 m	Provozní teplota	-10 °C až + 60 °C
Rychlost	< 515 m/sek.	Skladovací teplota	-20 °C až + 60 °C
Zrychlení	< 4 g	Nabíjení	0 °C až + 45 °C

Tab. 11 – Specifikace GPS modulu Qstarz BT-Q1200 Ultra

5.2 SW vybavení

Jako softwarové vybavení byly použity následující programy:

- obslužný SW Qstarz Travel Recorder PC Utility V5 (zapůjčen Univerzitou Tomáše Bati),
- tabulkový procesor Microsoft Excel.

5.2.1 Qstarz Travel Recorder PC Utility V5

Jedná se o standardně dodávaný obslužný SW k GPS modulům firmy Qstarz, jenž pracuje s online mapovými podklady Google Maps. Pomocí datového USB kabelu se jednotlivé moduly připojí k PC a následně lze provádět:

- konfiguraci modulu - volba komunikačního portu, interval ukládání jednotlivých bodů (časový, vzdálenostní, rychlostní), chování při plné paměti (přepsat zapsaná data, přestat zapisovat), ukládání pokročilých volitelných informací (DOP – PDOP, HDOP, VDOP; informace o družici – NSAT, SID, úhel, azimut, SNR; informace o vzdálenosti k poslednímu měřenému bodu; DGPS – ID DGPS stanice, čas poslední aktualizace DGPS; směr kompasu),
- přenos uložených dat z GPS modulu do PC (částečně modifikované, lze použít i další filtr k vyhlazení zaznamenané trasy) a následný export do různých datových formátů,
- přenos surových (angl. RAW) dat z modulu do PC a následný export do různých datových formátů (v našem případě *.csv),
- synchronizaci GPS dat s EXIFem fotografií,
- nahrání fotografií na fotografické servery,
- editaci zaznamenaných tras,
- stažení AGPS informací do modulu – jedná se o aktuální almanach družic, který má platnost 7 dní,
- datové a grafické informace o jednotlivých trasách - (čas, vzdálenost, rychlost, nadmořská výška apod.)

5.2.2 Microsoft Excel

Nejpoužívanější tabulkový procesor dneška. Byl použit k celkovému zpracování naměřených dat, tedy k výpočtům, vykreslení grafů atd.

6 VLASTNÍ MĚŘENÍ

6.1 Metodika měření

Dle technických možností byly navrženy následující metody měření:

- Rychlá statická – měření spočívá v poměrně krátké (řádově v jednotkách minut) kontinuální observaci fixní polohy několika přijímači. Metoda je ekonomicky výhodná, avšak na úkor předpokládaných vyšších nepřesností konečných výsledků (oproti metodě Statické).
- Statická – princip této metody je shodný s výše uvedenou, avšak s tím rozdílem, že doba observace je prodloužena na desítky minut až hodin. Metoda je tedy zejména časově náročnější, ale předpokládá se vyšší přesnost dosažených výsledků.
- Dynamická – měření probíhá opět na několika přijímačích, avšak za neustálých dynamických podmínek.

6.2 Realizace vlastního měření

K realizaci vlastního měření byly zvoleny následující metody:

- Rychlá statická (2 varianty – s a bez okolních překážek),
- Statická (2 varianty – s a bez okolních překážek) a
- Dynamická.

Měření probíhalo v průběhu dne 7.5.2011 v těchto lokalitách:

- v centru sídliště Prahy 8 – Bohnicích při měření statických metod v městské zástavbě (s okolními překážkami),
- na poli poblíž vesnice Zdiby (Praha východ) při měření statických metod ve volném prostoru (bez okolních překážek),
- na trase z vesnice Zdiby (Praha východ) přes vesnici Čimice do středu sídliště Prahy 8 Bohnic při měření dynamické metody.

V průběhu jednotlivých měření byly meteorologické podmínky velmi obdobné a tedy:

- oblačnost – polojasno až jasno,

- srážky – bez srážek,
- teplota vzduchu – 19 °C,
- vlhkost – 35 %,
- atmosférický tlak – 1023 hPa,
- směr větru – východní až severovýchodní,
- rychlost větru – 3 - 4 m/s.

Nastavení GPS modulů:

- interval záznamu jednotlivých modulů byl nastaven na 1 vteřinu,
- formát uložení souřadnic bodů byl nastaven na jednotky stupňů (00,00000000).

6.2.1 Rychlá statická a Statická

Měření při každé z těchto metod probíhalo vždy současně (z důvodu zachování shodných podmínek) na 2 přijímačích (k určení průměrných hodnot ze dvou navzájem nezávislých aparatur) a byla zvolena naprosto totožná pozice umístění GPS modulů, lišil se pouze postup měření.

6.2.1.1 Lokalita

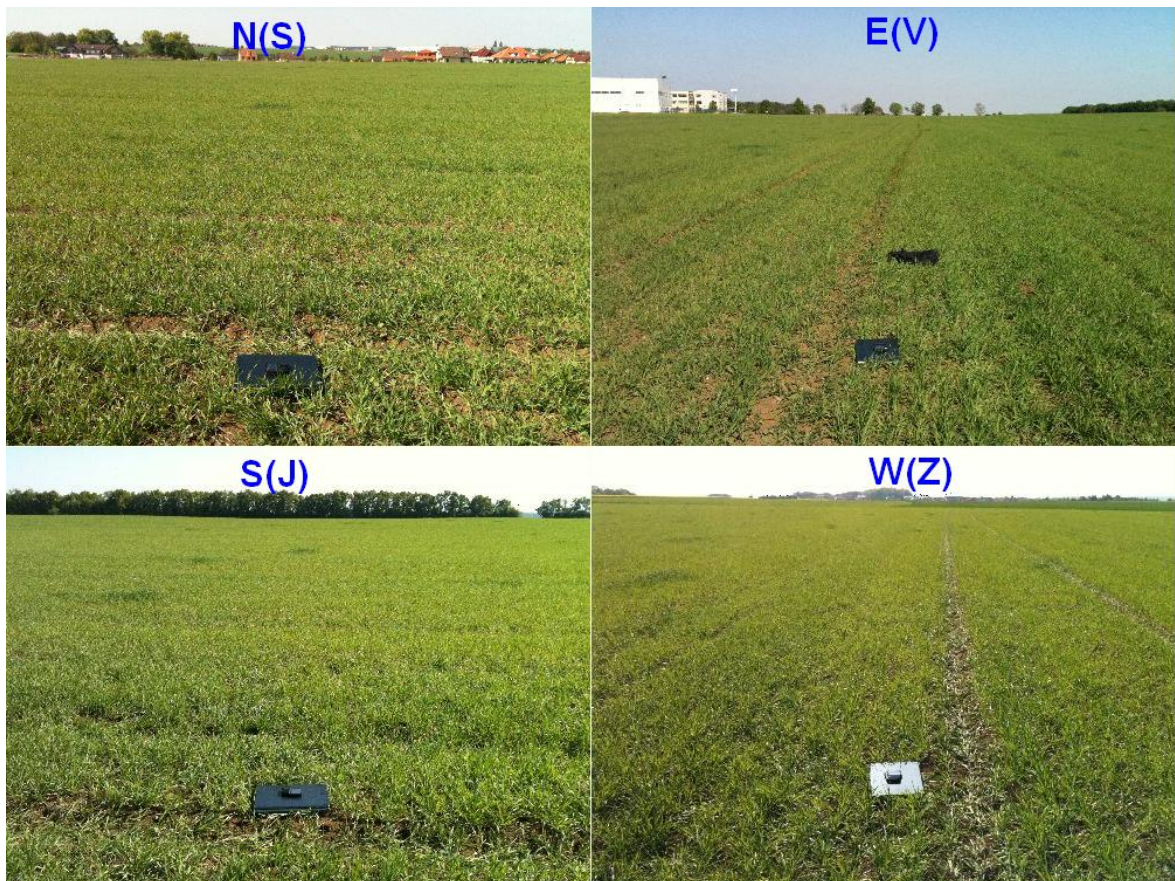
Pomocí Google Maps a následného fyzického průzkumu byly vybrány vhodné lokality odpovídající zvoleným podmínkám měření:

- Pro variantu v městské zástavbě (s překážkami):
 - severovýchodně, jižně a západně situovány 3 osmipodlažní panelové domy,
 - v okolí desítky různých stromů a keřů,
 - proměnlivý reliéf terénu včetně dřevěného mostku, betonových hrazení, dětského hřiště apod.



Obr. 20 – Fotografie z místa měření (varianta městská zástavba)

- Pro variantu ve volném prostoru, kde se nevyskytovaly žádné:
 - výškové budovy,
 - stromy, porosty, keře,
 - znatelné výkyvy v reliéfu krajiny (tedy poměrně plochá oblast),
 - ani žádné další překážky clonící přímému výhledu na oblohu.



Obr. 21 - Fotografie z místa měření (varianta volné prostranství)

6.2.1.2 Průběh měření

V průběhu měření se samozřejmě s moduly nijak nepohybovalo, pokud to situace dovozovala, bylo znemožněno pohybu osob v jejich blízkém okolí a bylo tedy zabráněno dalšímu případnému stínění.

- Rychlá statická

GPS moduly byly umístěny ve vzájemné těsné blízkosti na předem určenou pozici a po jejich zapnutí započala vlastní část měření, konkrétněji tedy v 10:27 UTC u varianty městské zástavby, resp. v 14:06 UTC u varianty volného prostranství. Dokončeno bylo po cca 5 minutách, tedy v 10:32 UTC, resp. v 14:11 UTC.

- Statická

Při této metodě probíhalo měření obdobně, jako tomu bylo u Rychlé statické metody (GPS moduly byly umístěny na shodné pozici), avšak s tím rozdílem, že měření probíhalo cca 62 minut, kdy začalo v 10:41 UTC u varianty městské zástavby, resp.

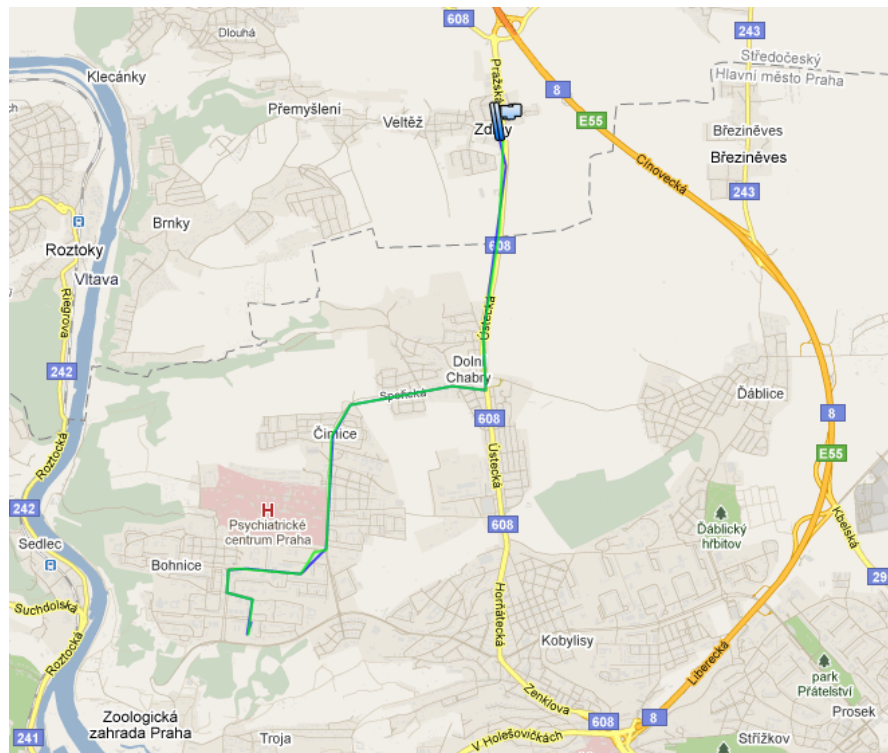
v 14:21 UTC u varianty volného prostranství a bylo dokončeno v 11:43 UTC, resp. v 15:23 UTC.

6.2.2 Dynamická

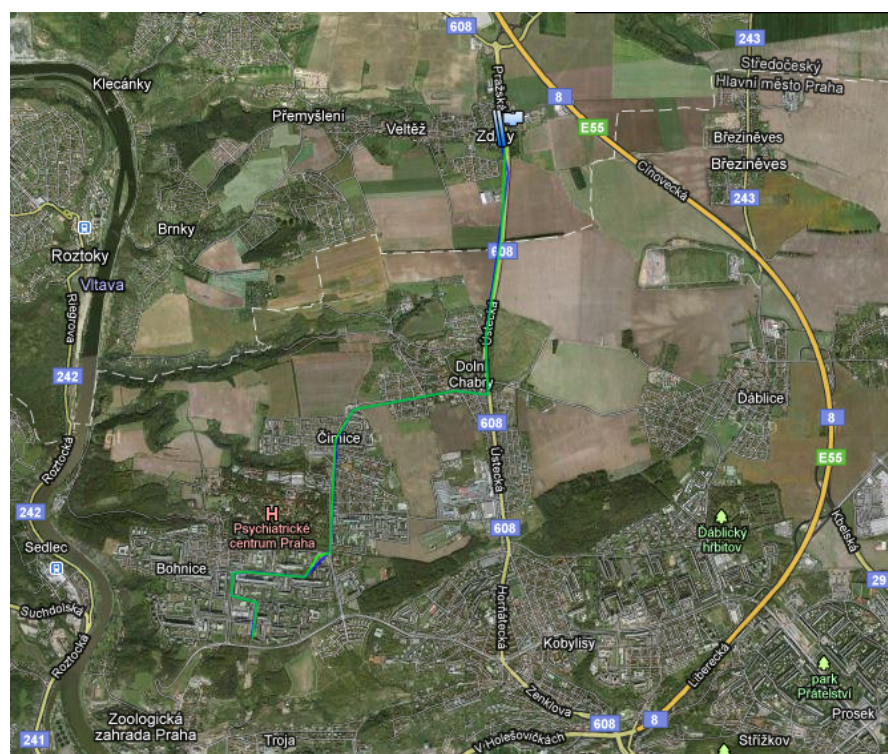
Při této metodě probíhalo měření opět současně na 2 přijímačích, které byly umístěny ve vzájemné těsné blízkosti na palubní desce a co nejbližší k čelnímu oknu auta.

6.2.2.1 Lokalita

Opětovně pomocí Google Maps a následného fyzického průzkumu byla vybrána trasa měření, která měla svou členitostí otestovat nejistotu polohy za různých okolních podmínek. Trasa začínala za vesnicí Zdiby (Praha východ) a pokračovala do vesnice Čimice, kde byly po celé délce prvního úseku (označován modrou barvou) velmi dobré podmínky pro příjem družicových signálů (poměrně volné prostranství, bez okolních výškových či jiných budov, pouze místy nižší stromy). Druhý úsek (označován fialovou barvou) trati vedl přes vesnici Čimice (poměrně úzká silnice obestavěna domy, stromy apod., tedy zhoršené podmínky pro příjem signálů). Po průjezdu vesnicí Čimice se na krátkou vzdálenost (cca 430 m) vylepšily podmínky měření díky otevřené krajině bez budov, či jiných výrazných překážek (vyjímaje pár stromů), jenž je označena jako úsek třetí (barva zelená). Čtvrtý úsek (označován barvou světle šedou) tvořil průjezd okolo Bohnické léčebny a dále do centra sídliště Bohnice, kde se logicky v poměrné blízkosti nacházely panelové a rodinné domy, mosty, parky, stromy apod. Poslední, pátý úsek (tmavě šedá barva) tvořila trasa procházející mezi výškovými budovami, jenž výrazně omezovaly přímou viditelnost na oblohu.



Obr. 22 – Mapa trasy Dynamického měření



Obr. 23 – Fotografická mapa trasy Dynamického měření

6.2.2.2 Průběh měření

Měření prvního úseku bylo zahájeno v 15:53 UTC, které přímo navazovalo (bez vypnutí přístroje) na druhý úsek (zahájen v 15:56 UTC). Následoval úsek třetí (v 15:57:35 UTC), který obdobně pokračoval do úseku čtvrtého (v 15:58:11 UTC). Poslední, pátý úsek začal v 16:03:12 UTC a celé měření skončilo v 16:03:42 UTC.

6.3 Zpracování a vyhodnocení naměřených výsledků

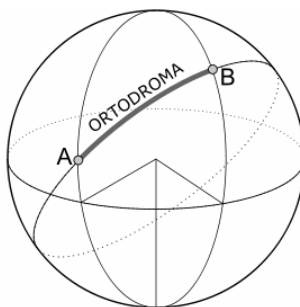
Naměřená hrubá, tedy nezkreslená data (UTC datum, UTC čas, zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška, rychlost pohybu, PDOP, HDOP, VDOP, počet aktuálně používaných družic, počet aktuálně dostupných družic, vzdálenost mezi dvěma posledně zaznamenanými body) byla z modulů pomocí programu Travel Recorder V5 načtena a následně exportována do formátu *.csv. V dalším kroku byl upraven formát některých dat dle potřeby tak, aby s nimi bylo možno dále patřičně pracovat (nahradil jsem tečku čárkou, vymazal přebytečné mezery apod.).

Aby bylo umožněno přijímačům inicializovat patřičné družicové signály s almanachem a došlo k eliminaci vlivu přítomnosti obsluhující osoby při měření (při zapnutí a vypnutí GPS modulů), nebyla (pro objektivnost) do zpracování výsledků zahrnuta první a poslední cca minuta každého měření.

Pro převod vypočtené nepřesnosti polohy z jednotek stupňů do jednotek metrů byl (za předpokladu kulového tvaru Země) použit následující vzorec pro výpočet ortodromy x :

$$x = r \cdot (\text{ARCCOS}(\text{SIN}(z\check{s}_2) \cdot \text{SIN}(z\check{s}_1) + \text{COS}(z\check{s}_2) \cdot \text{COS}(z\check{s}_1) \cdot \text{COS}(z d_2 - z d_1))), \quad (17)$$

kde r označuje poloměr Země, $z\check{s}$ - zeměpisnou šířku a $z d$ - zeměpisnou délku.



Obr. 24 – Ortodroma [zdroj:

<http://images.google.com>]

Z důvodu poměrně velkého množství naměřených údajů a tedy rozsáhlých velikostí tabulek byly ve výsledných tabulkách zobrazeny pouze nezbytné hodnoty k porovnání vzájemných výsledků. Tabulky se všemi naměřenými hodnotami jsou dostupné jako elektronická příloha této práce.

6.3.1 Výsledky Rychlé statické metody (varianta městské zástavby)

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DÉLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	HDOP	VDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	
Q1200Ultra	Průměr	50,12964767	14,43254245	347,102	1,21	1,69	8,04	10,03
	Směrodatná odchylka	00,00002299	00,00001296	003,011	0,18	0,60	0,75	0,16
	Rozptyl	00,000000000529	00,000000000168	009,068	0,03	0,36	0,56	0,03
	Rozpětí	00,00011556	00,00005954	010,012	0,45	1,65	2,00	1,00
Polohová odchylka ± [m]		2,72						
Q1000X	Průměr	50,12962499	14,43250468	352,575	1,25	1,68	7,59	11,29
	Směrodatná odchylka	00,00002345	00,00001209	001,441	0,13	0,53	0,59	0,57
	Rozptyl	00,000000000550	00,000000000146	002,078	0,02	0,29	0,34	0,32
	Rozpětí	00,00010485	00,00006269	006,484	0,33	1,64	3,00	2,00
Polohová odchylka ± [m]		2,75						
Celkový průměr obou	Průměr naměřených hodnot	50,12963633	14,43252356	349,838	1,23	1,69	7,82	10,66
	Průměr směrodatných odchylek	00,00002322	00,00001253	002,226	0,15	0,57	0,67	0,37
	Průměr rozptylů	00,000000000539	00,000000000157	005,573	0,02	0,32	0,45	0,17
	Průměr rozpětí	00,00011021	00,00006112	008,248	0,39	1,65	2,50	1,50
Průměr polohových odchylek ± [m]		2,74						

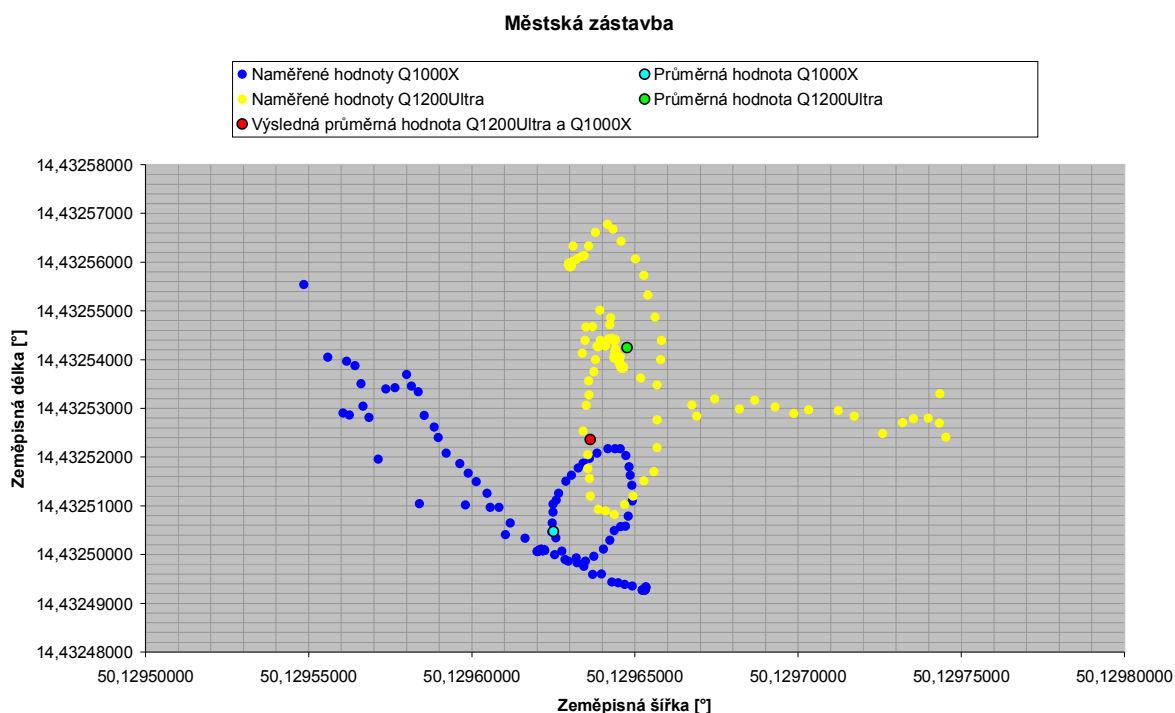
Tab. 12 – Výběr výsledků Rychlé statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P I)

Z výše uvedených výsledků (Tab 12) můžeme vyčíst, že průměrná horizontální polohová nepřesnost za daných podmínek, jež byla naměřena a následně vypočtena u přijímače Q1200Ultra, činí $\pm 2,72$ m při průměrné HDOP $1,21 \pm 0,18$. Průměrná vertikální nepřesnost činí $347,1 \pm 2$ m při průměrné VDOP $1,69 \pm 0,6$. Průměrný počet viděných družic činil 10,03, ze kterých se obvykle používalo 8,04.

Průměrná horizontální polohová nepřesnost přístroje Q1000X činila $\pm 2,75$ m při HDOP $1,25 \pm 0,13$ a průměrná vertikální nepřesnost $352,575 \pm 1,441$ m při $1,68 \pm 0,53$ VDOP. Počet průměrně viděných družic činil 11,29, ze kterých se průměrně používalo 7,59.

Při kombinaci naměřených výsledků obou těchto přístrojů (Q1200Ultra a Q1000X) vychází průměrná horizontální polohová nepřesnost $\pm 2,74$ m při $1,23 \pm 0,15$ HDOP, průměrná vertikální polohová nepřesnost pak $349,838 \pm 2,226$ m při $1,69 \pm 0,57$ VDOP. Průměrný počet viděných družic byl 10,66, ze kterých se používalo cca 7,82.

Tyto výsledky byly vypočteny ze 180 naměřených hodnot každého z přijímačů, resp. z 360 naměřených hodnot jejich kombinace při celkovém průměru dané metody.



Obr. 25 – Graf výsledků měření Rychlé statické metody (varianta městské zástavby)

6.3.2 Výsledky Rychlé statické metody (varianta volného prostranství)

		ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DÉLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	HDOP	VDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC
Q1200Ultra	Průměr	50,16079483	14,44703563	344,606	0,93	1,18	9,00	11,00
	Směrodatná odchylka	00,00000291	00,00000626	000,227	0,01	0,20	0,00	0,00
	Rozptyl	00,0000000000845	00,0000000000391	000,052	0,00	0,04	0,00	0,00
	Rozpětí	00,00001065	00,00001621	001,474	0,02	0,49	0,00	0,00
Polohová odchylka ± [m]		0,55						
Q1000X	Průměr	50,16082674	14,44702981	339,902	0,93	1,19	9,00	11,00
	Směrodatná odchylka	00,00000342	00,00000387	000,135	0,01	0,19	0,00	0,00
	Rozptyl	00,0000000000117	00,0000000000150	000,018	0,00	0,03	0,00	0,00
	Rozpětí	00,00001561	00,00002040	000,627	0,02	0,49	0,00	0,00
Polohová odchylka ± [m]		0,47						
Celkový průměr obou	Průměr naměřených hodnot	50,16081079	14,44703272	342,254	0,93	1,19	9,00	11,00
	Průměr směrodatných odchylek	00,00000316	00,00000506	000,181	0,01	0,19	0,00	0,00
	Průměr rozptylů	00,0000000000101	00,0000000000271	000,035	0,00	0,04	0,00	0,00
	Průměr rozpětí	00,00001313	00,00001831	001,051	0,02	0,49	0,00	0,00
Průměr polohových odchylek ± [m]		0,51						

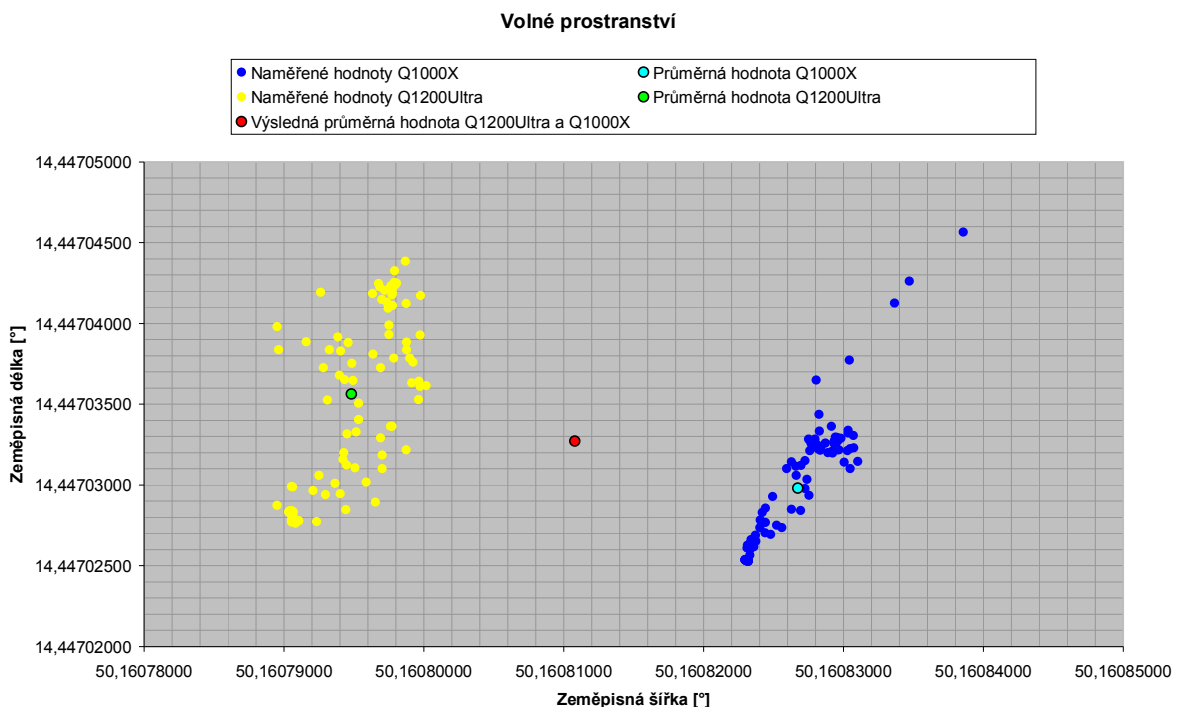
Tab. 13 – Výběr výsledků Rychlé statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P II)

Výše uvedená tabulka výsledků (Tab. 13) zobrazuje průměrnou horizontální polohovou nepřesnost, jež byla za daných podmínek naměřena a následně vypočtena u přijímače Q1200Ultra, $\pm 0,55$ m při průměrné HDOP $0,93 \pm 0,01$. Průměrná vertikální nepřesnost činila $344,606 \pm 0,227$ m při průměrné VDOP $1,18 \pm 0,2$. Průměrný počet viděných družic činil 11, ze kterých se obvykle používalo 9.

Průměrná horizontální polohová nepřesnost přístroje Q1000X činila $\pm 0,47$ m při HDOP $0,93 \pm 0,01$ a průměrná vertikální nepřesnost $339,902 \pm 0,135$ m při $1,19 \pm 0,19$ VDOP. Počet průměrně viděných družic opět činil 11, ze kterých se průměrně používalo 9.

Při kombinaci naměřených výsledků obou těchto přístrojů (Q1200Ultra a Q1000X) vychází průměrná horizontální polohová nepřesnost $\pm 0,51$ m při $0,93 \pm 0,01$ HDOP, průměrná vertikální polohová nepřesnost pak $342,254 \pm 0,181$ m při $1,19 \pm 0,19$ VDOP. Průměrný počet viděných družic tedy vychází shodně 11, ze kterých se používalo cca 9.

Tyto výsledky byly vypočteny ze 180 naměřených hodnot každého z přijímačů, resp. z 360 naměřených hodnot jejich kombinace při celkovém průměru dané metody.



Obr. 26 – Graf výsledků měření Rychlé statické metody (varianta volného prostranství)

6.3.3 Výsledky Statické metody (varianta městské zástavby)

		ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DÉLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	HDOP	VDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC
Q1200Ultra	Průměr	50,12966610	14,43252386	349,860	1,34	1,52	7,85	10,02
	Směrodatná odchylka	00,00001523	00,00000636	005,184	0,20	0,29	0,96	0,23
	Rozptyl	00,0000000002319	00,000000000404	026,874	0,04	0,09	0,92	0,05
	Rozpětí	00,00006802	00,00003861	015,016	1,31	2,88	4,00	3,00
	Polohová odchylka ± [m]	1,75						
Q1000X	Průměr	50,12967253	14,43251320	353,645	1,29	1,42	7,91	11,32
	Směrodatná odchylka	00,00000709	00,00002127	001,546	0,25	0,30	1,11	1,10
	Rozptyl	00,000000000502	00,000000004523	002,391	0,06	0,09	1,23	1,22
	Rozpětí	00,00003732	00,00008501	010,047	1,06	1,47	4,00	4,00
	Polohová odchylka ± [m]	1,71						
Celkový průměr obou	Průměr naměřených hodnot	50,12966932	14,43251853	351,752	1,31	1,47	7,88	10,67
	Průměr směrodatných odchylek	00,00001116	00,00001381	003,365	0,22	0,30	1,03	0,67
	Průměr rozptylů	00,000000001410	00,000000002464	014,633	0,05	0,09	1,07	0,64
	Průměr rozpětí	00,00005267	00,00006181	012,532	1,19	2,18	4,00	3,50
	Průměr polohových odchylek ± [m]	1,73						

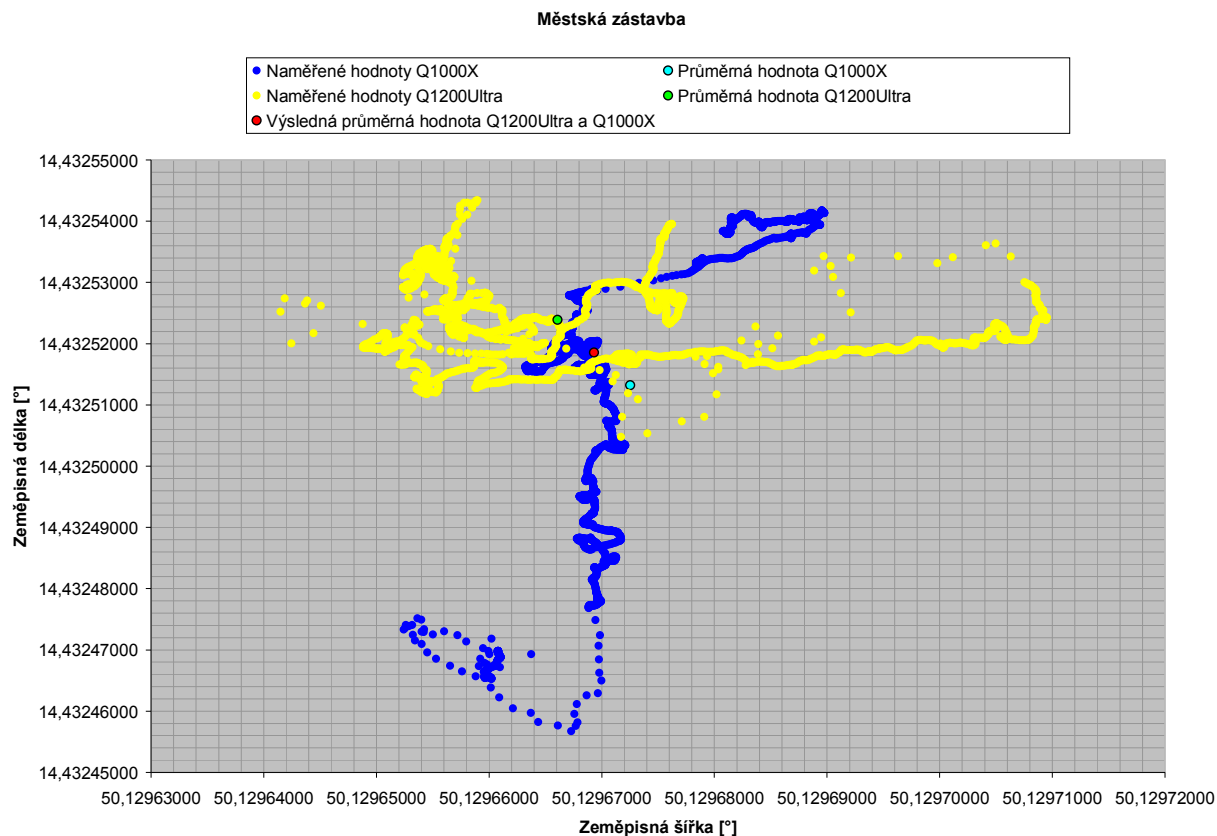
Tab. 14 – Výběr výsledků Statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P III)

Z výše uvedených výsledků (Tab. 14) můžeme vyčíst, že průměrná horizontální polohová nepřesnost za daných podmínek, jež byla naměřena a následně vypočtena u přijímače Q1200Ultra činí $\pm 1,75$ m při průměrné HDOP $1,34 \pm 0,2$. Průměrná vertikální nepřesnost činí $349,86 \pm 5,184$ m při průměrné VDOP $1,52 \pm 0,29$. Průměrný počet viděných družic činil 10,02 ze kterých se obvykle používalo 7,85.

Průměrná horizontální polohová nepřesnost přístroje Q1000X činila $\pm 1,71$ m při HDOP $1,29 \pm 0,25$ a průměrná vertikální nepřesnost $353,645 \pm 1,545$ m při $1,42 \pm 0,3$ VDOP. Počet průměrně viděných družic činil 11,32 ze kterých se opět průměrně používalo 7,91.

Při kombinaci naměřených výsledků obou těchto přístrojů (Q1200Ultra a Q1000X) vychází průměrná horizontální polohová nepřesnost $\pm 1,73$ m při $1,31 \pm 0,22$ HDOP, průměrná vertikální polohová nepřesnost pak $351,752 \pm 3,365$ m při $1,47 \pm 0,3$ VDOP. Průměrný počet viděných družic činil 10,67, ze kterých se obvykle používalo 7,88.

Tyto výsledky byly vypočteny ze 3600 naměřených hodnot každého z přijímačů, resp. z 7200 naměřených hodnot jejich kombinace při celkovém průměru dané metody.



Obr. 27 - Graf výsledků měření Statické metody (varianta městské zástavby)

6.3.4 Výsledky Statické metody (varianta volného prostranství)

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DÉLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	HDOP	VDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC
Q1200Ultra	Průměr	50,16081643	14,44704485	342,459	1,03	1,34	9,22
	Směrodatná odchylka	00,00000701	00,00000345	000,887	0,22	0,24	0,63
	Rozptyl	00,000000000492	00,000000000119	000,787	0,05	0,06	0,40
	Rozpětí	00,00001774	00,00002311	004,947	0,61	1,00	2,00
Polohová odchylka ± [m]		0,82					
Q1000X	Průměr	50,16082125	14,44703134	342,324	1,04	1,35	9,22
	Směrodatná odchylka	00,00000571	00,00000655	000,934	0,23	0,24	0,64
	Rozptyl	00,000000000326	00,000000000430	000,872	0,05	0,06	0,41
	Rozpětí	00,00001484	00,00002829	003,019	0,61	1,00	2,00
Polohová odchylka ± [m]		0,79					
Celkový průměr obou	Průměr naměřených hodnot	50,16081884	14,44703810	342,392	1,03	1,35	9,22
	Průměr směrodatných odchylek	00,00000636	00,00000500	000,910	0,22	0,24	0,63
	Průměr rozptylů	00,000000000409	00,000000000274	000,829	0,05	0,06	0,40
	Průměr rozpětí	00,00001629	00,00002570	003,983	0,61	1,00	2,00
Průměr polohových odchylek ± [m]		0,80					

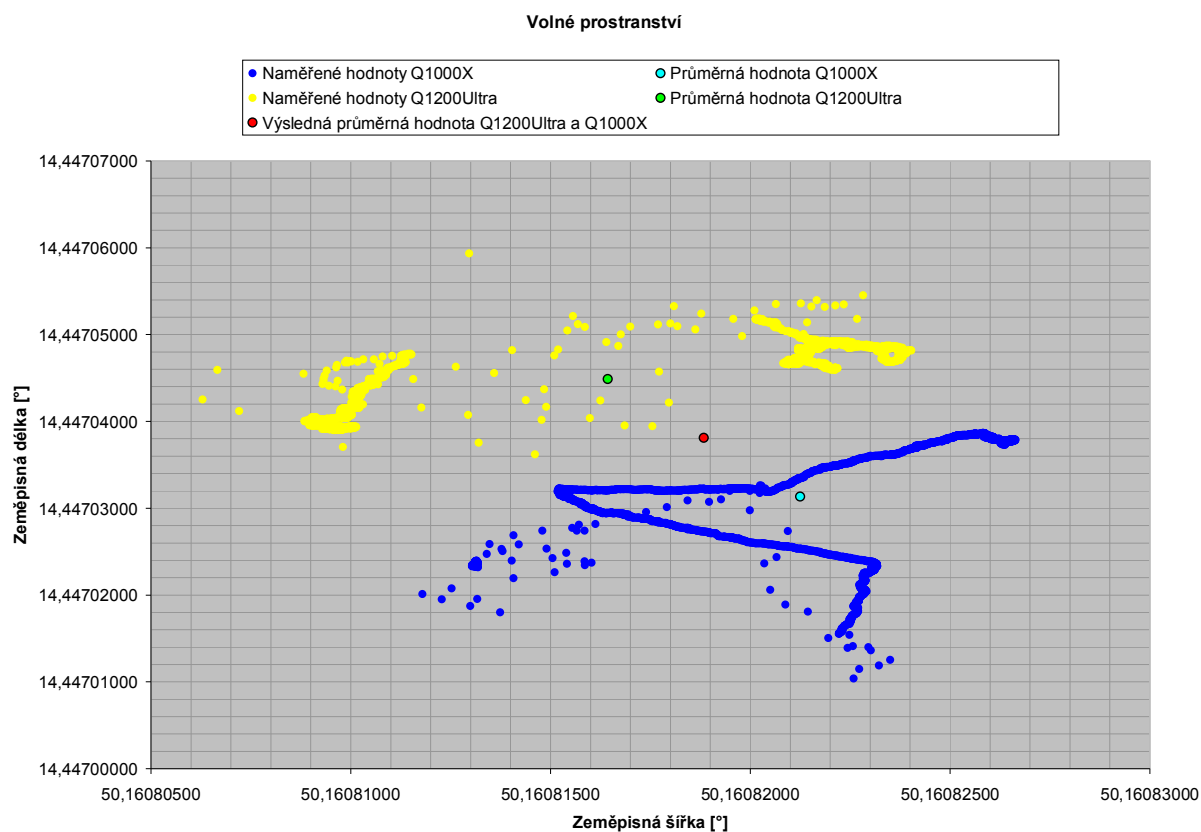
Tab. 15 – Výběr výsledků Statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P IV)

Dle uvedených výsledků (Tab. 15) je zřejmé, že průměrná horizontální polohová nepřesnost za daných podmínek, jenž byla naměřena a následně vypočtena u přijímače Q1200Ultra činí $\pm 0,82$ m při průměrné HDOP $1,03 \pm 0,22$. Průměrná vertikální nepřesnost činí $342,459 \pm 0,887$ m při průměrné VDOP $1,34 \pm 0,24$. Průměrný počet viděných družic činí 9,77, ze kterých se obvykle používalo 9,22.

Průměrná horizontální polohová nepřesnost přístroje Q1000X činila při této metodě a těchto podmínkách $\pm 0,79$ m při HDOP $1,04 \pm 0,23$ a průměrná vertikální nepřesnost $342,324 \pm 0,934$ m při $1,35 \pm 0,24$ VDOP. Počet průměrně viděných družic činil 10,6, ze kterých se průměrně používalo 9,22.

Při kombinaci naměřených výsledků obou těchto přístrojů (Q1200Ultra a Q1000X) vychází průměrná horizontální polohová nepřesnost $\pm 0,8$ m při $1,03 \pm 0,22$ HDOP, průměrná vertikální polohová nepřesnost pak $342,392 \pm 0,91$ m při $1,35 \pm 0,24$ VDOP. Průměrný počet viděných družic činil 10,19, ze kterých se používalo 9,22.

Tyto výsledky byly vypočteny ze 3600 naměřených hodnot každého z přijímačů, resp. z 7200 naměřených hodnot jejich kombinace při celkovém průměru dané metody.



Obr. 28 - Graf výsledků měření Statické metody (varianta volného prostranství)

6.3.5 Porovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody (varianta městské zástavby)

		ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DĚLKA [°]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	HDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	VZDÁLENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
Rychlá statická (průměr Q1200U a Q1000X)	Průměr	50,12963633	14,43252356	0,041	1,23	7,82	10,66	0,22
	Směrodatná odchylka	00,00002322	00,00001253	0,078	0,15	0,67	0,37	0,36
	Rozptyl	00,000000000539	00,000000000157	0,010	0,02	0,45	0,17	0,13
	Rozpětí	00,00011021	00,00006112	0,434	0,39	2,50	1,50	2,45
	Polohová odchylka ± [m]	2,74						
Statická (průměr Q1200U a Q1000X)	Průměr	50,12966932	14,43251853	0,015	1,31	7,88	10,67	0,01
	Směrodatná odchylka	00,00001116	00,00001381	0,044	0,22	1,03	0,67	0,04
	Rozptyl	00,000000000141	00,000000000246	0,003	0,05	1,07	0,64	0,00
	Rozpětí	00,00005267	00,00006181	1,060	1,19	4,00	3,50	0,77
	Polohová odchylka ± [m]	1,73						
Vzájemný rozdíl (Δ Rychlá statická - Statická)	Průměr naměřených hodnot	-00,00003299	00,00000503	0,025	-0,08	-0,07	-0,01	0,20
	Průměr směrodatných odchylek	00,00001207	-00,00000129	0,035	-0,07	-0,37	-0,30	0,32
	Průměr rozptylů	00,000000000398	-00,000000000089	0,007	-0,03	-0,62	-0,46	0,13
	Průměr rozpětí	00,00005754	-00,00000069	-0,627	-0,80	-1,50	-2,00	1,68
	Průměr polohových odchylek ± [m]	1,00						

Tab. 16 – Srovnávací výběr vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P V)

V Tab. 16 je zobrazeno srovnání průměrných hodnot naměřených na obou přijímačích dle dané metody. Lze tedy jasně vyčíst, že při Statické metodě činí horizontální nepřesnost určování polohy $\pm 1,73$ m oproti $\pm 2,74$ m vůči Rychlé statické metodě, což odpovídá cca o ± 1 m menší vzájemné nepřesnosti. Ovšem zajímavé srovnání můžeme vidět při hodnotách HDOP, které u Rychlé statické metody činí „pouze“ 1,23 oproti 1,31 vůči Statické metodě, což odpovídá vzájemnému rozdílu 0,08 ve prospěch Rychlé statické metodě. Přitom průměrný počet viděných i používaných družic byl u Statické metody o pár setin vyšší (konkrétněji o 0,07 u používaných resp. 0,01 u viděných družic). I přesto však směrodatná odchylka byla u Statické metody cca o polovinu menší, než v případě Rychlé statické. Jasný rozdíl můžeme pozorovat zejména při porovnání rychlosti pohybu snímače a vzdálenostmi mezi dvěma posledně snímanými body (podotýkám, že obě metody byly statické), kdy u Rychlé statické metody hodnoty činily 0,041 km/h, resp. u Statické 0,015 km/h a 0,22 m vůči 0,01 m. Je jasné, že výsledky měření byly ovlivněny zejména rozdílným počtem naměřených hodnot u jednotlivých metod.

6.3.6 Porovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody (varianta volného prostranství)

		ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DĚLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	HDOP	VDOP	VZDÁLENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
Rychlá statická (průměr Q1200U a Q1000X)	Průměr	50,16081079	14,44703272	342,254	0,011	0,93	1,19	0,06
	Směrodatná odchylka	00,00000316	00,00000506	000,181	0,014	0,01	0,19	0,12
	Rozptyl	00,00000000010	00,00000000027	000,035	0,000	0,00	0,04	0,01
	Rozpětí	00,00001313	00,00001831	001,051	0,068	0,02	0,49	0,85
	Polohová odchylka ± [m]	0,51						
Statická (průměr Q1200U a Q1000X)	Průměr	50,16081884	14,44703810	342,392	0,009	1,03	1,35	0,01
	Směrodatná odchylka	00,00000636	00,00000500	000,910	0,018	0,22	0,24	0,04
	Rozptyl	00,00000000041	00,00000000027	000,829	0,000	0,05	0,06	0,00
	Rozpětí	00,00001629	00,00002570	003,983	0,461	0,61	1,00	1,03
	Polohová odchylka ± [m]	0,80						
Vzájemný rozdíl (Δ Rychlá statická - Statická)	Průměr naměřených hodnot	-00,00000805	-00,00000537	-000,137	0,002	-0,11	-0,16	0,06
	Průměr směrodatných odchylek	-00,00000320	00,00000006	-000,730	-0,005	-0,22	-0,05	0,08
	Průměr rozptylů	-00,00000000031	00,00000000000	-000,795	0,000	-0,05	-0,02	0,01
	Průměr rozpětí	-00,00000316	-00,00000739	-002,933	-0,394	-0,59	-0,51	-0,18
	Průměr polohových odchylek ± [m]	-0,29						

Tab. 17 – Srovnávací výběr vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P VI)

Tab. 17 zobrazuje velice zajímavé porovnání především v horizontální přesnosti zvolených metod v daném prostředí. U Rychlé statické metody vychází polohová nepřesnost $\pm 0,51$ m oproti $\pm 0,8$ m u metody Statické, což odpovídá vzájemnému rozdílu metod o $\pm 0,29$ m. Tento fakt vznikl zejména polohovou nepřesností průměru zeměpisných šířek, kdy odchylka u Rychlé statické metody byla téměř poloviční vůči stejné odchylce u Statické metody. Dokonce i hodnoty DOP byly naměřeny nepatrně vyšší u Statické metody, ovšem daleko zajímavější je pozorovat rozdíly v rozpětí těchto hodnot, kdy:

- u Rychlé statické metody činily: HDOP – 0,02; VDOP – 0,49;
- u Statické metody byly naměřeny: HDOP – 0,61; VDOP – 1,0.

Vertikální přesnost byla u obou těchto metod naměřena relativně shodně se vzájemným rozdílem 0,137 m. Přesnější výsledky měření při porovnávání těchto dvou metod byly vyhodnoceny ve prospěch Statické metody v oblasti rychlosti pohybu přijímače (0,009 vůči 0,011 km/h) a vzdálenostmi mezi dvěma naposledy snímanými body (0,01 vůči 0,06).

6.3.7 Výsledky Dynamické metody

Na zpracování výsledků u této metody bylo nahlíženo odlišným způsobem, než tomu bylo u předchozích dvou metod. Naměřené údaje jednotlivých GPS přijímačů byly dle UTC času synchronizovány a následně vzájemně porovnávány (zejména v návaznosti na odlišné úseky trati).

Sm. odch. ZEMĚPISNÉ ŠÍŘKY [°]	Sm. odch. ZEMĚPISNÉ DÉLKY [°]	Sm. odch. RYCHLOST POHYBU [KM/H]	Průměr PDOP	Sm. odch. PDOP	Průměr HDOP	Sm. odch. HDOP	Průměr VDOP	Sm. odch. VDOP	Průměrný POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	Průměrný POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	Průměrná VZDÁLENOST MEZI SNÍMANÝMI BODY [M]
00,00000640	00,00001464	0,41	1,65	0,51	0,93	0,01	1,36	0,02	8,9	10,0	2348,61
00,00001742	00,00000459	0,26	1,66	0,49	0,95	0,02	1,35	0,07	8,8	10,0	950,10
00,00000666	00,00000798	0,12	1,64	0,52	0,92	0,01	1,36	0,00	9,0	10,0	434,25
00,00001415	00,00002190	0,36	1,63	0,45	0,99	0,05	1,29	0,14	8,5	10,1	2999,49
00,00001907	00,00003492	0,48	1,69	0,33	1,17	0,12	1,18	0,20	7,9	10,5	148,40

Tab. 18 – Výběr výsledků Dynamické metody (výsledky v plném rozsahu viz. P VII)

Jak můžeme z výsledků (Tab. 18) vyčíst, nejvyšší průměrná vypočtená směrodatná odchylka zeměpisné šířky byla naměřena v úseku pět ($\pm 0,00001907$), následně v úseku dva ($\pm 0,00001742$), a poté v úseku čtyři ($\pm 0,00001415$), úseky tři ($\pm 0,00000666$) a jedna ($\pm 0,00000640$) vycházely velice podobně. Tyto výsledky tedy odpovídaly obecnému předpokladu měření.

Ovšem vzájemné porovnání hodnot průměrných směrodatných odchylek zeměpisné délky dle prostředí, ve kterém měření probíhalo, neodpovídaly předpokladu tak věrohodně, jako tomu bylo v předchozím případě. Konkrétněji nejvyšší hodnoty odchylek bylo dosahováno v úseku pět ($\pm 0,00003492$), poté v úseku čtyři ($\pm 0,00002190$), což bylo dle předpokladu v pořádku, ovšem následovaly úseky jedna ($\pm 0,00001464$), tři ($\pm 0,00000798$) a dva ($\pm 0,00000459$), což už daný předpoklad (vzhledem k danému okolí) nespĺňovaly.

Obdobně, jako tomu bylo při porovnání výše zmíněných zeměpisných šířek a délek tomu bylo i při hodnotách HDOP a VDOP, kdy vzestupně hodnoty HDOP vycházely nejlépe pro úsek číslo 3 ($0,92 \pm 0,01$), velice podobně vycházel i úsek jedna ($0,93 \pm 0,01$), následovaly úseky dva ($0,95 \pm 0,02$), čtyři ($0,99 \pm 0,05$) a pět ($1,17 \pm 0,12$).

Pokud však porovnáme výsledky VDOP v jednotlivých úsecích, zjistíme, že při opětovném vzestupném seřazení tyto hodnoty činily $1,18 \pm 0,2$ pro úsek pět, $1,29 \pm 0,14$ pro úsek čtyři,

$1,35 \pm 0,07$ a následně téměř shodně $1,36 \pm 0,02$ pro úsek jedna, resp. $1,36 \pm 0,0$ pro úsek tři.

V průběhu celé této trasy byly naměřeny a následně vypočteny tyto průměrné hodnoty: rychlost jízdy 38,28 km/h; PDOP 1,64; HDOP 0,97; VDOP 1,32; počet používaných družic 8,67; počet viděných družic 10,05; délka trasy 6880,85 m.

7 LABORATORNÍ ÚLOHA PRO POTŘEBY VÝUKY NA FAI UTB

Tento návrh laboratorní úlohy vychází z praktické části měření této diplomové práce a je uzpůsoben potřebám výuky na FAI UTB.

7.1 Titulní strana

Titulní strana by měla obsahovat tyto údaje:

- název univerzity a jméno fakulty (případně i logo),
- název, případně i číslo laboratorní úlohy,
- jméno a příjmení osoby či osob, které měření vykonávaly,
- název studijní skupiny,
- datum a čas naměření,
- datum odevzdání.

7.2 Úkoly

- Seznamte se s GPS moduly a jejich obslužným SW.
- Určete průměrnou polohovou odchylku pomocí GPS zařízení tzv. Rychlou statickou metodou (průběh měření v délce trvání cca 5 minut) za odlišných podmínek měření (v místnosti, u stěny budovy, ve volném prostranství).
- Výsledky porovnejte (jak početně, tak i graficky).

7.3 Seznam použitých pomůcek

- Počítač (s patřičným softwarem, např. Qstarz Travel Recorder PC Utility V5, MS Excel, MS Word apod.).
- GPS moduly (např. Qstarz Q1200Ultra a Qstarz Q1000X).

7.4 Teorie k vypracování

Teoretické základy potřebné k vypracování této laboratorní úlohy lze čerpat přímo z této diplomové práce nebo např. z některých citovaných zdrojů uvedených v bibliografii, či kdekoli na internetu.

7.5 Postup měření

- Před zahájením vlastního měření vhodně zvolte formát ukládání souřadnic a interval záznamů.
- Vyberte vhodné měřicí podmínky dle zadání uvedeném v sekci „Úkoly“.
- Jednotlivá měření provádějte s dostatečnými časovými odstupy.

7.6 Zápis a zpracování výsledků

Veškerý zápis a zpracování výsledků provádějte pomocí tabulkového procesoru MS Excel. Výsledky jednotlivých měření vzájemně porovnejte a vynesete do grafů.

Pozn.: Nezapomeňte eliminovat možnost zkreslení výsledků vlivem pohybu obsluhující osoby.

7.7 Závěr

Pokuste se odůvodnit rozdíly vzniklé ve výsledcích jednotlivých měření.

ZÁVĚR

Základní požadavky na polohové, resp. navigační služby a systémy zůstávají po staletí téměř neměnné. Jsou jimi především snaha o co nejpresnější určení aktuální polohy, vzdálenosti a směru k tíženému cíli při co možná nejsnadnějším a nejrychlejším zaměření včetně nutných výpočtů.

Kvalita, rychlost, spolehlivost a celková technická vyspělost navigačních systémů a služeb prošla v posledních letech značným rozvojem, a to převážně díky družicovým navigačním systémům. Ačkoli jsou služby většiny z těchto systémů primárně určeny k vládním, resp. vojenským účelům, nemění naštěstí nic na tom, že je část jejich (byť omezených, ale stále dostatečně kvalitních) služeb poskytována i široké veřejnosti. Především díky nepřetržitému, zcela zdarma poskytovanému provozu, možnosti fungování kdekoli na Zemi a za jakéhokoli počasí a spolu se stále klesajícími pořizovacími náklady na přijímací zařízení nacházejí své uplatnění v rozsáhlé škále lidských činností, jako např. v pozemní, lodní i letecká dopravě, při geodézii a tvorbě map, ve vědeckých či rekreačních aplikacích atd.

Aktuální rozmach ve výstavbě nových, modernizaci stávajících družicových navigačních systémů a také snaha některých z nich o alespoň částečnou vzájemnou kooperaci vede k nepřestávajícímu zkvalitňování a pestřejšímu poskytování služeb koncovým uživatelům. Lze předpokládat, že se bude i nadále v tomto trendu vývoje pokračovat a družicové navigační systémy budou tvořit neviditelného, ale spolehlivého pomocníka v rozsáhlém spektru lidského působení.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Basic requirements for position or more likely navigation service and systems remain constant for centuries. These requirements are mainly focused on detailed actual position location, distance and direction of the particular target with the easiest and fastest focusing along with necessary calculations.

Quality, speed, reliability and total technical development of navigation systems and services have been improved and developed mainly thanks to the help of satellite navigation systems in past years. Even that services of these systems are primarily used for government or army purposes, they are also widely provided to the publics as well (in limited but quality amount). The systems are able to function anywhere on the Earth in any weather conditions along with decreasing costs on the receiving facility thanks to the continuous and free of charge operation. Subsequently, it finds its use in many human activities like in surface, marine and air transportation, in geodesy and creation of maps, in scientific and recreational application etc.

Aktuální rozmach ve výstavbě nových, modernizaci stávajících družicových navigačních systémů a také snaha některých z nich o alespoň částečnou vzájemnou kooperaci vede k nepřestávajícímu zkvalitňování a pestřejšímu poskytování služeb koncovým uživatelům.

Current development in building up new, modern existing satellite navigation systems and also partly cooperation with other satellite systems leads to bigger quality and wider services providing to the final users. We can assume that it will be continuing in this trend of improvement and satellite navigation systems are going to fulfil invisible, but reliable helper in the wide spectrum of human operation.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava : VŠB-TU, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
- [2] *Geoid*. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20.11.2005, last modified on 19.1.2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Geoid>>.
- [3] ČADA, Václav. Měření délek. *Přednáškové texty z Geodézie* [online]. Plzeň : Katedra matematiky (Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd), 2007 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch06.html>>.
- [4] PICKERING, Keith. *Christopher Columbus: Navigation techniques* [online]. Minnesota : Version 4. Knol., 23.7.2008 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://knol.google.com/k/keith-pickering/christopher-columbus/2ruvktzt2lj5m/2>>.
- [5] JUROSZ, Michal. *Mj41.cz* [online]. 2003, 13.6.2005 [cit. 2011-03-15]. Wiki.kn.vutbr.cz. Dostupné z WWW: <<http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?inerci%C3%A1ln%C3%AD%20navigace>>.
- [6] *Arms Control Association : The authoritative source on arms control* [online]. 11.6.1996 [cit. 2011-03-30]. Missile Technology Control Regime (MTCR). Dostupné z WWW: <<http://www.armscontrol.org/documents/mtrc>>.
- [7] KREBS, Gunter. *Orbital Launches of 2010* [online]. 1996, 14.02.2011 [cit. 2011-04-03]. Gunter's Space Page. Dostupné z WWW: <http://space.skyrocket.de/doc_chr/lau2010.htm>.
- [8] JUSKOVÁ, Kateřina. *Land Management* [online]. 2007 [cit. 2011-03-27]. LA-MA.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.la-ma.cz/?p=87>>.
- [9] GPS. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21.2.2006, last modified on 24. 2. 2011 [cit. 2011-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>>.

- [10] FY 2008 Presidential Budget Request for National Security Space Activities. *George C. Marshall Institute* [online]. 2007 [cit. 2011-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.marshall.org/pdf/materials/507.pdf>>.
- [11] KAPLAN, Elliott D.; HEGARTY, Christopher J. *Understanding GPS: principles and applications*. [s.l.] : Artech House, 2006. 703 s. ISBN 9781580538947.
- [12] U.S. Coast Guard Navigation Center. *NAVSTAR GPS USER EQUIPMENT INTRODUCTION* [online]. Alexandria, VA : U.S. Coast Guard Navigation Center, 1996 [cit. 2011-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>>.
- [13] ČERNÁK, Pavel. *Využití satelitní navigace při vyhodnocení dopravních nehod*. Pardubice, 2008. 87 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [14] JANUS, P.; PETERA, V. *Výuková dokumentace pro I. úroveň školení uživatelů GPS v AČR: Základní témata*. Dobruška : Vojenský topografický ústav, 2000.
- [15] *European GNSS (Galileo) Open Service : Signal In Space Interface Control Document* [online]. 1.1. European Union and European Space Agency : 2010 [cit. 2011-04-11]. Open Service Signal In Space Interface Control Document. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/files/galileo-os-sis-icd-issue1-revision1_en.pdf>.
- [16] *Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces* [online]. Revize D. El Segundo, CA : ARINC Engineering Services, 2004 [cit. 2011-04-16]. NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM. Dostupné z WWW: <<http://www.navcen.uscg.gov/pdf/IS-GPS-200D.pdf>>.
- [17] W. BETZ, John. *Mitre* [online]. 2000 [cit. 2011-04-22]. Overview of the GPS M Code Signal. Dostupné z WWW: <http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_00/>.
- [18] *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GLONASS : INTERFACE CONTROL DOCUMENT* [online]. 5.1. Moscow : 2008 [cit. 2011-04-24]. Federal Space Agency, Information-Analytical Centre. Dostupné z WWW: <http://rniikp.ru/en/pages/about/publ/ICD_GLONASS_eng.pdf>.

- [19] G. REVNIVYKH, Sergey. *GLONASS : Status and Progress* [online]. Fort Worth, Texas : 2007 [cit. 2011-04-25]. Federal Space Agency. Dostupné z WWW: <<http://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/47/%5B21%5D%20GLONASS%20CGSIC%20September%2024%20Fort%20Worth.pdf>>.
- [20] VOJTEK, David. *Globální navigační a polohové systémy : Systém GLONASS* [online]. VŠB-TU Ostrava : 2010 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://gis.vsb.cz/vojtek/index.php?page=main/index>>.
- [21] KÖHNE, Anja; WÖßNER, Michael. *The GPS System : Sources of Errors in GPS* [online]. 2009 [cit. 2011-04-28]. Kowoma.de. Dostupné z WWW: <<http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>>.
- [22] United Nations Office for Outer Space Affairs. *Current and planned global and regional navigation satellite systems and satellite-based augmentation systems* [online]. 2010 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/publications/icg_ebook.pdf>.
- [23] SHARMA, Rajeev. India Builds Its Own GPS. *Strategy Page* [online]. 2011, [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.strategypage.com/htm/htspace/articles/20110116.aspx>>.
- [24] ČERNÝ, Miroslav. *Zápis číselných hodnot a nejistoty měření* [online]. Brno : VUT, 2010 [cit. 2011-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/vyuka/chyby.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Apod.	A podobně.
AS	Anti-Spoofing.
Atd.	A tak dále.
BOC	Binary Offset Carrier.
BPSK	Binary Phase-Shift Keying - Binární fázové klíčování.
CC	Control Center.
Cca.	Cirka – přibližně.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CL	Civil Long.
CM	Civil Moderate.
CS	Commercial Service.
CWAAS	Cisco Wide-Area Application Services.
Čip / Chip	Jedná se o jednotku pro měření množství informace (bit), který nabývá pouze hodnoty 1 či 0.
DGPS	Diferenciální GPS.
DOP	Dilution Of Precision.
E (East)	Východ.
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service.
ESA	European Space Agency - Evropská kosmická agentura.
EXIF	Exchangeable image file format - Specifikace pro formát metadat, vkládaných do souborů digitálními fotoaparáty.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
GCC	Galileo Control Center.
GCS	Ground Control Segment.

GDOP	Geometric Dilution Of Precision.
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma.
GMS	Ground Mission Segment.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GSM	Groupe Spécial Mobile - Globální systém pro mobilní komunikaci.
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision.
HOW	Hand Over Word.
HP	High Positioning - Přesnější polohová služba pro autorizované uživatele.
HW	Hardware – Technické vybavení počítače.
IBM	International Business Machines Corporation – Počítačová firma.
IRNSS	Indian Regional Navigational Satellite System.
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency - Japonská národní vesmírná agentura.
LAAS	Local Area Augmentation System.
MNAV	Military Navigation Message – Navigační zpráva vojenského (M) kódu.
MS	Monitor Station.
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System.
N (North)	Sever.
Např.	Například.
NAVSTAR GPS	Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System.
OS	Open Service.
PDOP	Positional Dilution Of Precision.
PPS	Precise Positioning Service – Přesnější polohová služba pro autorizované uživatele.
PRN	(Pseudo Random Noise Code) – dálkoměrný kód.
PRS	Public Regulated Service.

PZ-90	Earth Parameter System 1990 – Geografický referenční systém GLONASS.
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System.
RAW	Surová, nezkreslená data.
RDS-TMC	Radio Data System - Traffic Message Channel.
Resp.	Respektive - popřípadě, vlastně, anebo, lépe řečeno.
S (South)	Jih.
SA	Selective Availability.
SAR	Search and Rescue Service.
SCC	System Control Center.
SLR	Satellite Laser Ranging.
SoL	Safety Of Life.
SPS (SP)	Standard Positioning Service – Standardní polohová služba.
SW	Software – Programové vybavení počítače.
TCP/IP	Sadu protokolů pro komunikaci v počítačové síti a je hlavním protokolem celosvětové sítě Internet.
TDOP	Time Dilution Of Precision.
TLM	Telemetry Word.
TT&C	Telemetry, Tracking and Command/Communication.
U. S.	United States – Spojené státy americké.
ULS	Uplink Station.
UNIX	Ochranná známka operačního systému vytvořeného v Bellových laboratořích americké firmy AT&T v roce 1969.
UTC	Coordinated Universal Time - Koordinovaný světový čas.
VDOP	Vertical Dilution Of Precision.
W (West)	Západ.

WAAS Wide Area Augmentation System.

WGS-84 World Geodetic System 1984 - větový geodetický systém 1984.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Grafické znázornění vesmírného segmentu GPS systému.....	24
Obr. 2 – Schéma modulace nosné vlny [14].....	27
Obr. 3 – Frekvenční spektra signálů [14].....	28
Obr. 4 – Navigační zpráva GPS systému.....	30
Obr. 5 – Rozmístění stanic řídicího a kontrolního segmentu systému GLONASS [19].....	37
Obr. 6 – Plánované frekvenční rozsahy služby „OS“ Galileo systému [15].....	43
Obr. 7 – Struktura F/Nav navigační zprávy „OS“ služby [15].....	44
Obr. 8 – Struktura F/Nav navigační zprávy „OS“ služby [15].....	44
Obr. 9 – Znázornění kooperace GPS a QZSS.....	46
Obr. 10 – Grafické znázornění průchodu družicových signálů k přijímači [21].....	52
Obr. 11 – Porovnání vlivu ionosférického modelu a frekvence na naměřené výsledky [21].....	53
Obr. 12 – Vícecestné šíření navigačních signálů [21].....	54
Obr. 13 – Princip vzniku minimální pravděpodobné chyby měření vznikající v důsledku polohy družic vůči přijímači [21].....	55
Obr. 14 – Princip vzniku vyšší pravděpodobné chyby měření vznikající v důsledku polohy družic vůči přijímači [21].....	56
Obr. 15 – Porovnání vlivu aktivované (vlevo) a deaktivované (vpravo) SA funkce na naměřené výsledky [21].....	58
Obr. 16 – Gaussova (normální) křivka rozdělení naměřených hodnot [23].....	62
Obr. 17 – Notebook Premio.....	67
Obr. 18 – Qstarz BT-Q1200Ultra.....	68
Obr. 19 – Qstarz BT-Q1000X.....	69
Obr. 20 – Fotografie z místa měření (varianta městská zástavba).....	74
Obr. 21 - Fotografie z místa měření (varianta volné prostranství).....	75
Obr. 22 – Mapa trasy Dynamického měření.....	77
Obr. 23 – Fotografická mapa trasy Dynamického měření.....	77
Obr. 24 – Ortodroma [zdroj: http://images.google.com].....	78
Obr. 25 – Graf výsledků měření Rychlé statické metody (varianta městské zástavby).....	80
Obr. 26 – Graf výsledků měření Rychlé statické metody (varianta volného prostranství).....	81

Obr. 27 - Graf výsledků měření Statické metody (varianta městské zástavby).....	83
Obr. 28 - Graf výsledků měření Statické metody (varianta volného prostranství).....	84

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Seznam dosud vypuštěných družic na oběžnou dráhu [7].....	23
Tab. 2 – Aktuální stav družic GLONASS systému ke dni 22.4.2011.....	36
Tab. 3 – Specifikace Galileo družice	41
Tab. 4 – Střední frekvence nosných vln „OS“ služby (pozn. Nosné vlny E5a a E5b tvoří součást nosné vlny E5.) [15].....	43
Tab. 5 – Typy navigačních zpráv „OS“ služby [15]	43
Tab. 6 – Přehled signálů QZSS signálů [22]	47
Tab. 7 – Přibližné odchylky způsobené působením vybraných negativních vlivů [21]	60
Tab. 8 – Součinitele k pro konfidenční 95% interval pravděpodobnosti n měření [23].....	64
Tab. 9 – Technická specifikace notebooku Premio	68
Tab. 10 – Specifikace GPS modulu Qstarz BT-Q1200Ultra	69
Tab. 11 – Specifikace GPS modulu Qstarz BT-Q1200 Ultra	69
Tab. 12 – Výběr výsledků Rychlé statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P I).....	79
Tab. 13 – Výběr výsledků Rychlé statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P II)	80
Tab. 14 – Výběr výsledků Statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P III).....	82
Tab. 15 – Výběr výsledků Statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P IV).....	83
Tab. 16 – Srovnávací výběr vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody - varianta městské zástavby (výsledky v plném rozsahu viz. P V).....	85
Tab. 17 – Srovnávací výběr vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody - varianta volného prostranství (výsledky v plném rozsahu viz. P VI).....	86
Tab. 18 – Výběr výsledků Dynamické metody (výsledky v plném rozsahu viz. P VII).....	87

SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Výsledky Rychlé statické metody – varianta městské zástavby
- PII: Výsledky Rychlé statické metody – varianta volného prostřanství
- PIII: Výsledky Statické metody – varianta městské zástavby
- PIV: Výsledky Statické metody – varianta volného prostřanství
- PV: Srovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody – varianta městské zástavby
- PVI: Srovnání vzájemných výsledků Rychlé statické a Statické metody – varianta volného prostřanství
- PVII: Výsledky Dynamické metody
- PVIII: Ukázka části almanachu některých GPS družic

**PŘÍLOHA P I: VÝSLEDKY RYCHLÉ STATICKÉ METODY –
VARIANTA MĚSTSKÉ ZÁSTAVBY**

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DÉLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	PDO P	HDOP	VDOP	POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	VZDÁLENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
Průměr	50,12964767	14,43254245	347,102	0,061	2,10	1,21	1,69	8,04	10,03	0,23
012000Ultra										
Směrodatná odchylka	00,00002299	00,00001296	003,011	0,141	0,57	0,18	0,60	0,75	0,16	0,36
Rozptyl	00,000000000529	00,000000000168	009,068	0,020	0,33	0,03	0,36	0,56	0,03	0,13
Rozpětí	00,00011556	00,00005954	010,012	0,782	1,58	0,45	1,65	2,00	1,00	2,44
Polohová odchylka ± [m]	2,72									
Průměr	50,12962499	14,43250468	352,575	0,020	2,11	1,25	1,68	7,59	11,29	0,20
01000X										
Směrodatná odchylka	00,00002345	00,00001209	001,441	0,015	0,47	0,13	0,53	0,59	0,57	0,36
Rozptyl	00,000000000550	00,000000000146	002,078	0,000	0,22	0,02	0,29	0,34	0,32	0,13
Rozpětí	00,00010486	00,00006269	006,484	0,085	1,48	0,33	1,64	3,00	2,00	2,46
Polohová odchylka ± [m]	2,75									
Průměr naměřených hodnot	50,12963633	14,43252356	349,638	0,041	2,10	1,23	1,69	7,82	10,66	0,22
Celkový průměr obou										
Průměr směrodatných odchylek	00,00002322	00,00001253	002,226	0,078	0,52	0,15	0,57	0,67	0,37	0,36
Průměr rozptylů	00,000000000539	00,000000000157	005,573	0,010	0,27	0,02	0,32	0,45	0,17	0,13
Průměr rozpětí	00,00011021	00,00006112	008,248	0,434	1,53	0,39	1,65	2,50	1,50	2,45
Průměr polohových odchylek ± [m]	2,74									

PŘÍLOHA P II: VÝSLEDKY RYCHLÉ STATICKÉ METODY – VARIANTA VOLNÉHO PROSTRANSTVÍ

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DĚLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	PDOP	HDOP	V DOP	POUŽÍVANÝCH DRUŽÍČ	POČET VIDĚNÝCH DRUŽÍČ	POČET MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]	VZDÁLENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
01200Ultra											
Průměr	50,16079483	14,44703563	344,606	0,013	1,51	0,93	1,18	9	11	0,09	0,09
Směrodatná odchylka	00,00000291	00,00000626	000,227	0,022	0,15	0,01	0,20	0	0	0,14	0,14
Rozptyl	00,00000000000845	00,0000000000391	000,052	0,000	0,02	0,00	0,04	0	0	0,02	0,02
Rozpětí	00,00001065	00,00001621	001,474	0,108	0,38	0,02	0,49	0	0	0,65	0,65
Polohová odchylka ± [m]	0,55										
01000X											
Průměr	50,16082674	14,44702981	339,902	0,009	1,51	0,93	1,19	9	11	0,04	0,04
Směrodatná odchylka	00,00000342	00,00000387	000,135	0,006	0,14	0,01	0,19	0	0	0,10	0,10
Rozptyl	00,0000000000117	00,000000000150	000,018	0,000	0,02	0,00	0,03	0	0	0,01	0,01
Rozpětí	00,00001561	00,00002040	000,627	0,027	0,38	0,02	0,49	0	0	1,05	1,05
Polohová odchylka ± [m]	0,47										
Celkový průměr obou											
Průměr naměřených hodnot	50,16081079	14,44703272	342,254	0,011	1,51	0,93	1,19	9	11	0,06	0,06
Průměr směrodatných odchylek	00,00000316	00,00000506	000,181	0,014	0,15	0,01	0,19	0	0	0,12	0,12
Průměr rozptylů	00,0000000000101	00,0000000000271	000,035	0,000	0,02	0,00	0,04	0	0	0,01	0,01
Průměr rozpětí	00,00001313	00,00001831	001,051	0,068	0,38	0,02	0,49	0	0	0,85	0,85
Průměr polohových odchylek ± [m]	0,51										

PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDKY STATICKÉ METODY – VARIANTA VOLNÉHO PROSTRANSTVÍ

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DĚLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	PDOP	HDOP	V DOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	VZDALENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
012000Ultra										
Průměr	50,16081643	14,44704486	342,459	0,005	1,69	1,03	1,34	9,22	9,77	0,01
Směrodatná odchylka	00,00000701	00,00000345	000,887	0,027	0,32	0,22	0,24	0,63	0,42	0,06
Rozptyl	00,00000000492	00,00000000119	000,787	0,001	0,10	0,05	0,06	0,40	0,18	0,00
Rozpětí	00,00001774	00,00002311	004,947	0,841	1,10	0,61	1,00	2,00	1,00	1,80
Polohová odchylka ± [m]	0,82									
01000X										
Průměr	50,16082125	14,44703134	342,324	0,013	1,70	1,04	1,35	9,22	10,60	0,00
Směrodatná odchylka	00,00000571	00,00000655	000,934	0,009	0,32	0,23	0,24	0,64	0,95	0,02
Rozptyl	00,00000000326	00,00000000430	000,872	0,000	0,10	0,05	0,06	0,41	0,91	0,00
Rozpětí	00,00001484	00,00002829	003,019	0,081	1,10	0,61	1,00	2,00	3,00	0,26
Polohová odchylka ± [m]	0,79									
Celkový průměr obou										
Průměr naměřených hodnot	50,16081684	14,44703810	342,392	0,009	1,70	1,03	1,35	9,22	10,19	0,01
Průměr směrodatných odchylek	00,00000636	00,00000500	000,910	0,018	0,32	0,22	0,24	0,63	0,69	0,04
Průměr rozptylů	00,00000000409	00,00000000274	000,829	0,000	0,10	0,05	0,06	0,40	0,54	0,00
Průměr rozpětí	00,00001629	00,00002570	003,983	0,461	1,10	0,61	1,00	2,00	2,00	1,03
Průměr polohových odchylek ± [m]	0,80									

PŘÍLOHA P VI: SROVNÁNÍ VZÁJEMNÝCH VÝSLEDKŮ RYCHLÉ STATICKE A STATICKE METODY – VARIANTA VOLNÉHO PROSTRANSTVÍ

	ZEMĚPISNÁ ŠÍŘKA [°]	ZEMĚPISNÁ DĚLKA [°]	NADMOŘSKÁ VÝŠKA [M]	RYCHLOST POHYBU [KM/H]	PDOP	HDOP	VDOP	POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	VZDALENOST MEZI DVĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
Rychlá statická (průměr 01200U a 01000X)										
Průměr	50,16081079	14,44703272	342,254	0,011	1,51	0,93	1,19	9,00	11,00	0,06
Směrodatná odchylka	00,00000316	00,00000506	000,181	0,014	0,15	0,01	0,19	0,00	0,00	0,12
Rozptyl	00,000000000010	00,000000000027	000,035	0,000	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
Rozpětí	00,00001313	00,00001831	001,051	0,068	0,38	0,02	0,49	0,00	0,00	0,85
Polohová odchylka ± [m]	0,51									
Statická (průměr 01200U a 01000X)										
Průměr	50,16081884	14,44703810	342,392	0,009	1,70	1,03	1,35	9,22	10,19	0,01
Směrodatná odchylka	00,00000636	00,00000500	000,910	0,018	0,32	0,22	0,24	0,63	0,69	0,04
Rozptyl	00,000000000041	00,000000000027	000,829	0,000	0,10	0,05	0,06	0,40	0,54	0,00
Rozpětí	00,00001629	00,00002570	003,983	0,461	1,10	0,61	1,00	2,00	2,00	1,03
Polohová odchylka ± [m]	0,80									
Vzájemný rozdíl (Rychlá statická - Statická)										
Průměr naměřených hodnot	-00,00000805	-00,00000537	-000,137	0,002	-0,19	-0,11	-0,16	-0,22	0,81	0,06
Průměr směrodatných odchylek	-00,00000320	00,00000006	-000,730	-0,005	-0,18	-0,22	-0,05	-0,63	-0,69	0,08
Průměr rozptylů	-00,000000000031	00,000000000000	-000,795	0,000	-0,08	-0,05	-0,02	-0,40	-0,54	0,01
Průměr rozpětí	-00,00000316	-00,00000739	-002,933	-0,394	-0,72	-0,59	-0,51	-2,00	-2,00	-0,18
Průměr polohových odchylek ± [m]	-0,29									

PŘÍLOHA P VII: VÝSLEDKY DYNAMICKÉ METODY

Sm. odch. ZEMĚPISNÉ ŠÍŘKY	Sm. odch. ZEMĚPISNÉ DĚLKY	Sm. odch. NADMOŘSKÉ VÝŠKY [M]	Sm. odch. RYCHLOST POHYBU [KMH]	Sm. odch. KURŽU [°]	Průměr PDOP	Průměr HDOP	Sm. odch. HDOP	Průměr VDOP	Sm. odch. VDOP	Průměrný POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	Sm. odch. POČET POUŽÍVANÝCH DRUŽIC	Průměrný POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	Sm. odch. POČET VIDĚNÝCH DRUŽIC	Průměrná VZDÁLENOST MEZIDYĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]	Sm. odch. VZDÁLENOSTI MEZIDYĚMI SNÍMANÝMI BODY [M]
00,00000640	00,000001464	3,140	0,41	1,38	1,65	0,93	0,01	1,36	0,02	8,9	0,08	10,0	0,05	2348,61	0,16
00,00001742	00,00000459	1,063	0,26	0,74	1,66	0,95	0,02	1,35	0,07	8,8	0,13	10,0	0,00	950,10	0,14
00,00000666	00,00000798	0,371	0,12	0,45	1,64	0,92	0,01	1,36	0,00	9,0	0,02	10,0	0,00	434,25	0,11
00,00001415	00,00002190	1,551	0,36	1,03	1,63	0,99	0,05	1,29	0,14	8,5	0,23	10,1	0,13	2999,49	0,19
00,00001907	00,00003492	2,016	0,48	2,62	1,69	1,17	0,12	1,18	0,20	7,9	0,34	10,5	0,68	148,40	0,41

PŘÍLOHA P VIII: UKÁZKA ČÁSTI ALMANACHU NĚKTERÝCH GPS DRUŽIC

```
***** week 612 almanac for PRN-02 *****
ID: 02
Health: 000
Eccentricity: 0.1026344299E-001
Time of Applicability(s): 503808.0000
Orbital Inclination(rad): 0.9388828278
Rate of Right Ascen(r/s): -0.8141796570E-008
SQRT(A) (m 1/2): 5153.689453
Right Ascen at week(rad): -0.7611267567E+000
Argument of Perigee(rad): -2.995997071
Mean Anom(rad): -0.1619998693E+001
Af0(s): 0.3376007080E-003
Af1(s/s): 0.3637978807E-011
week: 612
```

```
***** week 612 almanac for PRN-03 *****
ID: 03
Health: 000
Eccentricity: 0.1419448853E-001
Time of Applicability(s): 503808.0000
Orbital Inclination(rad): 0.9285221100
Rate of Right Ascen(r/s): -0.8069036994E-008
SQRT(A) (m 1/2): 5153.596680
Right Ascen at week(rad): -0.1919411063E+001
Argument of Perigee(rad): 1.089190006
Mean Anom(rad): -0.1521009326E+001
Af0(s): 0.7181167603E-003
Af1(s/s): 0.3637978807E-011
week: 612
```

```
***** week 612 almanac for PRN-04 *****
ID: 04
Health: 000
Eccentricity: 0.9566783905E-002
Time of Applicability(s): 503808.0000
Orbital Inclination(rad): 0.9379844666
Rate of Right Ascen(r/s): -0.8170900401E-008
SQRT(A) (m 1/2): 5153.580078
Right Ascen at week(rad): -0.7437413931E+000
Argument of Perigee(rad): 0.723473072
Mean Anom(rad): 0.1533045292E+001
Af0(s): 0.1211166382E-003
Af1(s/s): 0.1091393642E-010
week: 612
```

[Zdroj: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsAlmanacs>]