

# **Srovnání globálních navigačních satelitních systémů GPS, GALILEO, GLONASS**

Comparison of global navigation satellite systems GPS, GALILEO, GLONASS

Miroslav Palla

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav PALLA**  
Osobní číslo: **A09302**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Srovnání globálních navigačních satelitních systémů  
GPS, Galileo, GLONASS**

Zásady pro vypracování:

1. **Prostudujte doporučenou literaturu a vypracujte literární rešerši na dané téma.**
2. **Popište základní principy fungování navigačních systémů GPS, GLONASS a GALILEO.**
3. **Porovnejte jednotlivé navigační systémy.**
4. **Popište aktuální stav projektu Galileo.**
5. **Vytvořte návrh měřicího řetězce pro testovací měření signálů Galileo.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. MENDIZÁBAL SAMPER, Jaizki; BERENQUER, Roc; MELÉNDEZ, Juan. **GPS & Galileo : dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test.** New York : McGraw-Hill, 2009. 194 s. ISBN 978-0-07-159869-9.
2. BORRE, K. **A software-defined GPS and Galileo receiver : a single-frequency approach.** Boston : Birkhäuser, 2007. 176 s. ISBN 978-0-8176-4390-4.
3. KAPLAN, Elliott D; HEGARTY, C. **Understanding GPS : principles and applications.** 2nd ed. Boston : Artech House, 2006. 703 s. ISBN 1-58053-894-0.
4. SCHMID, Andreas. **Advanced Galileo and GPS receiver techniques : enhanced sensitivity and improved accuracy.** New York : Nova Science Publishers, 2009. 235 s. ISBN 978-1-60741-346-2.
5. OTAKAR ŠVÁBENSKÝ, Josef Weigel, Jan Fixel. **Základy GPS a jeho praktické aplikace.** brno: CERM, 1995. ISBN 8021406208.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Pálka, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2012**

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce jsou globální navigační satelitní systémy. V první části je popsán princip činnosti těchto GNSS systémů z obecného hlediska. Dále jsou zde podrobněji rozebrány tři navigační systémy GPS, GLONASS a GALILEO. Největší část je věnována právě připravovanému systému GALILEO, kde je upřesněn jeho aktuální stav, způsob financování a srovnání s jeho konkurenčními protějšky. V praktické části je navržen vhodný přijímač a software pro komunikaci s tímto navigačním systémem prostřednictvím standardního protokolu NMEA 0183. Zde je v rámci vlastního měření za pomoci obrázků ukázáno, jak lze komunikovat mezi družicemi a přijímačem.

Klíčová slova: GNSS, SBAS, EGNOS, GPS, GLONASS, GALILEO, přijímač NL-602U, u-Blox, u-center, NMEA 0183

## ABSTRACT

Subjects of this work are global navigation satellite systems. There is a principle of GNSS system's functions described from a general point of view in a first part. Further, there are three navigation systems analysed more accurately. Those are GPS, GLONASS and GALILEO. The main focus of this work is dedicated to the GALILEO system, which is being prepared for market at this time and its actual status, way of valuation and mainly its comparison with competitive products will be more specified. An accurate receiver and software for communication with this navigation system is designed in a practical part. An instrumentality of this transformation is designed due to a standard NMEA 0183 protocol. A way how a communication between satellites and receiver is possible is shown in a range of my own measuring and by the help of pictures.

Keywords: GNSS, SBAS, EGNOS, GPS, GLONASS, GALILEO, NL-602U receiver, u-Blox, u-center, NMEA 0183

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Pálkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za poskytnutou psychickou podporu v období bakalářského studia.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 – 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 URČOVÁNÍ POLOHY.....</b>	<b>11</b>
1.1 METODY URČOVÁNÍ POLOHY .....	11
1.1.1 Dálkoměrná metoda .....	11
1.1.2 Úhломěrná metoda .....	12
1.1.3 Kombinace obou .....	13
1.2 URČOVÁNÍ POLOHY PROSTŘEDNICTVÍM DRUŽIC .....	13
1.2.1 Určování vzdálenosti.....	13
1.2.2 Princip výpočtu polohy .....	15
<b>2 GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY (GNSS).....</b>	<b>18</b>
2.1 ROZŠÍŘUJÍCÍ SYSTÉMY GNSS.....	18
2.1.1 SBAS.....	19
2.1.2 GBAS .....	21
2.2 OBECNÁ STRUKTURA GNSS .....	21
<b>3 NAVSTAR GPS.....</b>	<b>23</b>
3.1 HISTORIE SYSTÉMU GPS .....	23
3.2 STRUKTURA SYSTÉMU GPS.....	24
3.2.1 Kosmický segment .....	25
3.2.2 Pozemní segment .....	26
3.2.3 Uživatelský segment .....	28
3.3 SIGNÁLY GPS .....	29
3.3.1 C/A kód .....	30
3.3.2 P-kód .....	31
3.3.3 Y-kód.....	31
3.3.4 Navigační zpráva.....	31
3.3.5 Modernizace systému GPS .....	32
<b>4 GLONASS.....</b>	<b>35</b>
4.1 HISTORIE SYSTÉMU GLONASS .....	35
4.2 STRUKTURA SYSTÉMU GLONASS.....	36
4.2.1 Kosmický segment .....	36
4.2.2 Pozemní segment .....	39
4.2.3 Uživatelský segment .....	41
4.3 SIGNÁLY GLONASS .....	41
4.3.1 SP kód .....	42
4.3.2 HP kód.....	43
4.3.3 Navigační zpráva.....	43
4.3.4 Modernizace systému GLONASS .....	44
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>5 GALILEO .....</b>	<b>46</b>

5.1	HISTORIE SYSTÉMU GALILEO .....	46
5.2	STRUKTURA SYSTÉMU GALILEO.....	47
5.2.1	Kosmický segment .....	48
5.2.2	Pozemní segment .....	52
5.2.3	Uživatelský segment .....	52
5.3	SIGNÁLY GALILEO .....	53
5.3.1	E5a a E5b .....	53
5.3.2	E6 .....	53
5.3.3	E1 – L1 – E2 .....	53
5.3.4	Navigační zpráva.....	54
5.4	POSKYTOVANÉ SLUŽBY .....	56
5.5	AKTUÁLNÍ STAV PROJEKTU .....	56
5.6	CENTRUM GSA V PRAZE .....	57
5.7	FINANCOVÁNÍ PROJEKTU .....	59
<b>6</b>	<b>SROVNÁNÍ GLOBÁLNÍCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>61</b>
6.1	Z HLEDISKA TECHNICKÉHO .....	61
6.2	Z HLEDISKA SLUŽEB .....	63
<b>7</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ SIGNÁLŮ GALILEO .....</b>	<b>65</b>
7.1	PŘIJÍMAČ NAVILOCK NL-602U.....	65
7.1.1	Čipová sada u-Blox 6 .....	66
7.2	SOFTWARE .....	68
7.2.1	U-Center .....	68
7.2.2	Komunikační protokol NMEA 0183.....	70
7.3	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	71
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>



## ÚVOD

V současné době jsou družicové navigační systémy stále diskutovanější a populárnější tématikou. Jejich vývoj většinou sahá již do minulého století a nyní jsou využívány v širokém odvětví jednotlivých oborů. Pro běžného uživatele jsou pomocníkem především v automobilové dopravě a při ochraně svého majetku. V budoucnu budou své uplatnění nacházet stále častěji a to zejména při ochraně života a zdraví.

V následující práci bude čtenáři umožněno nahlédnout do problematiky těchto navigačních systémů. Je zde uvedena jejich základní charakteristika a princip činnosti. Také si řekneme, co jsou to jejich rozšiřující systémy SBAS a jak je mohou využít. Dále jsou zde podrobněji popsány nejznámější družicové systémy GPS, GLONASS a GALILEO. Všechny tři systémy jsou rozebrány z hlediska své historie, struktury, množstvím jednotlivých vysílaných signálů až po plánovanou modernizaci.

Největší část práce je věnována evropskému navigačnímu systému GALILEO připravovaným Evropskou unií a v současné době ne ještě plně funkčním. Ten je na rozdíl od svých předchozích dvou konkurentů budován pro čistě komerční účely a to mu dává velké možnosti v široké škále poskytovaných služeb, které jsou zde podrobněji popsány. Dále je u tohoto systému popsán jeho aktuální stav a jednotlivé fáze financování. V další části práce je věnována kapitola pro srovnání těchto navigačních systémů, kde je vše pro větší přehlednost zobrazeno prostřednictvím tabulky.

V poslední kapitole je navrhnout měřicí systém pro možnou komunikaci s navigačními družicovými systémy včetně GALILEA a podpůrnými systémy SBAS. Je zde navrhnout optimální přijímač a volně přístupný software pro komunikaci přijímače s družicemi. V části vlastního měření je vše názorně předvedeno na vybraných družicích prostřednictvím standardního komunikačního protokolu NMEA. Jsou zde ukázány také rozdíly v přesnosti navigace jak v zástavbové oblasti, tak ve volném prostranství a s podporou systému EGNOS.

Po přečtení této práce by si čtenář měl osvojit základní znalosti v oblasti družicových navigačních systémů, seznámit se s jejich nejznámějšími zástupci, nahlédnout do vzájemné komunikace mezi přijímačem a družicemi a dozvědět se něco o plánované budoucnosti v oblasti družicové navigace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 URČOVÁNÍ POLOHY

V dnešní moderní době, kdy se lidé začínají pohybovat z místa na místo prostřednictvím nejrůznějších dopravních prostředků, se u nich začíná objevovat potřeba co nejpřesněji určit svoji polohu a případně se umět i v prostoru navigovat. Například v námořní dopravě bylo umění navigace velmi důležité už před několika stoletími. Již v té době jim k těmto účelům sloužily různé prostředky a metody. Některé z nich se používají dodnes.

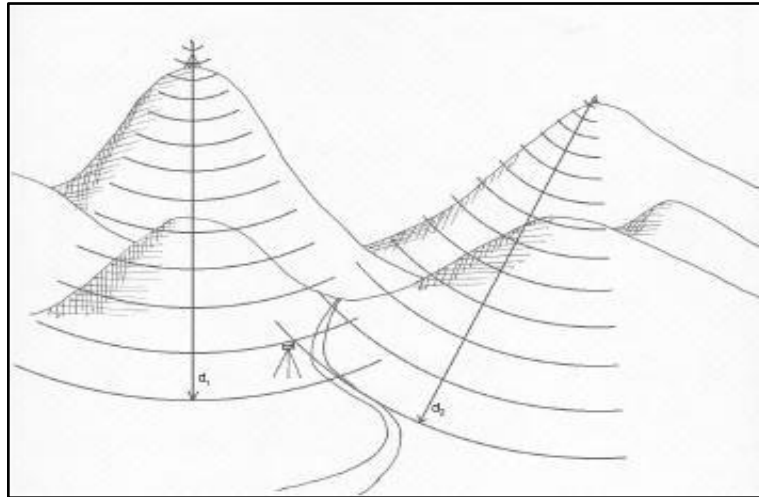
### 1.1 Metody určování polohy

Pro určení polohy objektu v prostoru se využívá metod přímého nebo nepřímého měření. V případě nepřímého měření je vzdálenost k objektu odměřena přímo k jinému známému bodu (např. silnici, železnici, budově apod.). V případě použití metody nepřímého měření se místo přímého odměření vzdálenosti od jiného objektu používá měření pomocí jiných veličin, které jsou dále matematicky zpracovány některou z těchto tří metod:

- Dálkoměrná metoda
- Úhломěrná metoda
- Kombinace obou

#### 1.1.1 Dálkoměrná metoda

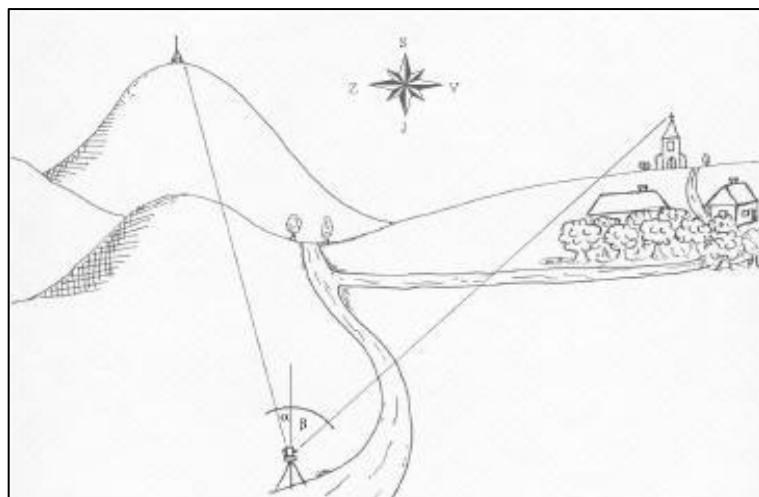
Dálkoměrnou metodou se určuje poloha objektu na základě měření pomocí radiových signálů s přesnými daty polohy vysílače. Na jejich základě přijímač změří vzdálenost od měřeného objektu a určí svoji polohu. Ta se nachází na bodech kružnice se středem vysílače a poloměrem naměřené vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Takový způsob měření platí pro dvourozměrný prostor. V případě určení polohy trojrozměrného prostoru musíme přijímačem měřit vzdálenost nejméně ke dvěma vysílačům. Tím nám vzniknou dvě kružnice, které se protnou ve dvou bodech. To nám však ještě pro přesné určení polohy nestačí, a proto potřebujeme znát další doplňující informace ve formě dalšího měření [1].



Obrázek 1 Určování polohy dálkoměrnou metodou [1]

### 1.1.2 Úhломěrná metoda

Zjištění polohy objektu pomocí úhlové metody je ve dvojrozměrném prostoru velmi jednoduché. V bodě, ve kterém polohu chceme určit, změříme azimuty<sup>1</sup> k bodům, které chceme lokalizovat. Na mapě zakreslíme k lokalizačním bodům přímky, jejichž úhly měřené od severu odpovídají úhlům námi naměřenými. Naše poloha se potom nachází v průsečíku těchto dvou přímek. V trojrozměrném prostoru je tato metoda znatelně složitější a méně přesnější. Z tohoto důvodu se příliš nerozšířila [14].



Obrázek 2 Určování polohy úhlovou metodou [1]

---

<sup>1</sup> Orientované úhly svírající určitý směr k severnímu pólu.

### 1.1.3 Kombinace obou

Při využití kombinací dálkoměrných a úhломěrných měření se při určování polohy nejčastěji využívá radaru nebo měřicí stanice. Vlastní měření je v takovém případě provedeno dvěma způsoby [1]:

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

## 1.2 Určování polohy prostřednictvím družic

Všechny moderní družicové systémy pracují jako pasivní, jelikož vysílají radiové signály obsahující časové údaje a údaje o poloze družic, které přijímač pouze přijímá, nikoliv vysílá a na jejich základě určí přesnou polohu. Zpravidla se dá říci, že se jedná o dálkoměrné radiové družicové systémy. Pro správné určení polohy je velmi důležité přesně synchronizovat čas na vysílači (družice) a přijímači (např. přijímač GPS). To nám následně pomůže pro přesné určení vzdálenosti mezi družicí a přijímačem, což je pro přesný výpočet polohy nezbytné. O synchronizaci hodin se starají atomové hodiny umístěné přímo v družici. Každá družice má proto více atomových hodin, ať už cesiové, nebo rubidiové.

### 1.2.1 Určování vzdálenosti

Přijímač určí pomocí radiového signálu nejprve vzdálenost k několika družicím a následnou polohu vypočítá protínáním kulových ploch metodou zvanou trilaterace.

Pro přesné určení vzdálenosti mezi přijímačem a družicí se používá některé z následujících měření:

- *Kódové měření*

Kódová metoda měření je pro svoji jednoduchost a vysokou spolehlivost nejčastěji používanou metodou u většiny globálních navigačních systémů. Princip spočívá ve zpracování časových značek radiového signálu vysílaného družicí pomocí dálkoměrných

kódů. Přijímač na jejich základě vyhodnotí přibližnou vzdálenost (tzv. pseudovzdálenost<sup>2</sup>) od družice podle vzorce:

$$d_i = \Delta t * c$$

kde:  $d_i$  je pseudovzdálenost,

$c$  je rychlost šíření radiových vln a

$\Delta t$  je časový rozdíl mezi přijímačem a vysílačem.

Na základě předchozího vzorce lze odvodit dosažitelnou přesnost polohy. Frekvence dálkoměrných kódů se pohybuje v jednotkách případně v desítkách megahertzů pro lepší přesnost. Tomu odpovídají vlnové délky 300 m případně 30 m při reálné dosažitelné přesnosti 1-2 % vlnové délky. Potom lze vypočítat dosažitelnou přesnost 3 až 6 m v případě vlnové délky 300 m a 0,3 až 0,6 m v případě vlnové délky 30 m. Vypočítaná přesnost je za ideálního stavu, kdy nejsou zahrnuty atmosférické vlivy a vlivy způsobené nepřesnostmi hodin. V takovém případě by byla přesnost mnohem menší [1].

- **Fázové měření**

Fázové měření vzdálenosti nepracuje na principu dálkoměrných kódů, ale využívá možnosti zpracování nosné vlny a spočítání jejich vlnových délek mezi přijímačem a vysílačem. Metoda funguje za předpokladu, že předem známe počet vlnových délek a v daný okamžik měření jsme jej schopni určit, a tím vypočítat vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem. Počet se skládá z celočíselného násobku nosných vln, jenž se určuje velmi obtížně a z desetinné části, kterou je přijímač schopen určit mnohem přesněji. Tím vznikne určitá nepřesnost, která se nazývá celočíselná nejednoznačnost rovnající se počtu vlnových délek na počátku měření. Ta se odstraní až vlastním zpracováním přijímačem.

Je důležité zajistit co nejlepší podmínky proti přerušení signálu a tím přesnější zpracování celočíselných násobků nosné vlny. V takovém případě je metoda velmi přesná a praktikovaná například pro měření v geodézii [1].

---

<sup>2</sup> Zdánlivá neboli nepřesná vzdálenost přijímače od družice způsobena nepřesnostmi hodin přijímače.

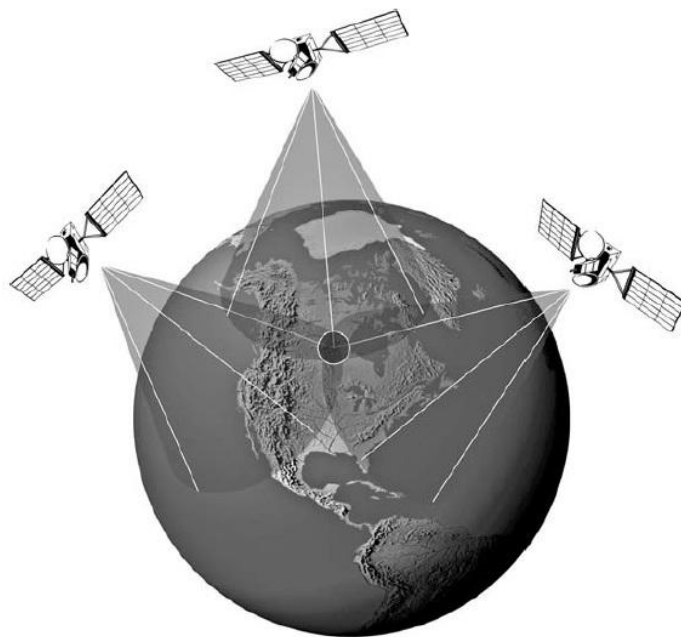
- *Dopplerovo měření*

Dopplerova metoda měření spočívá v určení polohy za využití principu Dopplerova jevu, kde se při změně pohybu zdroje vysílaného signálu mění frekvence signálu přijímaného. V praxi to vypadá tak, že satelit vysílá signál o známé frekvenci a přijímač po určité době měření je schopen rozpoznat změnu frekvence. Pomocí této změny lze následně určit jak rychlost, kterou se přijímač pohybuje, tak jeho polohu.

Metoda se používá nejčastěji pro měření ve dvojrozměrném prostoru, především při námořní navigaci, kde takové jednoduché měření je zcela postačující. V trojrozměrném prostoru je princip složitější.

### 1.2.2 Princip výpočtu polohy

Pro výpočet polohy se u dosavadních družicových navigačních systémů používá metody zvané trilaterace (obrázek 3). V praxi to funguje tak, že přijímač si nejprve vypočte vzdálenost od několika družic a následně pomocí čtyř rovnic o čtyřech neznámých vypočítá svoji polohu.

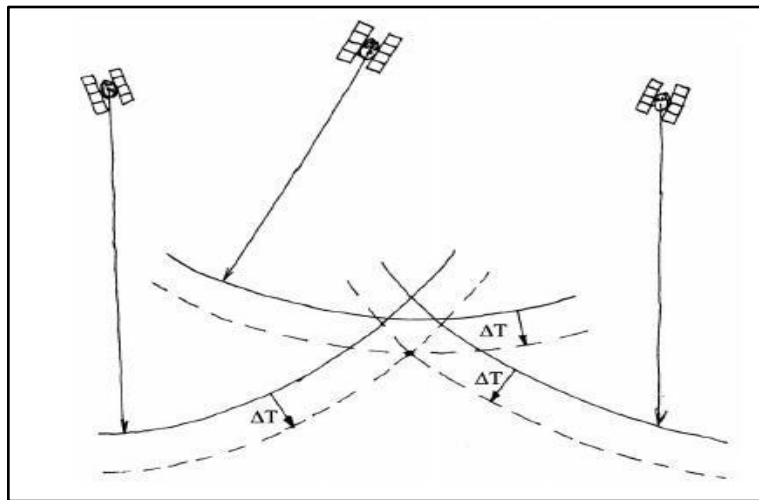


Obrázek 3 Princip trilaterace [18]

Pro výpočet polohy v ideálních podmínkách by nám stačily pouze tři rovnice o třech neznámých ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Tyto neznámé nám představují osy  $x$ ,  $y$ ,  $z$  jako souřadnice přijímače. Tedy zeměpisnou šířku, délku a nadmořskou výšku. V běžných podmínkách je však nutné přidat ještě čtvrtou neznámou. To je z důvodu eliminace vlivů prostředí a dalších

náhodných vlivů, které negativně ovlivňují šíření radiových signálů. (např. při průchodu signálu ionosférou, náhodným šumem, odrazem signálu apod.). Touto neznámou je  $\Delta t$ , což je časový posun hodin přijímače vůči času systémovému (viz. Kódové měření).

V případě, kdybychom do výpočtu nezavedli časový posun  $\Delta t$ , tak by se kruhové plochy pro výpočet polohy neprotknuly v jednom bodě, ale vznikl by trojúhelník s jistou nepřesností. Tato nepřesnost je zobrazena na obrázku 4. Nyní však máme čtyři neznámé. Proto musíme soustavu rovnic doplnit ještě o další měření pomocí čtvrté rovnice.



Obrázek 4 Vliv časového posunu na přesnost měření [1]

Nyní máme čtyři rovnice o čtyřech neznámých [1]:

$$r_1 = \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 + (Z - z_1)^2} - c * \Delta t$$

$$r_2 = \sqrt{(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + (Z - z_2)^2} - c * \Delta t$$

$$r_3 = \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 + (Z - z_3)^2} - c * \Delta t$$

$$r_4 = \sqrt{(X - x_4)^2 + (Y - y_4)^2 + (Z - z_4)^2} - c * \Delta t$$

kde:  $r_1 - r_4$  je vzdálenost přijímače k jednotlivým družicím,

$X, Y, Z$  jsou souřadnice přijímače,

$x_i, y_i, z_i$  jsou souřadnice jednotlivých družic v době měření získaných z navigační zprávy,

$\Delta t$  je časový rozdíl mezi časem přijímače a časem systémovým a

$C$  je rychlost světla.



Vyřešením této soustavy rovnic dostaneme výslednou polohu v geocentrických souřadnicích, které mohou být převedeny dle potřeby do kteréhokoliv kartografického zobrazení.

Metody trilaterace se využívá u globálních navigačních satelitních systémů, jako jsou GPS, GLONASS a GALILEO.

## 2 GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY (GNSS)

Zkratkou GNSS (Global Navigation Satellite System) jsou označovány Globální navigační satelitní systémy pro autonomní určování polohy, které za pomoci družic obíhajících na oběžné dráze jsou schopny zaměřit polohu objektu kdekoliv na Zemi. Zaměření jsou schopny provést s přesností na několik desítek metrů a ve speciálních případech až centimetrů. Vysoká přesnost je určena především pro speciální aplikace v některých odvětvích civilního sektoru, nebo pro sektor vojenský.

V současné době je plně funkční americký navigační systém NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) označován zkráceně GPS a částečně ruský navigační satelitní systém GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) provozovaný ruskou armádou. Mezi další systémy patří evropský navigační systém GALILEO, o jehož financování se stará Evropská unie. Ten však v současné době ještě není plně funkční, ačkoliv jeho uvedení do provozu bylo naplánováno již v roce 2010. O všech těchto třech navigačních systémech pojednávají podrobněji jednotlivé kapitoly.

V některých literaturách se můžeme setkat s rozdělováním na dvě generace:

1. GNSS 1, do které patří navigační systémy GPS a GLONASS a jejich podpůrné systémy SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) a GBAS (Ground Based Augmentation Systems). Tyto dva rozšiřující systémy jsou probrány v následující kapitole.
2. GNSS 2, kde zařadíme systém GPS III<sup>3</sup>, GALILEO a čínský COMPASS označován také BEIDOU-2 (angl. Beidou Satellite Navigation System).

### 2.1 Rozšiřující systémy GNSS

Pro potřebu větší přesnosti a dostupnosti globálních družicových navigačních systémů vznikly jejich regionální rozšiřující systémy. Jejich úkolem je kontrolovat především stav atmosféry v určité oblasti a poskytovat o tom podrobné a přesné informace. Na jejich

---

<sup>3</sup> Vylepšení dosavadního systému GPS o další pozemní stanice a nové družice za účelem lepší dostupnosti a přesnosti.

základě jsou dopočítávány korekční údaje a tyto údaje jsou následně poskytnuty navigačnímu systému pro další zpracování. Tím je dosažena především vysoká přesnost.

Mezi rozšiřující systémy GNSS patří:

- SBAS
- GBAS

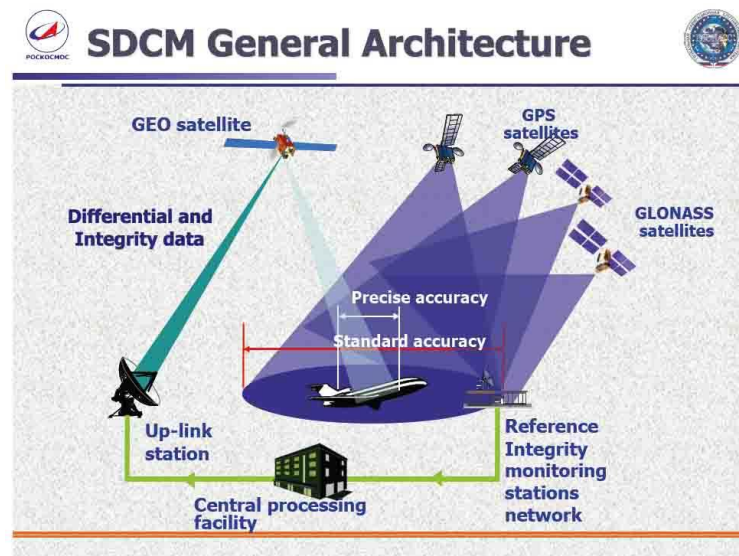
### 2.1.1 SBAS

SBAS je obecným názvem pro systém rozšiřující pozemní a kosmický segment GNSS o další tzv. GEO<sup>4</sup> družici (Geosynchronous satellite) a další pozemní monitorovací zařízení. Družice je umístěna na geostacionární dráze a její doba oběžné dráhy kolem Země za den je srovnatelná s dobou otáčení Země. Tím se dosáhne dojmu, jako by družice stála na jednom místě. Účelem celého systému je monitorovat aktuální stav kosmického segmentu a stav ionosféry<sup>5</sup>. Při zkreslení nebo zpoždění signálu při průchodu ionosférou může být časový údaj hodin družice nepřesný, což je pro určení přesné polohy nevyhovující. Tyto údaje, které mají negativní vliv na určení přesné polohy, jsou následně opraveny a prostřednictvím tzv. stanic NLES (Navigation Land Earth Station) předány dále prostřednictvím satelitů zpět uživateli. Tím se zvýší celková přesnost určení polohy v horizontální rovině na 1-2 m a ve vertikální rovině na 2-4 m.

---

<sup>4</sup> Družice rozšířeného satelitního systému určena pro přesnější výpočet polohy.

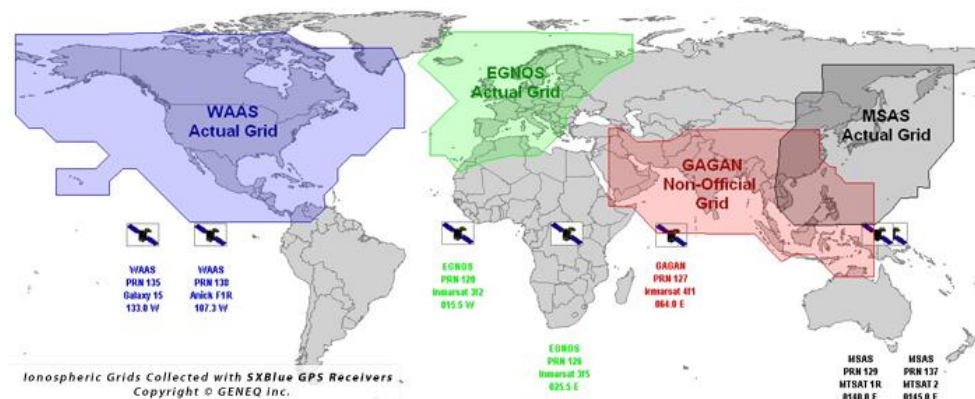
<sup>5</sup> Ionosférou se označuje ionizovaná část atmosféry, která ovlivňuje šíření elektromagnetických signálů.



Obrázek 5 Princip funkce SBAS [3]

Mezi tyto systémy patří:

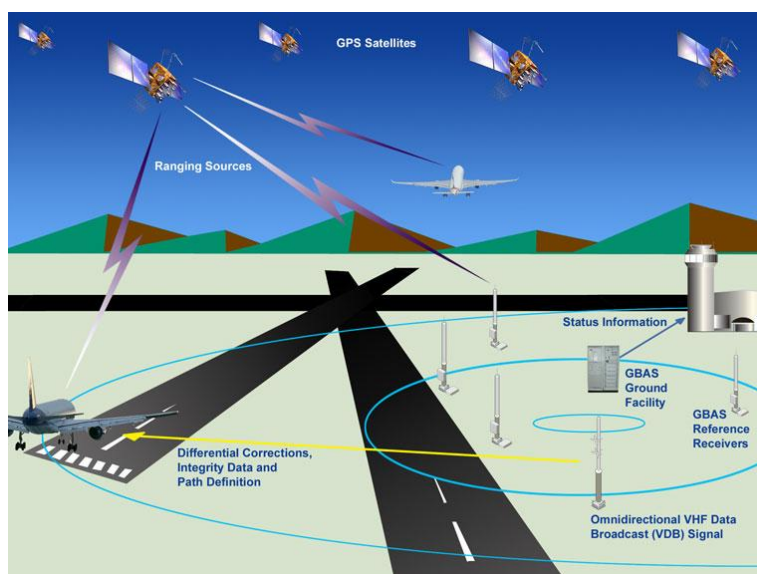
- WAAS (Wide Area Augmentation System) provozovaný v USA (United States of America),
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) provozovaný Evropou,
- GAGAN (GPS Geo Augmented Navigation) v Indii,
- MSAS (Multifunctional Satellite Augmentation System) v Japonsku,
- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) v Japonsku,
- SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) provozovaný v Číně,
- SDCM (System of Differential Correction and Monitoring) v Rusku.



Obrázek 6 Mapa některých systémů SBAS [4]

### 2.1.2 GBAS

GBAS je obecný název pro pozemní rozšiřující systém GNSS sloužící pro manévry letadel v okolí letiště zejména při přiblížení a přistávání. Systém byl dříve označován jako systém LAAS (Local Area Augmentation System) provozovaný v USA. Až později jej celosvětová komunita přijala jako oficiální termín pro tento typ navigace. Skládá se ze čtyř lokálních přijímacích stanic, které jsou rozmístěny v okolí letiště o poloměru 20 až 30 mil. Nápravné signály jsou vysílány ve velmi krátkých vlnách a jsou schopny zajistit velmi vysokou dostupnost a přesnost do jednoho metru v horizontální i vertikální poloze [5].



Obrázek 7 Princip funkce GBAS [5]

## 2.2 Obecná struktura GNSS

Všechny dosavadní globální navigační systémy jsou natolik podobné, že jejich základní struktura je obdobná.

Skládá se ze tří hlavních segmentů:

- **Kosmický segment** tvořený družicemi obíhajícími po oběžné dráze kolem Země a zajišťující vysílání radiových signálů prostřednictvím vysílacích antén.
- **Pozemní a řídicí segment** zodpovědný za funkci celého navigačního systému. Prostřednictvím něho jsou přijímány radiové signály z družic, které jsou dále zpracovávány v řídicím centru a využity pro bezproblémový chod systému. Dalo by se říci, že pozemní segment kontroluje a řídí celý systém. Mezi jeho důležité úkoly patří také korekce systémového času.

- **Uživatelský segment** tvořen pozemními přijímači schopnými zpracovat družicové signály a následně vypočítat svoji polohu a provést navigaci.

Jednotlivé segmenty každého navigačního systému jsou popsány podrobněji v jeho jednotlivých kapitolách.

### 3 NAVSTAR GPS

Americký vojenský navigační systém GPS je nyní nejrozšířenějším globálním navigačním systémem. V současné době je provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických a patří mezi jediné delší dobu funkční družicové systémy. Jeho počátky sahají již do šedesátých let minulého století a v současnosti probíhají stále rozsáhlé modernizace.

#### 3.1 Historie systému GPS

Předchůdcem systému GPS byl americký navigační systém TRANSIT<sup>6</sup>, který byl v polovině šedesátých let vyvíjen vojenským námořnictvem USA. Později bylo ministerstvem obrany rozhodnuto o přiřazení systému vzdušným silám Spojených států amerických a o pokračování jeho vývoje pod novým názvem NAVSTAR. Celý vývoj až dodnes probíhal ve čtyřech etapách:

**První etapa** probíhala v letech 1973 - 1979 a byla zaměřena na ověření základních principů činnosti systému. Nejprve byly provedeny pozemní testy určené pro ověření možnosti třírozměrné navigace v reálném čase. Nad testovacím polygonem v Arizoně byly umístěny pozemní vysílače, jež vysílaly stejné signály jako budoucí družice. Signály následně zachytávaly a ověřovaly prolétávající stíhačky vybavené přijímačem. Poté se pokusy přenesly do kosmického prostoru [1].

V roce 1974 byl na orbit vynesena pomocí nosné rakety ATLAS-E<sup>7</sup> první prototyp nesoucí atomové hodiny pod názvem NAVSTAR NTS-1 (Navigation Technology Satellite 1) a jeho úkolem bylo ověřit navigační technologie.

V roce 1978 byly vypuštěny první čtyři vývojové navigační družice Blok I, které byly na oběžných drahách rozmístěny tak, aby umožňovaly příjem trojrozměrné navigace opět v testovací oblasti v Arizoně [1].

**Druhá etapa** proběhla v letech 1979 - 1985. V tomto období byla vybudována řídicí střediska a byl zahájen vývoj družic Bloku II. Následně byl zahájen vývoj a ověřovací testy

---

<sup>6</sup> První družicový navigační systém známý pod označením NAVSAT (Navy Navigation satellite System) vyvinut americkou armádou USA v letech 1958-1963. Byl určen pro vojenské účely a používán do konce šedesátých let.

<sup>7</sup> Sloužila nejprve jako hlavní americká balistická střela a později používána jako první stupeň nosných raket.

přijímačů GPS, které byly testovány nejen na testovacím polygonu, ale také při námořních operacích [1].

**Třetí etapa** probíhala od roku 1985 do 17. července 1995. V této etapě byl uzavřen kontrakt na výrobu 29 družic bloku II. První družice z nich byla vypuštěna v únoru roku 1989 a provozuschopného stavu dosáhla 10. prosince 1989. Družice nejprve doplňovaly a později nahrazovaly družice Bloku I. Stav, kdy bylo možné provádět třírozměrnou navigaci 24 hodin denně, bylo dosaženo v roce 1993. Družice Bloku II v pořadí 10 až 29 prošly zdokonalením a byly označeny jako družice Bloku IIA, které byly schopny pracovat nepřetržitě po dobu 180 dní bez navázání komunikace s řídicím segmentem. Následně byl uzavřen kontrakt na vývoj a výrobu dalších družic Blok IIR. Družice byly schopny nejen samostatného provozu po dobu 180 dní, ale také komunikace mezi sebou navzájem a tím určovat svoji vzájemnou vzdálenost. To byla možnost jak detekovat nežádoucí stavy a signalizovat je uživatelům bez zásahu řídicího segmentu. Počátečního operačního<sup>8</sup> stavu bylo dosaženo 8. prosince 1993 [1].

**Čtvrtá etapa** probíhá od 17. července 1995 do současnosti. V tomto období probíhá všeobecný provoz a využívání systému GPS. Jsou budovány další doplňkové služby zejména pro zlepšení navigačních vlastností pro potřeby civilního letectví popsány v kapitole *Rozšiřující systémy GNSS*. V roce 1999 byl podepsán kontrakt na vývoj a výrobu první série družic Bloku IIF, které měly umožňovat rozšíření vysílaných signálů [1].

V současné době je rozhodováno o záměru snížení počtu družic Bloku IIF a nahrazení je nejnovějšími družicemi Bloku III. Tyto družice by měly přinést lepší odolnost proti rušení vojenského M-kódu a větší počet signálů pro civilní sektor. Nesmíme ani opomenout možnou kompatibilitu s evropským navigačním systémem GALILEO. První družice by měly být vypuštěny v roce 2014 a zvýšit tak přesnost navigace systému až na 1 metr z nynějších 3 metrů.

### 3.2 Struktura systému GPS

Systém GPS je tvořen třemi základními segmenty:

---

<sup>8</sup> Stav kdy v kosmickém segmentu je plně funkčních všech 24 družic.



- Kosmický segment SS (Space Segment)
- Pozemní segment CS (Control Segment)
- Uživatelský segment US (User Segment)

### 3.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment systému GPS je tvořen soustavou družic obíhajících po kruhových drahách na střední oběžné dráze MEO<sup>9</sup> (Medium Earth Orbit) ve vzdálenosti 20 200 km od povrchu Země. Oběžných drah je celkem 6 vzájemně mezi sebou posunutých o 60° se sklonem k rovníku 55°. Projekt byl původně naplánován na 24 družic z toho 21 aktivních a 3 záložní. Na každé dráze měly být pravidelně rozmístěny 4 družice. Nyní je skutečnost taková, že na drahách je nepravidelně rozmístěno 5 až 6 družic. Všechny družice obíhají kolem Země rychlostí 3,8 km/s s dobou obletu 11h 58min.



Obrázek 8 Kosmický segment GPS [6]

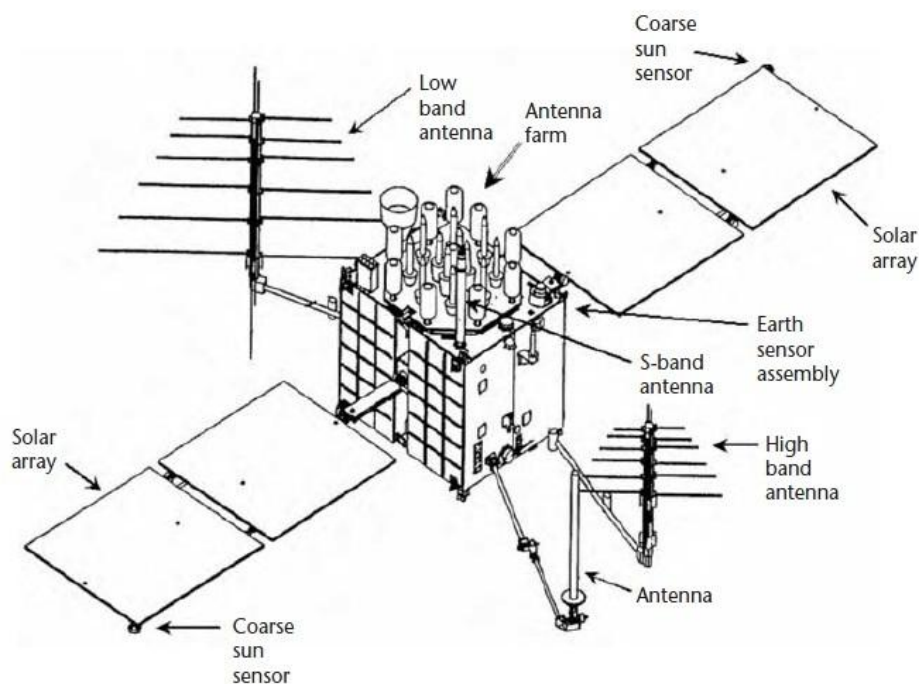
Družice jsou zkonstruovány tak, aby pasivně vysílaly signály směrem k uživatelům, kontrolním střediskům a byly schopny komunikovat mezi sebou. Byly vyráběny a postupně vynášeny na oběžnou dráhu již od roku 1978 až po současnost pod označením Blok I až nejnovější, zatím pouze testovací, Blok III. Všechny družice jsou pro lepší přehlednost zobrazeny v tabulce 1 v podkapitole *Modernizace systému GPS*.

---

<sup>9</sup> Oblast prostoru kolem Země v nadmořské výšce přibližně 2000 km až 35 000 km.

Klíčovými částmi družic NAVSTAR jsou [7]:

- 3 až 4 velmi přesné rubidiové atomové hodiny (dříve cesiové),
- 12 antén pro vysílání radiových kódů v pásmu L (2000 – 1000 MHz),
- antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi,
- antény pro vzájemnou komunikaci mezi družicemi,
- speciální detektory pro detekci startu balistických raket případně nukleárních výbuchů (u novějších typů družic),
- solární panely a baterie pro zdroj energie.



Obrázek 9 Komponenty družic BLOK IIR [6]

### 3.2.2 Pozemní segment

Pozemní neboli také řídicí segment slouží pro monitorování a kontrolu celého stavu kosmického segmentu. Pomocí navigačních zpráv vysílaných družicemi koordinuje manévry družic a upravuje časové odchylky atomových hodin.

Hlavní části segmentu [7][8]:

- Monitorovací stanice MS (Monitoring Stations)
- Hlavní řídicí stanice MCS (Master Control Station)
- Komunikační stanice GA (Ground Antenna)

**Monitorovací stanice MS** pracují automaticky a určují zdánlivé vzdálenosti k družicím, které spolu s přijatými navigačními zprávami předávají do hlavní řídicí stanice k dalšímu zpracování.

V současnosti je jich 18 a jsou umístěny na základnách USAF<sup>10</sup>:

- Havaj, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a nyní také na NGA: Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland).

**Hlavní řídicí stanice MCS** se nachází na letecké základně Schriever USAF v Colorado Springs. Jejím úkolem je řídit pozemní monitorovací stanice MS a zpracovávat jimi zasláná data, která následně přenesou na komunikační stanice GA k odeslání.

**Komunikační stanice GA** slouží pro zasílání opravených korekčních údajů jednotlivým družicím.

Jsou 3 a nachází se také na základnách USAF:

- Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i Cape Canaveral.



Obrázek 10 Řídicí a monitorovací stanice pozemního segmentu GPS [8]

---

<sup>10</sup> United States Air Force neboli letectvo spojených států amerických.

### 3.2.3 Uživatelský segment

Strukturu uživatelského segmentu tvoří jednotlivé přijímače GPS, které jsou schopny zachytit a následně zpracovat signály z jednotlivých družic. Z těchto signálů musí následně podat informace o své poloze a času. Přijímače pracují tzv. pasivně. To znamená, že signály pouze přijímají a nevysílají. Díky tomuto pasivnímu způsobu komunikace přijímačů s družicemi je možno systémem GPS obsluhovat neomezený počet uživatelů.

Přijímač GPS se skládá z těchto základních prvků:

- antény (naladěné na přijímanou frekvenci),
- předzesilovače,
- procesoru,
- komunikačního rozhraní,
- časové základny (křemíkový krystal),
- programového vybavení,
- zobrazovacího zařízení nebo bez něj (např. displej).

Jednotlivé přijímače se vyrábějí v různých provedeních lišících se podle:

- počtu přijímaných frekvencí (jednofrekvenční, dvoufrekvenční a připravující se vícefrekvenční pro pásmo L5),
- podle počtu kanálů (jednokanálové a vícekanálové),
- podle principu měření (kódové a fázové + kódové).

Podle způsobu použití přijímače rozlišujeme [9]:

- *Letecké GPS přijímače* používané pro účely navigace a stanovení výšky letu.
- *Lodní GPS přijímače* určené výhradně pro navigaci.
- *Kosmické GPS přijímače* používané pro družicovou navigaci a stanovení výšky letu.
- *Ruční GPS přijímače* určené ke speciálním účelům např. navigaci malých letadel a pozemní navigaci.
- *Mapovací GPS přijímače* používané pro získávání podkladů při tvorbě map.
- *Měřicí GPS přijímače* pro přesné geodetické měření.
- *Časové GPS přijímače* pro přesné stanovení času (jednouúčelové).
- *OEM moduly* určené pro zabudování do jiných zařízení a testovací účely.
- *PC karty*.



Obrázek 11 Přijímače GPS [10]

### 3.3 Signály GPS

V současné době každá družice vysílá signály na dvou nosných frekvencích, přičemž využívá základní frekvenci  $f_0 = 10.23$  MHz. Tato frekvence je odvozena od frekvence atomových hodin, která má ve skutečnosti přesnost 10.22999999543 MHz. Pro eliminaci relativistických efektů způsobených pohybem družic je tato frekvence upravena na základní frekvenci 10.23 MHz. Po vynásobení základní frekvence násobkem 154 a 120 nám vzniknou dvě nosné frekvence L1 a L2 [11].

- L1 = 1575,42 MHz (vlnová délka 19 cm)
- L2 = 1227,60 MHz (vlnová délka 24 cm)

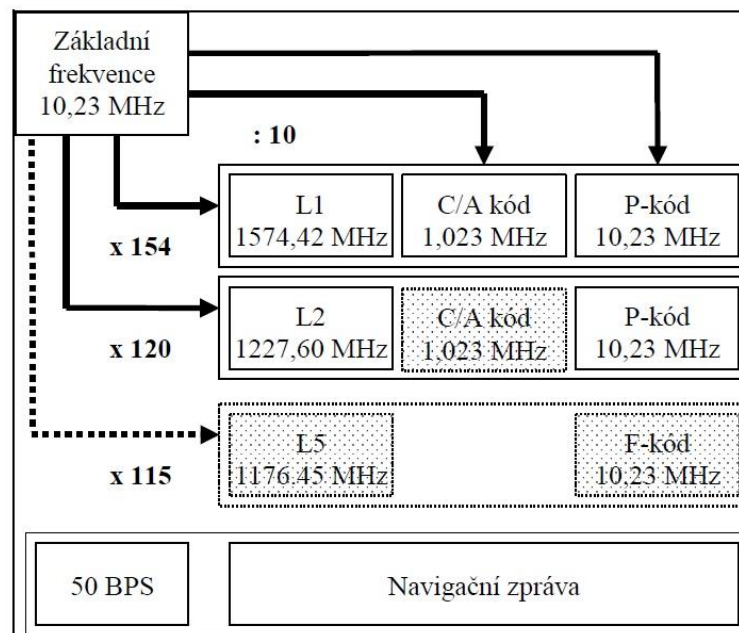
Při přenosu bitového toku se využívá metody tzv. fázové modulace PM (Phase Modulation) s binárním klíčováním BPSK<sup>11</sup> (Binary-Phase Shift Keying). V praxi to funguje tak, že jedna nosná vlna nese jeden bit, který je označen změnou fáze nosné vlny o 180°. Jednotlivé signály z družic jsou před vysláním modulovány pseudonáhodnou posloupností kódů s hodnotami +1 nebo -1 tzv. pseudonáhodnými šumy (PRN<sup>12</sup> – Pseudo Random Noise). K rozlišení jednotlivých signálů vysílaných družicemi na stejné frekvenci

<sup>11</sup> Fáze nosné vlny se změní pokaždé, pokud je modulační kód změněn z logické 0 na 1 nebo naopak.

<sup>12</sup> Binární signál mající vlastnosti obdobné jako šum, generován podle pevného algoritmu z posloupnosti opakujících se nul a jedniček.

se používá metody CDMA<sup>13</sup> (Code Division Multiple Access). Tím se zaručí, že každá družice má svůj jedinečný a nezaměnitelný PRN kód [13].

Pro frekvenci L1 je to C/A kód a P-kód. Pro frekvenci L2 je to pouze P-kód. Obě nosné frekvence musí přenášet také binární kód obsahující navigační zprávu, která obsahuje nejen parametry dráhy družice, ale i další nezbytné doplňující informace.



Obrázek 12 Přehled signálů GPS [1]

### 3.3.1 C/A kód

Pseudonáhodný tzv. PRN kód C/A (Coarse/Acquisition Code) je vysílán pouze na nosné frekvenci L1 a je složen z jasně definované posloupnosti 1023 bitů. Jeho vysílaná rychlost je 1,023 Mbit/s opakující se tedy každou milisekundu. Každá družice má svůj identický kód. Rovnice pro dekódování kódu jsou nešifrované a všeobecně známé. C/A kód je určen především pro civilní účely a dá se nazvat jako základní standardní kód pro polohové služby.

<sup>13</sup> Novější metoda, při které jednotlivé družice vysílají jedinečný PRN kód na stejné frekvenci. Ještě před odvysíláním musí být kód podroben dalšímu kódování typickým pro každého uživatele.

### 3.3.2 P-kód

P-kód (Precision Code) je dalším PRN kódem přenášeným pomocí L2 frekvence. Jeho celková délka je přibližně 266 dnů (tj. 38,058 týdnů) a je rozdělen na sedmidenní sekvence s přiřazením jednu sekvenci pro každou družici. Rovnice pro jeho dekodování jsou všeobecně známé a nejsou šifrované. Kód umožňuje, díky své větší délce a možnostem měřit na obou nosných frekvencích, určit zdánlivou vzdálenost mezi družicí a přijímačem s větší přesností a tím omezit negativní vliv průchodu ionosférou [1].

### 3.3.3 Y-kód

Y-kód je v podstatě pouze zašifrovaný P-kód. Jeho rovnice pro dekodování jsou tajné a znají je pouze autorizovaní uživatelé. Detaily algoritmu kódu podléhají přísnému vojenskému utajení a v případě ohrožení lze pomocí tohoto kódu znemožnit použití navigačního systému GPS.

### 3.3.4 Navigační zpráva

Navigační zpráva je vysílána zvlášť signálem na obou nosných vlnách. Její délka je 25 rámců rozdělených na 5 podrámců a její odvyšování trvá 12,5 minuty. Je důležitá z hlediska přesného určení polohy přijímačem. Její obsah se skládá především z parametrů oběžné dráhy dané družice a celé řady informací obsahující jednotlivé podrámcce.

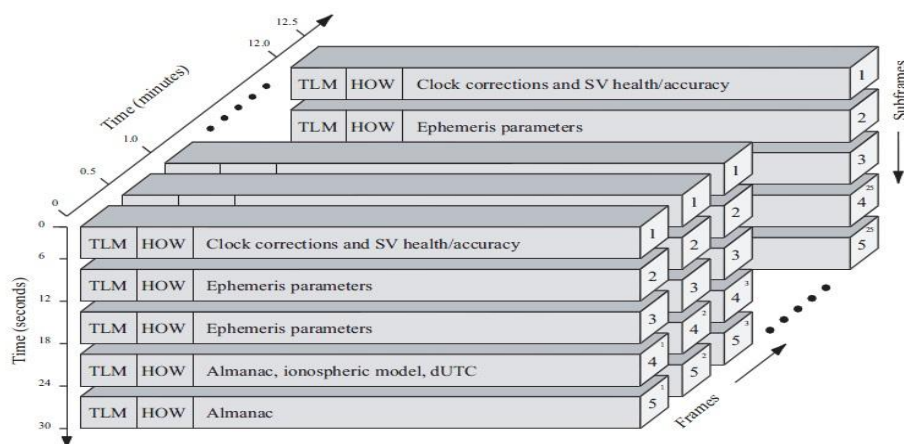
Každý z těchto podrámců obsahuje:

- první podrámeček obsahuje časovou referenci GPS, korekci atomových hodin a zdravotní stav družice,
- druhý podrámeček parametry efemerid první část,
- třetí podrámeček parametry efemerid druhá část,
- čtvrtý podrámeček almanach<sup>14</sup> a zdravotní stav družic 25-32, data pro ionosférický model a stav vysílání režimu AntiSpoofing<sup>15</sup>,
- pátý podrámeček almanach a zdravotní stav družic 1-24.

---

<sup>14</sup> Parametry oběžných drah všech družic v kosmickém segmentu a údaje o jejich stavu.

<sup>15</sup> AntiSpoofing se nazývá šifrování P-kódu.



Obrázek 13 Navigační zpráva GPS [11]

### 3.3.5 Modernizace systému GPS

Pro stále větší poptávku po kvalitnějších a dostupnějších navigačních technologiích, jak pro potřeby vojenské, tak i civilní složky, bylo rozhodnuto o modernizaci systému GPS v květnu roku 2000. Tento projekt v sobě zahrnuje nové pozemní stanice, nové generace družic bez podpory funkce SA<sup>16</sup> (Selective Availability) a nové signály. V září roku 2007 bylo americkou vládou rozhodnuto, že nejnovější generace družic pod názvem GPS III již v sobě tuto funkci mít nebudou [12].

V tabulce 1 je možno vidět jednotlivé družice od bloku I až po budoucí nejmodernější družice GPS III spolu s přiřazenými vysílacími signály a rokem uvedení do provozu.

Signály GPS	Blok družic	Počáteční operační dostupnost	Uvedení do plného provozu
C/A, P	I, II, IIA	1993	-
C/A, P(Y)	II, IIA	-	1995
C/A, P(Y), M, L2C	(IIA, IIR), IIR-M, IIF	2011	-
C/A, P(Y), M, L2C	(IIR), IIR-M, IIF, III	-	2016
C/A, P(Y), M, L2C, L5	(IIR, IIR-M), IIF, III	2015+	-
C/A, P(Y), M, L2C, L5	(IIR-M), IIF, III	-	2018+
C/A, P(Y), M, L2C, L5, L1C	(IIR-M, IIF), III	2018+	-
C/A, P(Y), M, L2C, L5, L1C	(IIF), III	-	2021+

Tabulka 1 Postup modernizace družic GPS [zdroj 13]

<sup>16</sup> Úmyslná degradace signálu a tím způsobena nepřesnost měření při použití civilního GPS signálu až o 100 metrů.



Plánovaná modernizace s sebou přinese nové signály na nosné frekvenci L5, nové kódy a dvě novější navigační zprávy:

- **L5 signály**

Signál L5 bude určen především pro podporu v letecké dopravě. Jeho přesným označením je SOL<sup>17</sup> (Safety of Life) a bude vysílán v chráněném pásmu na frekvenci 1176,45 MHz s větší šířkou pásma, větším vyzařovacím výkonem a dalšími funkcemi pro velmi náročné aplikace. Možnost vysílat L5 signály budou mít družice generace bloku IIF a vyšší. Kód bude určen výhradně autorizovaným uživatelům.

- **L2C kód**

L2C kód bude vysílán na dvou frekvencích a bude tedy určen pro uživatele dvoufrekvenčních přijímačů. Jeho výhodou bude zvýšená přesnost díky lepší eliminaci ionosférické refrakce. Signál bude modulován dvěma PRN kódy [13]:

- CM kód (Civilian Moderate Code) dlouhý 10,230 bitů a opakující se po 20 ms. Bude modulován spolu s navigační zprávou o rychlosti 25 bit/s.
- CL kód (Civilian Long Code) dlouhý 767,250 bitů opakujících se po 1500 ms.

Kód L2C nabídne uživatelům vyšší výkon a lepší ochranu přenosu. Tím bude zajištěna jeho lepší dostupnost přes budovy, stromy a interiéry. Navíc bude snížena spotřeba energie pro novější čipové sady v mobilních zařízeních GPS.

- **L1C kód**

L1C kód bude vysílán spolu s C/A kódem na frekvenci nosné vlny L1 = 1575,42 MHz. Z důvodu zachování kompatibility systému bude dosavadní kód C/A i po modernizaci systému zachován avšak pouze se sníženou dostupností. Novější L1C kód bude kompatibilní s budoucím navigačním systémem GALILEO. Jeho uvedení do provozu proběhne až s novou generací družic GPS III.

---

<sup>17</sup> Služba z hlediska bezpečnostního kritická, přístupná pouze registrovaným uživatelům.

- *M kód*

M kód (Military Code) bude určen výhradně pro vojenské účely armády USA a bude nahrazovat současný P-kód. Vysílán bude širokoúhlou anténou a další z jeho možností je použitelnost směrové natáčecí antény mimo tělo družice. Tímto způsobem je zajištěna možnost zvýšení síly signálu až o 20 dB. Schopnost vysílat M kód pomocí širokoúhlé antény mají družice od bloku IIR-M. Možnost použití přídavné směrové antény je dostupná s družicemi GPS III [13].

- *Navigační zprávy CNAV/MNAV*

Další změnou budou novější navigační zprávy pod označením CNAV/MNAV (Civilian Navigation Message/Military Navigation Message). V případě navigační zprávy pro armádní účely MNAV nejsou dosud zveřejněny žádné informace, ale očekává se, že bude obdobná jako navigační zpráva CNAV. Ta, ačkoliv bude obsahovat stejná data, již nebude vysílána formou rámců, ale v novém formátu [13]:

- dosavadní rámce nahradí 300 bit dlouhé pakety, které přinesou jeho změny a úsporu šířky datového pásma,
- funkce na ochranu chyb FEC<sup>18</sup> (Forward Error Correction) s rychlostí vysílaného signálu pro data 25 bps a výsledným signálem 50 bps,
- rozšíření čísla nesoucího časovou značku GPS týden (GPS week) z 10 na 13 bit s maximální hodnotou 8192. Opakování dojde jednou za 157 let,
- informaci o stavu družice ponese každý paket a tím lze provést její možnost vyřazení z provozu během několika sekund a zvýšit tak kvalitu služby (SOL),
- podpora až 63 družic.

---

<sup>18</sup> Metoda kontroly a opravy chyb při datovém přenosu pomocí vkládání doplňkových kontrolních kódů.

## 4 GLONASS

GLONASS je ruský družicový navigační systém podobný jako americký GPS. Byl vyvíjen armádou Sovětského svazu a nyní je provozován ruskou armádou. V současné době má na oběžné dráze v provozu všech 24 družic a základní struktura systému je tak kompletní. Uživatelům má být systém zpřístupněn již během tohoto roku.

### 4.1 Historie systému GLONASS

Projekt navigačního systému GLONASS sahá do poloviny 70. let minulého století podobně jako systém GPS. Z počátku byl určen pro námořní operace a následně pro podporu operací vojenských. Později po zkušebních testech bylo prokázáno, že by mohl být využit také civilním sektorem, aniž by jakkoliv ohrozil vojenské zájmy Sovětského svazu. Tím se možnosti navigačního systému GLONASS uvolnily i pro civilní uživatele [6].

První družice byly na oběžnou dráhu vypuštěny 12. října 1982. Šlo o dvě testovací a jednu provozní družici. Počáteční testovací konstelace čtyř družic bylo dosaženo v lednu 1984. V roce 1988 bylo schváleno vládou SSSR (Svaz sovětských socialistických republik) bezplatné využívání signálů i pro civilní služby. V letech 1990 -1991 bylo na oběžné dráze dosaženo konstelace 12 družic ve dvou rovinách, což stačilo na omezený provoz. V září roku 1993 ruský prezident Boris Jelcin oficiálně prohlásil, že je systém kompletní. Následně se však během provozu ukázalo, že signály vysílané družicemi GLONASS výrazně ovlivňují radioastronomické pozorování na frekvenci 1610,6 až 1613,8 MHz<sup>19</sup>. Poté po mezinárodních protestech Rusové souhlasili s modifikací vysílaných frekvencí tak, aby toto vyhrazené pásmo neovlivňovaly. Tohoto závazku mělo být dosaženo postupným nahrazováním novými družicemi. V prosinci roku 1995 byla vypuštěna poslední trojice družic a počet plánovaných 24 družic byl kompletní. Plného operačního stavu bylo dosaženo v únoru 1996 [6].

V letech 1996 – 2001 byly vypuštěny pouze dvě sady po třech družicích. To ovšem díky jejich krátké životnosti nestačilo. Následkem toho kosmický systém rychle degradoval až na pouhých 6 provozuschopných družic, což bylo pro navigační účely nepostačující a

---

<sup>19</sup> Frekvence vyhrazena mezinárodními dohodami pro radioastronomii.

system byl neprovozeroschopný. Zvrat nastal 20. srpna 2001, kdy ruská vláda schválila tzv. „Federální speciální program“ pro zvláštní linii financování. To mělo podléhat přímo pod kontrolu ruského parlamentu [6].

V současné době na projektu spolupracuje ruská vláda s Indií, která slíbila pomoc při vynesení družic URAGAN-M na oběžnou dráhu za pomoci svých raket GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle). Budoucnost navigačního systému však závisí na modernizaci kosmického segmentu novými družicemi URAGAN-K, které přinesou třetí nosnou frekvenci signálu L3 (1197-1217MHz), nový signál Safety of Life a kompatibilitu se systémem GPS a GALILEO.

## 4.2 Struktura systému GLONASS

System GLONASS se skládá stejně jako GPS ze tří segmentů:

- Kosmický segment
- Pozemní segment
- Uživatelský segment

### 4.2.1 Kosmický segment

Konstelace kosmického segmentu je tvořena 24 družicemi obíhajícími po oběžné dráze MEO, obdobně jako byl původně projektován systém GPS. Z toho 21 aktivních a tři družic záložních. Avšak na rozdíl od systému GPS družice GLONASS obíhají jen ve třech rovinách navzájem posunutých o  $120^\circ$ . Družice jsou v jedné rovině od sebe posunuty o  $45^\circ$ , kde obíhají po kruhových drahách ve výšce 19,100 km nad Zemí a sklonem k rovníku  $64,8^\circ$ . Oběžná doba je 11 h a 15 min. Tato struktura kosmického segmentu garantuje nepřetržitou viditelnost nejméně 4 satelitů na 97% zemského povrchu za použití 21 družic. V případě použití všech 24 družic garantuje nepřetržitou viditelnost nejméně 5 satelitů na 99% zemského povrchu. Technické parametry družicových antén a celkové složení systému zajišťuje použitelnost navigačních signálů až do výšky 2000 km nad zemským povrchem [6].



Obrázek 14 Kosmický segment GLONASS [6]

Družice pro systém GLONASS dnes ruská vláda používá ve dvou variantách pod označením URAGAN-M a URAGAN-K. Modifikované družice URAGAN-M již v dnešní době plně nahradily své předchůdce družice typu URAGAN jenž byly vypouštěny v letech 1982 až 2005. Tyto družice měly krátkou životnost, což se negativně projevvalo v potřebě jejich častější obnovy.

Parametry modifikovaných družic URAGAN-M [6]:

- hmotnost 1,480 kg,
- 12 antén pro vysílání radiových signálů v pásmu L,
- kontrolní anténa pro komunikaci s pozemním segmentem,
- měření polohy družic pomocí laserového paprsku a retro-reflektoru s využitím metody SLR<sup>20</sup> (Satellite Laser Ranging),
- zvýšená přesnost navigace díky novějším atomovým hodinám s cesiovým oscilátorem (chyba max.  $10^{-13}$  s/den),
- delší životnost díky výkonnějším solárním panelům, lepším palubním bateriím a novější elektronice (až 7 let),
- vylepšené navigační signály v pásmu L2 (vylepšení ionosférické korekce),

---

<sup>20</sup> Jednoduchá metoda měření vzdálenosti, při které se používá laserový paprsek, který se odrazí od retro-reflektoru zpět k vysílači a z uplynulého času se zjistí požadovaná vzdálenost.

- vylepšená navigační zpráva s podporou vzájemné časové korekce mezi systémem GPS a GLONASS (ověřování informací každé 4 sekundy),
- vzájemná komunikace mezi družicemi.



Obrázek 15 Družice URAGAN-M [14]

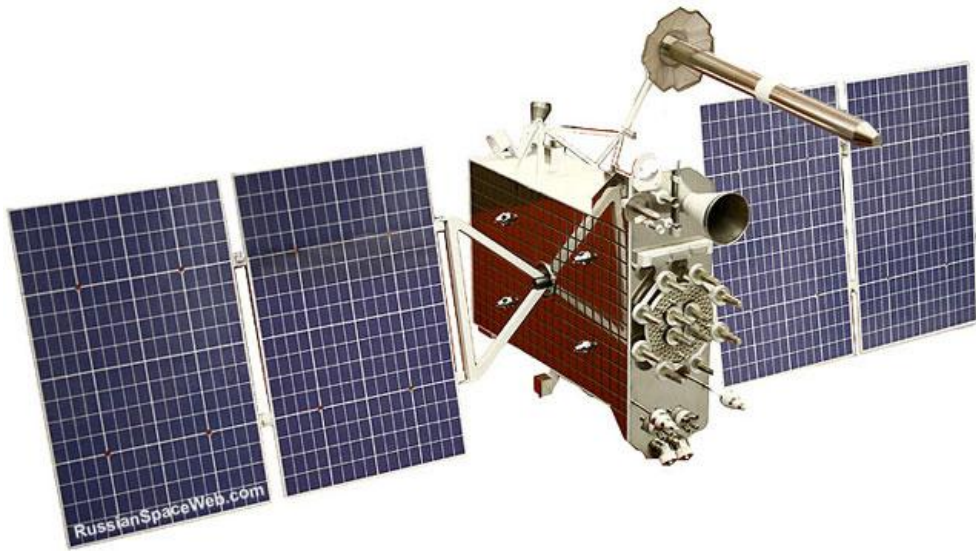
V následujících letech budou postupně všechny družice URAGAN-M nahrazeny modernějšími a technologicky vyspělejšími družicemi URAGAN-K, které již ruská federace od roku 2011 testuje a družicemi URAGAN-KM, které by měly být uvedeny do provozu od roku 2015.

Dosud nejmodernější, již v současné době testovací družice systému URAGAN-K by měly představovat radikální změnu v designu podle západního stylu. Tím by mělo být dosaženo snížení hmotnosti oproti předchozí družici URAGAN-M až o polovinu. Díky této podstatně nižší hmotnosti bude umožněno vynesení na oběžnou dráhu současně až šesti družic najednou pomocí dvoustupňových nosných raket PROTON, které byly použity také v případě dopravení družic URAGAN. V případě použití upravených nosných raket SOJUZ-2 bude možné vynést současně dvě družice. Tím budou náklady na doplnění kosmického segmentu družicemi značně sníženy [6].

Parametry družic URAGAN-K [15] [6]:

- snížena hmotnost 935 kg,
- atomové hodiny s vysokou přesností  $10^{-14}$  s/den,

- třetí civilní a vojenský signál na frekvenci 1,190 – 1,212 MHz (podobný jako u GPS L5),
- plánované přidání služby SAR<sup>21</sup> (Search and Rescue Service),
- předpokládaná životnost 10 až 12 let (URAGAN-M pouze 7 let).



Obrázek 16 Družice URAGAN-K [15]

#### 4.2.2 Pozemní segment

Pozemní řídicí a kontrolní segment ruského globálního navigačního systému GLONASS se rozprostírá pouze po celém území Ruské federace. To mu dává značné časové omezení pro monitorování vesmírného segmentu a řízení vzhledem k americkému systému GPS.

Úkolem pozemního komplexu je monitorovat kosmický segment prostřednictvím radiových signálů ze všech viditelných družic a plnit tyto funkce [1]:

- pomocí laserového odražeče provádět měření vzdálenosti mezi stanicemi a družicemi (data přenášet do hlavního řídicího centra k dalšímu zpracování),
- provádět korekci družicových hodin se systémovým časem,
- provádět manévry řízení a údržbu družic,
- výsledky zveřejňovat prostřednictvím navigační zprávy jednotlivých družic,

---

<sup>21</sup> Systém v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAR/SARSAT umožňující nouzovou lokalizaci s obousměrnou komunikací.

- komunikovat s uživateli prostřednictvím zpráv NAGU<sup>22</sup> (Notice Advisory to GLONASS Users).

Pozemní řídicí segment se skládá z těchto částí [16]:

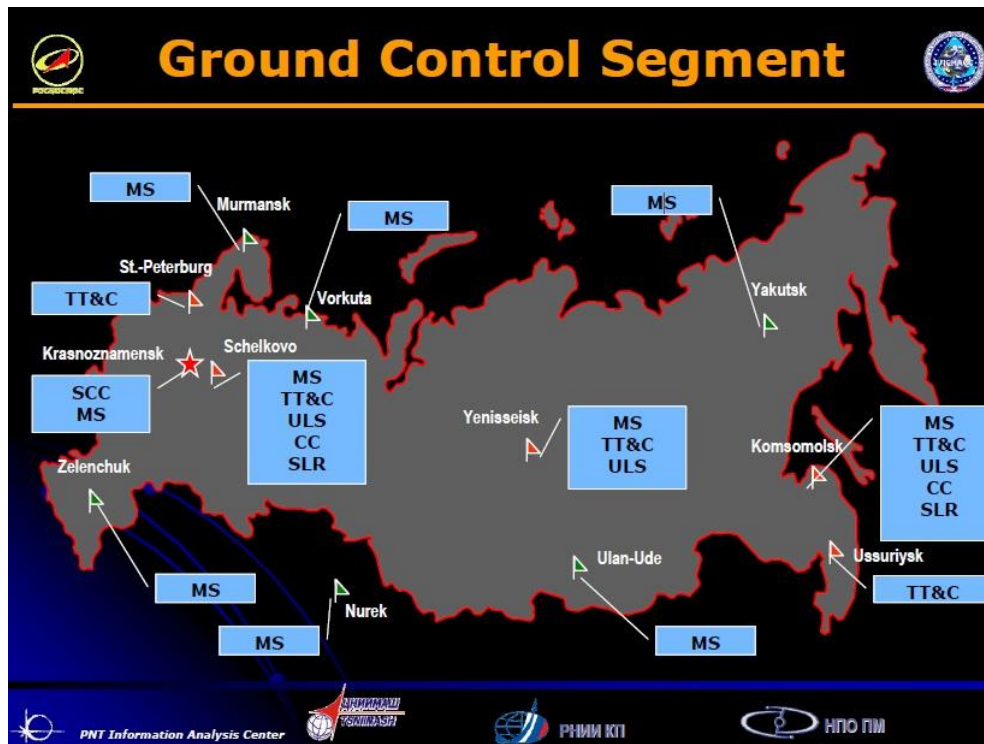
- **Hlavní řídicí středisko SCC** (System Control Center) nacházející se v moskevské oblasti Krasnoznamensk přibližně 50 km od Moskvy. Stanice slouží zároveň jako monitorovací stanice MS.
- **3 rozšířené stanice SLR** (Satellite Laser Ranging), ULS (Up-link Station), CC (Control Center). Stanice se nachází v lokalitách Schelkovo (MS, TT&C, ULS, CC,SLR), Yenisseisk (MS, TT&C, ULS) a Komsomolsk na Amure (MS, TT&C, ULS, CC,SLR).
- **5 povelových stanic TT&C<sup>23</sup>** (Telemetry, Tracking and Command/Communication) sloužících pro sledování a vysílání povelů k družicím. Nachází se ve výše uvedených lokalitách Komsomolsk na Amure, Yenisseisk, Schelkovo a dále v lokalitách Ussuriysk (TT&C) a Petrohrad (TT&C).
- **10 monitorovacích stanic MS** (Monitor Station) nacházejících se v Komsomolsk na Amure, Yenisseisk, Schelkovo, Krasnoznamensk a samostatných lokalitách Murmansk, Vorkuta, Yakutsk, Zelenchuk, Nurek a Ulan-Ude).

---

<sup>22</sup> Komunikace mezi uživateli prostřednictvím zpráv obsahující informace o pravidelných údržbách družic, jejich odstávky nebo uvedení do provozu a informace o zdravotním stavu družic.

<sup>23</sup> Síť s celosvětovým pokrytím pomocí telemetrických dálkově ovládaných S-band antén.





Obrázek 17 Pozemní řídicí segment GLONASS [16]

#### 4.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment systému GLONASS je obdobný jako u systému GPS. Je tedy tvořen jednotlivými přijímači, které zpracovávají pasivně vysílané signály od družic. Na základě přijatých dat následně podávají informace o své poloze a času. Také u tohoto systému je možné zároveň obsluhovat neomezený počet uživatelů.

Bohužel vzhledem k nepříliš dobře vyvíjející se ekonomické situaci Ruska a neustálého oddalování spuštění plného provozu systému GLONASS, je uživatelská část značně zaostalejší oproti GPS. To se podepsalo především na malém počtu vyráběných přijímacích zařízení pro civilní sektor. Uživatelská část je tedy doposud tvořena především z řad geodetů a vědeckých pracovníků. To by se však v příštích letech mělo změnit, protože uvedení do plného provozu i pro civilní služby můžeme očekávat v roce 2015.

### 4.3 Signály GLONASS

Na rozdíl od systému GPS, kde je použita k rozlišení signálů z jednotlivých družic kódová přístupová metoda CDMA, u systému GLONASS je použito frekvenční přístupové metody

FDMA<sup>24</sup> (Frequency Division Multiple Access). Znamená to, že každý přijímač se naladí na frekvenci odpovídající hledané družici. Metoda FDMA je běžně používána např. u rozhlasových nebo televizních vysílání. Nevýhoda přístupu této metody je složitější konstrukce přijímače a tím zvýšené náklady na jeho výrobu. Naopak výhodou je vyšší odolnost systému proti rušení způsobeným jinými vysílači v okolí, nebo interferencí mezi vysílanými signály[6].

Systém GLONASS v současnosti vysílá signály primárně z družic URAGAN-M. Stejně jako u systému GPS i zde, vysílají družice na dvou nosných frekvencích označovaných L1 a L2. V minulosti jednotlivé frekvence využívaly plný rozsah kmitočtových kanálů. V dnešní době je tento počet kanálů snížen z důvodu prolínání se do radioastronomického pásma mezi intervaly -7 až 4. Přičemž družice nacházející se na oběžných drahách druhé strany Země nejsou současně viditelné, a proto mohou s protilehlými družicemi sdílet stejné kanály. Jednotlivá období přidělených kanálů a jejich přiřazené frekvence jsou zobrazeny v tabulce 2.

Období	Frekvence	Kanály
do r. 1998	1602,0 – 1608,8 MHz 1614,4 – 1615,5 MHz	1 – 12 22 – 24
1998 – 2005	1602,0 – 1608,8 MHz	1 – 12
od r. 2005	1598,1 – 1605,4 MHz	-7 - +4

Tabulka 2 Používané kmitočty systému GLONASS [1, 6]

Pro obě nosné frekvence L1 a L2 platí následující vztahy:

$$L1 = 1\,602\text{ MHz} + n * 0,5625\text{ MHz}$$

$$L2 = 1\,246\text{ MHz} + n * 0,4375\text{ MHz}$$

kde n označuje číslo kmitočtového kanálu.

Každá družice vysílá dva navigační kódy rozlišujících se rychlostí a navigační zprávu.

#### 4.3.1 SP kód

SP (Standard Positioning Code) kód je určen pro příjem běžných uživatelů a je obdobou C/A kódu u GPS. Přenáší se pouze na frekvenci L1 a je generován pseudonáhodným PRN

<sup>24</sup> Metoda, kde družice vysílají stejnou dvojici navigačních signálů na různých nosných frekvencích.

kódem délky 511 bitů. Vysílán je frekvencí 0,511 MHz opakující se každou 1ms. Každá opakující se sekvence kódu představuje přibližně 587 metrů, což znamená výhodu pro jeho rychlé naladění přijímačem [1, 6].

#### 4.3.2 HP kód

HP (High Positioning Code) kód je určen výhradně pro vojenské účely a je tedy běžným uživatelům nedostupný. Vysílán je na obou nosných frekvencích L1 a L2. Délka jeho PRN kódu činí původně 33 554 432 bitů zkrácených tak, aby se kód opakoval každou 1 sekundu. Všechny družice vysílají stejnou frekvenci rychlostí 5,11 MHz [1, 6].

#### 4.3.3 Navigační zpráva

Navigační zprávy u systému GLONASS jsou vysílány dvě, a to pro SP i HP kód samostatně. Každá navigační zpráva obsahuje [1, 6]:

- informace efemerid družic (přesnou polohu, rychlost, zrychlení),
- posun systémového času k času UTC<sup>25</sup> (Coordinated Universal Time),
- korekci atomových hodin,
- informace o přiděleném pásmovém kanálu,
- stáří dat,
- almanach,
- zdraví družice,
- číslo družice.

**Navigační zpráva SP kódu** se skládá z pěti rámců, z nichž jeden rámeček obsahuje 15 řádků. Každý z těchto řádků vytváří informaci o délce 100 bitů. Odvysílání jednoho rámečku trvá 30 s. Délka celé navigační zprávy je 7 500 bitů a je odvysílána za 2,5 min [6].

**Navigační zpráva HP kódu** je tvořena ze 72 rámců a každý rámeček obsahuje 5 řádků složených ze 100 bitů. Odvysílání jednoho rámečku trvá 10 s a odvysílání celé zprávy 12 min. Celá navigační zpráva je dlouhá 36 000 bitů [6].

---

<sup>25</sup> Základ systému měření času pomocí atomových hodin nezávislý na rotaci Země. Jednotlivá časová pásma jsou definována odchylkami od UTC.

#### 4.3.4 Modernizace systému GLONASS

Modernizace systému GLONASS představuje především obnovu kosmického segmentu o modernější družice URAGAN-K a URAGAN-KM. V současné době již Rusové vypustili družici URAGAN-K pro testovací účely. Obě družice budou schopny vysílat nové signály na třetí frekvenci L3, pro kterou platí vztah:

$$L3 = 1201,5 \text{ MHz} + n * 0,42195 \text{ MHz}$$

U těchto nejnovějších družic bude taktéž vysílán signál L5. Ten v sobě zahrnuje bezpečnostně kritickou službu SOL s modulací CDMA pro vzájemnou kompatibilitu se systémem GPS a GALILEO.

V následující tabulce jsou uvedena časová období vypouštění jednotlivých typů družic URAGAN:

Družice BLOK	Životnost	Období	Vypuštěno	Ve službě
URAGAN	1	1982 – 1985	10	0
URAGAN-A	1	1985 – 1986	6	0
URAGAN-B	2	1987 – 1988	6 + 6 <sup>1</sup>	0
URAGAN-V	3	1988 – 2005	59	0
URAGAN-M	7	2001 – 2012	28 + 3 <sup>1</sup> + 8 <sup>2</sup>	22 + 1 <sup>3</sup>
URAGAN-K1	10	2011 – 2013	1 + 1 <sup>2</sup>	1 <sup>3</sup>
URAGAN-K2	10	2013 – 2014 - ?	? <sup>2</sup>	0
URAGAN-KM	?	2015 +	?	0
<p><u>Vysvětlivky:</u>  <sup>1</sup>Ztracen při startu nebo selhalo oživení  <sup>2</sup> V přípravě  <sup>3</sup>Zavádění do provozu nebo záloze (údržbě)</p>				

Tabulka 3 Postup modernizace družic GLONASS [17]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 GALILEO

GALILEO je Evropský družicový navigační systém vyvíjen a financován členskými státy Evropské unie. Na rozdíl od předchozích navigačních systémů GLONASS a GPS je od samého začátku určen pro civilní uživatele. Svými schopnostmi by měl být výrazně lepší z hlediska přesnosti, spolehlivosti, dostupnosti a množstvím nabízených služeb než kterýkoliv jiný dosavadní navigační systém.

### 5.1 Historie systému GALILEO

První informace o Evropském navigačním systému GALILEO sahají do roku 1998, kdy Evropská kosmická agentura (ESA<sup>26</sup> – European Space Agency) a Evropská komise (EC<sup>27</sup> – European Commission) schválily studii o možnosti vytvoření evropského navigačního systému nezávislého na americkém GPS. Následkem toho byl projekt GALILEO oficiálně zahájen v roce 1999. Již od samého počátku je navigační systém určen především pro civilní sektor a komerční služby na rozdíl od systémů GPS a GLONASS, které jsou od počátku určeny výhradně pro vojenské účely. Financování projektu mělo být původně zajištěno za pomoci soukromých investorů s předpokládaným rozpočtem 1,8 miliardy EUR a odhadovaným spuštěním do provozu roku 2008. Od tohoto způsobu financování se však muselo pro příliš velká rizika ze strany investorů odstoupit [18].

V období od roku 2002 Evropská komise čelila problémům při hledání dalších finančních zdrojů a projekt GALILEO byl tak téměř zastaven. V tomto období po teroristických útocích 11. září 2001 napomáhal i značný tlak ze strany USA. Ty se cítily být ohroženy při případném vypnutí systému GPS v době vojenského konfliktu. Po pár měsících však nastala změna a členské státy Evropské unie se usnesly o důležitosti vlastního nezávislého družicového systému [18].

V roce 2007 bylo rozhodnuto o přerozdělení finančních prostředků a financování projektu z veřejného rozpočtu Evropské unie. Následně v roce 2008 Evropská komise přijala předběžný rozpočet a schválila časový plán projektu. Stejný rok byly taktéž zahájeny prvotní fáze, které pokračují dodnes. Zahájení provozu systému s 18 provozuschopnými

---

<sup>26</sup> Evropská kosmická agentura zodpovídá za technickou stránku systému včetně vývoje a ověření funkcí vesmírného, pozemního i uživatelského segmentu.

<sup>27</sup> Evropská komise nese za projekt politickou zodpovědnost včetně poskytování právní, certifikační i standardizační podpory.

družicemi se tak předpokládá na přelomu roku 2014/2015. Plného funkčního provozu 27+3 družic a vybudování pozemního a řídicího systému lze očekávat v letech 2019/2020 [19].

Další důležité fáze projektu GALILEO [19]:

- V roce 2005 vypuštění první družice GIOVE-A pro testovací účely.
- V roce 2008 vypuštění druhé testovací družice GIOVE-B a zahájení výstavby pozemních stanic.
- V lednu 2010 první tři důležité zakázky v celkové hodnotě 1 250 milionů EUR:
  - na systémovou podporu dodanou italskou společností „Thales Alenia Space“,
  - na dodání prvních 14 družic do roku 2014 německou společností „OHB Systems AG“,
  - zakázka na zajištění vynesení družic na oběžnou dráhu francouzskou společností „Arianespace“.
- 21. října 2011 vynesení prvních dvou operačních družic GALILEO-IOV na oběžnou dráhu raketou Sojuz ST-B.
- Další dvě operační družice by měly být vyneseny v polovině roku 2012.

## 5.2 Struktura systému GALILEO

Jelikož systém GALILEO není vyvíjen a provozován v rámci jednoho státu, ale prostřednictvím více členských států Evropské unie, je i jeho struktura složitější. Systém jak tak složen z globální, regionální a více lokálních složek.

- **Globální složka**

Globální složka tvoří nejdůležitější část celého systému. Je tvořena tak jako u předchozích systémů vesmírným a pozemním segmentem. Tyto segmenty jsou popsány podrobněji v následujících kapitolách.

- **Regionální složka**

Regionální složka je tvořena několika externími regionálními systémy zvané ERIS (External Region Integrity Systems). Jejich úkolem je poskytovat hlášení o integritě systému nezávisle na hlášení od systému GALILEO. To je krok určený pro dosažení právních záruk na garanci systému jednotlivým státům a subjektům. Systémy ERIS budou provozovány soukromými společnostmi případně státy nebo skupiny států mimo EU [29].

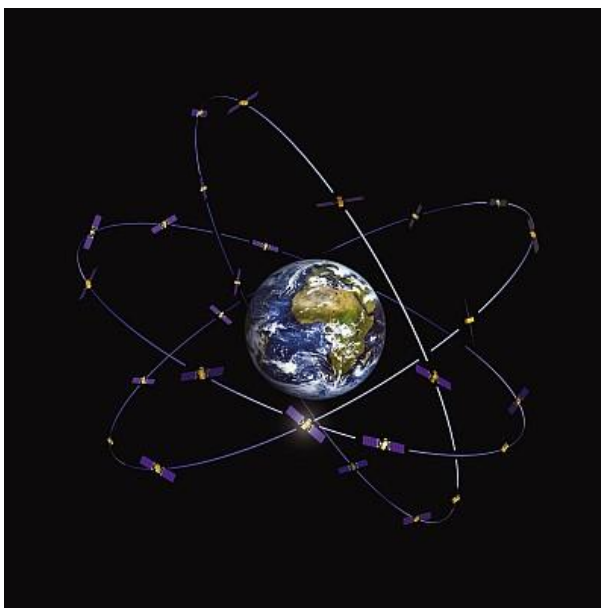
- **Lokální složky**

Lokální složky budou provozovány soukromými společnostmi a budou sloužit pro lepší dostupnost a kvalitu signálu v hůře přístupných oblastech.

V další kapitole se budeme dále zabývat pouze globální složkou tvořenou kosmickým a pozemním segmentem a dále segmentem uživatelským.

### 5.2.1 Kosmický segment

Po dokončení systému GALILEO by se měl jeho vesmírný segment skládat z celkového počtu 30 družic obíhajících ve výšce 23 222 km nad Zemským povrchem. Z toho 27 aktivních a 3 družic záložních. Jednotlivé družice jsou umístěny na 3 kruhových oběžných rovinách se sklonem k rovníku  $56^\circ$ . Na každé oběžné dráze je celkem 9 aktivních a jedna záložní družice. Družice jsou od sebe vzájemně posunuty o  $120^\circ$ . Perioda oběhu každé družice kolem Země je 14 hodin. Všechny družice zaujmou stejnou konstelaci postavení vždy po deseti dnech, přičemž během těchto dnů oběhnou Zemi celkem sedmáctkrát.



Obrázek 18 Kosmický segment GALILEO [23]

V současné době jsou při testování systému GALILEO použity celkem 4 družice. Dvě experimentální pro odzkoušení navigačních technologií (GIOVE-A a GIOVE-B) a dvě pro předběžné testování plného provozu (GALILEO-PFM a GALILEO-FM2).



- **Experimentální družice GIOVE-A a GIOVE-B**

První experimentální družice projektu GALILEO odstartovala 28. prosince 2005 v 6 hodin 19 minut středoevropského času. Vynesena byla ruskou raketou SOJUZ z kosmodromu Bajkonur a nesla označení GIOVE<sup>28</sup>-A (Galileo In-orbit Validation Element). Později 27. dubna 2008 byla ze stejného kosmodromu vynesena i druhá experimentální družice GIOVE-B. Obě družice nebyly určeny pro budoucí plný provoz systému GALILEO, ale měly zajistit tyto funkce [20] [21]:

- ověřit nové technologie vyvinuté v Evropě pro systém Galileo,
- schopnost přesně synchronizovat čas a určit oběžnou dráhu s maximální odchylkou 50 cm,
- zajistit komunikační schopnosti přidělené frekvence radiových signálů pro operační systém,
- odzkoušet radiační prostředí na středních oběžných drahách ve výšce 23 222 km nad zemským povrchem,
- družice GIOVE-B, která byla technologicky vyspělejší, měla navíc odzkoušet nově použité vodíkové atomové hodiny, novou anténu pro pásmo L, nový přístroj pro měření radiace a nový generátor signálů.

---

<sup>28</sup> GIOVE znamená v italském překladu Jupiter. Jeho pozorováním se proslavil italský fyzik Galileo Galilei, podle kterého je projekt GALILEO pojmenován.



Obrázek 19 Experimentální družice GIOVE-B [22]

- **Testovací družice GALILEO-PFM a GALILEO-FM2**

První dvě plně funkční testovací družice jsou součástí druhé fáze programu GALILEO tzv. IOV (In-orbit Validation). Tato fáze je zaměřena na otestování vesmírného, pozemního i uživatelského segmentu. V pátek 21. října 2011 vynesla ruská nosná raketa SOJUZ první dva satelity z evropského kosmického centra ve Francouzské Guyaně poblíž Kourou. Lokalita byla vybrána záměrně z hlediska svého umístění poblíž rovníku, což je místo pro starty raket nejvýhodnější. Odpalovací středisko zřízené Evropskou vesmírnou agenturou mělo zároveň svoji premiéru. Start byl původně naplánován o den dříve na 20. října, ale musel být pro problémy s plněním nosných raket palivem o den odložen [23].

Satelity nesou názvy podle výherců dětské soutěže Galileo Drawing Competition<sup>29</sup>, devítileté bulharské dívky (Natalia) a jedenáctiletého belgického chlapce (Thijs). V létě 2012 by měly být doplněny o další dvě družice a tím splnit konstelaci pro druhou testovací fázi projektu.

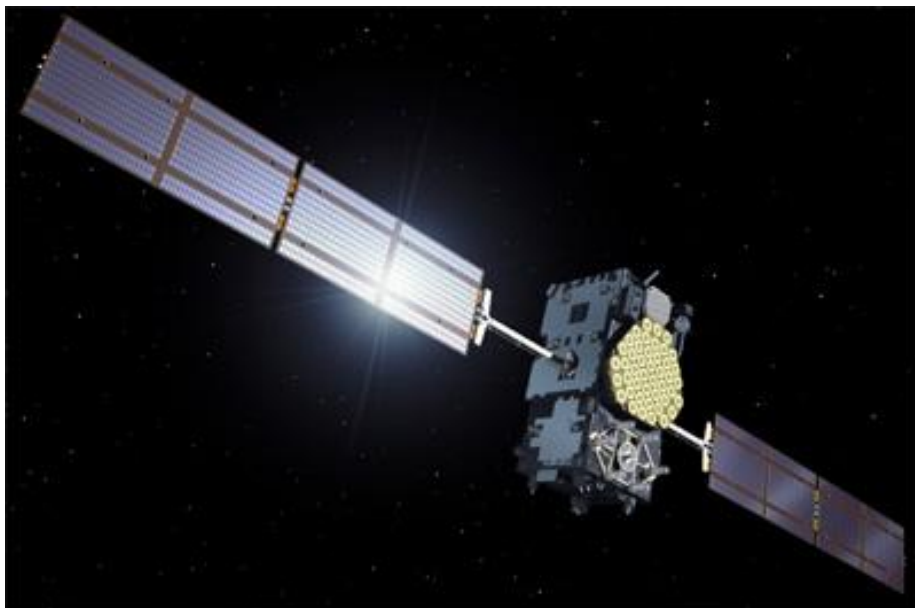
Parametry a komponenty družic GALILEO-PFM a GALILEO-FM2 [24]:

- Hmotnost při startu 700 kg.

---

<sup>29</sup> Výtvarná dětská soutěž pro děti ve věku 9-11 let žijících v členských státech Evropské unie. Soutěž je pořádána Evropskou kosmickou agenturou (ESA) a jména výherců ponosou jednotlivé družice systému GALILEO.

- Rozměry družice 2,7 x 1,1 x 1,2 m.
- Dva solární panely s rozpětím 13 m.
- Předpokládaná životnost 12 let.
- Výkon 1420 W.
- L-band anténa vysílající 10 signálů v rozsahu 1200-1600 MHz.
- Anténa pro zachytávání nouzových signálů SAR obdobná jako u systému GLONASS.
- C-band anténa pro příjem signálů na korekci mezi družicovými a pozemními referenčními hodinami. Anténa slouží také pro příjem informací o funkčnosti jednotlivých družic.
- S-band antény pro vysílání informací o stavu družic a stavu vesmírného segmentu a zároveň pro příjem signálů k ovládní družic. Antény jsou také schopny měřit satelitní výšku s přesností několika metrů.
- Laserové měřidla pro přesné měření satelitní výšky jednou za rok s přesností na několik centimetrů.
- Čtvery atomové hodiny. Dvoje a zároveň hlavní vodíkové maserové hodiny a dvoje sekundární rubidiové hodiny. Sekundární rubidiové hodiny budou použity až v případě selhání hlavních hodin. Odchyłka měření je 0,45 ns během 12 dnů u maserových hodin a 1,8 ns během 12 dnů u rubidiových hodin.



Obrázek 20 Družice GALILEO-IOV PFM [24]

### 5.2.2 Pozemní segment

Základními částmi pozemního segmentu GALILEA jsou jeho dvě hlavní kontrolní střediska GCC (Ground Control Center). Střediska se nacházejí v německém městě Oberpfaffenhofen a italském Fucino. Každé z těchto středisek využívá pro svoji činnost jedno ze dvou speciálních pozemních systémů:

- GCS (Ground Control Segment)
- GMS (Ground Mission Segment)

**GCS** systém má za úkol kontrolu a řízení vesmírného segmentu. Jeho hlavní kontrolní náplní je údržba družicové konstelace, plánování vypouštění nových družic a obnova systému po poruchách s maximální eliminací negativních dopadů na služby. K řízení družic systém využívá globální síť TT&C, prostřednictvím které komunikuje s jednotlivými satelity. Pomocí nich jsou prováděny manévry družic a případné odstávky při jejich údržbě.

**GMS** systém slouží pro kontrolu navigačních signálů. Informace slouží pro synchronizaci času, určování parametrů oběžných drah a kontrolu integrity. Využívá celosvětové síť GSS (Galileo Sensor Station), pomocí které v reálném čase monitoruje signály z družic a tím realizuje funkce nezbytné pro poskytované služby. Data jsou dále přenášena navigační zprávou prostřednictvím stanic ULS přes družicovou komunikaci zpět k řídicím střediskům a uživatelům. Stanice jsou nezbytné pro realizaci služby SAR. V budoucnu je plánováno až 40 stanic GSS vybavenými atomovými hodinami.

### 5.2.3 Uživatelský segment

Jelikož je projekt GALILEO teprve ve vývojové a testovací fázi, jsou i přijímače vyráběné prozatím pouze pro zkušební účely. Výrobci však slibují mnohem větší výkon a zároveň nižší spotřebu přijímačů založených na nově vyvíjených čipech. Přijímače zároveň budou schopny vzájemné kompatibility mezi navigačními systémy GALILEO, GPS a GLONASS. Tím bude zaručena mnohem větší dostupnost služeb a zároveň přesnost navigace. Ta se bude pohybovat s přesností 1 metru a ve speciálních především placených aplikacích až několika centimetrů.

### 5.3 Signály GALILEO

Jednotlivé družice systému budou vysílat celkem 6 radiových signálů na 10 různých kanálech. Signály jsou rozděleny do tří základních skupin, pro které jsou přidělena jednotlivá frekvenční pásma:

- **E5a a E5b** (1164 – 1215 MHz)
- **E6** (1260 – 1300 MHz)
- **E1 – L1 – E2** (1559 – 1592 MHz)

#### 5.3.1 E5a a E5b

Skupina někdy označována také jako E5 vysílá dva různé signály na čtyřech kanálech s centrální frekvencí 1191,795 MHz. Pro modulaci signálů je použita metoda BPSK obdobně jako v případě GPS. Pomocí těchto signálů jsou přenášena buďto data se základními údaji pro navigaci a určování času, nebo data pilotní se zvýšenou integritou pro navigaci v obtížných podmínkách [18].

#### 5.3.2 E6

Celkem tři frekvenční kanály jsou přiřazeny pro dva navigační signály skupiny E6. První signál je komerční E6C využívající dvou kanálů (datového nebo pilotního) s modulací BPSK, a druhý privátní signálem E6P využívajícího datového kanálu s modulací BOCcos<sup>30</sup> (Binary Offset Carrier). Oba tyto kanály jsou určeny pro státní autorizované uživatele [25].

#### 5.3.3 E1 – L1 – E2

Skupina hromadně označována jako L1 vysílá dva signály na třech kanálech. Signál L1P označován také jako E1 a E2 modulován metodou BOCcos a signál L1F označován jako L1 modulován metodou BOC [18].

Všech 6 signálů s jejich přidělenými kanály a modulacemi je zobrazeno v následující tabulce:

---

<sup>30</sup> Modulace BOC představuje modulační techniku považovanou za rozšíření modulace BPSK, avšak s frekvencí několikanásobně vyšší. Systém GALILEO přitom používá více typů těchto modulací.

Signál	Kanál	Modulace	Základní frekvence [MHz]	Navigační zpráva	Služba
E5a	Data	BPSK	1176,45	F/Nav	OS, CS
	Pilot	BPSK			
E5b	Data	BPSK	1207,14	I/Nav	OS, CS, SOL
	Pilot	BPSK			
E6C	Data	BPSK	1278,75	C/Nav	CS
	Pilot	BPSK			
E6P	Data	BOCcos		G/Nav	PRS
L1F	Data	BOC	1575,42	I/Nav	OS, CS, SOL
	Pilot	BOC			
L1P	Data	BOCcos		G/Nav	PRS

Tabulka 4 Přehled signálů GALILEO [25] [32]

### 5.3.4 Navigační zpráva

Každá z družic bude vysílat 4 druhy navigačních zpráv lišících se podle druhu poskytované služby:

- **F/Nav** - přístupná pro uživatele využívajících základních služeb navigace.
- **I/Nav** - obdobná jako navigační zpráva F/Nav, avšak s vyšším stupněm integrity dat.
- **C/Nav** - zpráva určena pro komerční služby.
- **G/Nav** - pro autorizované uživatele veřejné regulované služby.

V tabulce 5 jsou zobrazeny jednotlivé navigační zprávy a jim přiřazené signály spolu s dalšími informacemi jejich struktury. Signál L1C je nový připravovaný GPS signál určený pro kompatibilní zařízení GALILEO/GPS a u systému GPS bude zprovozněn s družicemi BLOKU III.

Navigační zpráva	Signál	Počet podrámců v rámci	Počet stránek v podrámcu	Obsah navigační zprávy			
				Navigační data	Integrity	(SAR) služba	Dodatečné informace
<b>F/Nav</b>	<i>E5a</i>	<i>12</i>	<i>5</i>	<i>Ano</i>	<i>Ne</i>	<i>Ne</i>	<i>Ne</i>
<b>I/Nav</b>	<i>E5b,</i>	<i>18</i>	<i>30</i>	<i>Ano</i>	<i>Ano</i>	<i>Ano</i>	<i>Ne</i>

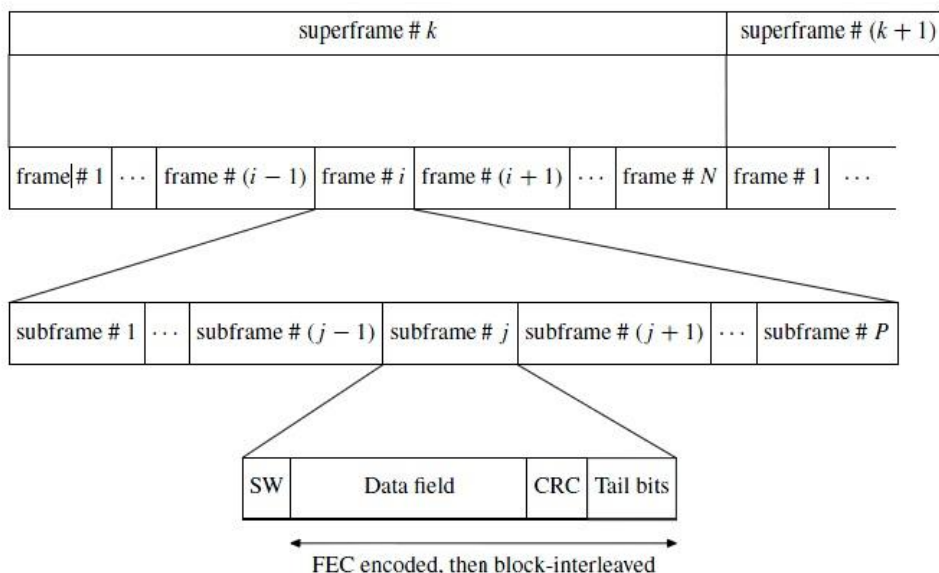
	<i>L1F</i>						
<b>C/Nav</b>	<i>E6C (L1C)</i>	8	15	<i>Ne</i>	<i>Ne</i>	<i>Ne</i>	<i>Ano</i>
<b>G/Nav</b>	<i>E6P, L1P</i>	-	-	<i>Ano</i>	<i>Ano</i>	<i>Ne</i>	<i>Ne</i>

Tabulka 5 Přehled navigačních zpráv Galileo [25]

Jednotlivé zprávy se skládají z tzv. rámců (frame). Tyto rámce se dále dělí na podrámce (subframe), které obsahují tzv. stránky (pages), což jsou základní strukturou navigační zprávy. Celá struktura zprávy je zobrazena na obrázku 21.

Každá ze stránek zprávy obsahuje následující údaje [11]:

- synchronizační data (SW),
- navigační data (Data field),
- tři úrovně pro možnou detekci a opravu chyb:
  - cyklická redundantní kontrola chyb (CRC – Cyclic Redundancy Check) pro zpětnou detekci chyb,
  - dopředná korekce chyb FEC (Forward Error Correction) pro možnost opravy přijatých chybných dat,
  - (Tail bits) sekvence obsahující samé nuly pro umožnění dekodování FEC.



Obrázek 21 Struktura navigační zprávy GALILEO [11]

## 5.4 Poskytované služby

Služby nabízené prostřednictvím navigačního systému GALILEO budou umožňovat ve vybraných aplikacích vysokou navigační přesnost a spolehlivost. Tu využijeme například při podpoře ve vyhledávacích a záchranných operacích.

Služby rozdělujeme do 5 kategorií [26] [18]:

- **Open Service (OS)** je základní služba pro civilní uživatele poskytována zdarma. Bude poskytovat přesné určování polohy, rychlosti a času. Podle plánu Evropské komise z hlediska kvality bude služba lepší jak dosavadní nabízené služby systémem GPS. Vysílána bude signály E5a, E5b a E1 – L1 – E2.
- **Commercial Service (CS)** je komerční službou vysílána prostřednictvím signálů E5b, E6 a E1 – L1 – E2. Na rozdíl od základní služby OS bude poskytována po zaplacení poplatku. Chráněna proti neautorizovaným uživatelům je pomocí šifrovacích klíčů. Odměnou je vyšší přesnost a zaručena určitá úroveň spolehlivosti.
- **Safety Of Life (SOL)** je služba z bezpečnostního hlediska kritická. Vysílána je signály E5a, E5b a E1 – L1 – E2. Nabízet bude stejnou přesnost jako služba OS, ale s vysokým stupněm spolehlivosti. Ta je nezbytná v případě letecké nebo námořní navigace a bude certifikována podle mezinárodních předpisů.
- **Public Regulated Service (PRS)** neboli veřejně regulovaná služba je navržena pro nepřetržitý přístup k signálu. Služba je šifrována a využívá speciálních nekomerčních přijímačů s uloženými šifrovacími klíči. Určena je především pro bezpečnostní složky státu. Zajištěna bude prostřednictvím signálů E6 a L1.
- **Search and Rescue Service (SAR)** je službou pro nouzovou lokalizaci s oboustrannou komunikací a celosvětovým pokrytím. Využívá se pro záchranné složky.

## 5.5 Aktuální stav projektu

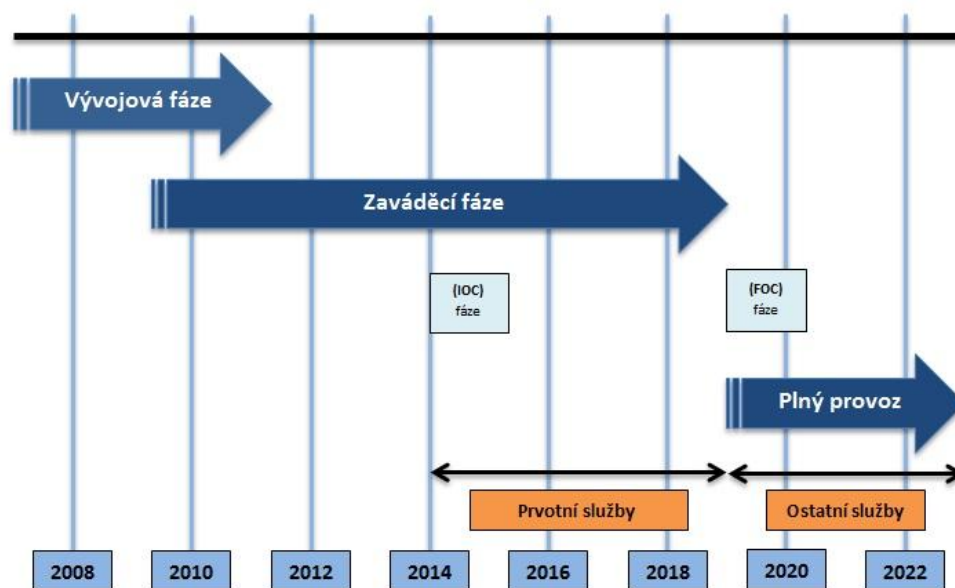
Po vypuštění prvních dvou operačních družic GALILEO-IOV v říjnu 2011 jsou Evropskou kosmickou agenturou připravovány další dvě družice. Jejich vynesení na oběžnou dráhu je plánováno na druhou polovinu roku 2012. Družice by tak měly dokončit druhou ověřovací fázi (IOV - In-orbit Validation) projektu. V této fázi je cílem ověřit dostupnost signálů mezi družicemi a pozemními stanicemi a to v celé šíři radiového spektra. Spuštění



prvotního provozu systému s 18 družicemi je naplánováno na rok 2014. Tato fáze je označována jako počáteční operační dostupnost (IOC - Initial Operational Capability) a během ní by měl být systém schopen pracovat v omezeném provozu se zprostředkováním minimálně těchto služeb:

- otevřená služba (OS),
- vyhledávací a záchraná služba (SAR),
- veřejná regulovaná služba (PRS).

Po této fázi bude následovat příprava na fázi plné operační dostupnosti (FOC - Full Operational Capability), během které budou vypuštěny zbylé družice a doplní tak vesmírný segment na plánovaných 27 operačních a 3 náhradních družic. Dokončen by měl být také pozemní a řídicí segment, jehož sídlo je již budováno v Praze v České republice. Tato poslední fáze je plánována na konec roku 2019 a měla by zpřístupnit i zbylé dvě služby pro komerční sektor a službu Safety of Life (SOL). Časový diagram celého projektu Galileo je zobrazen na obrázku 22.



Obrázek 22 Časový plán projektu GALILEO [19]

## 5.6 Centrum GSA v Praze

Žádost o umístění řídicího centra GSA (GNSS Supervisory Authority) pro globální navigační satelitní systémy v Praze podala vláda České republiky již v roce 2006. Zvítězila

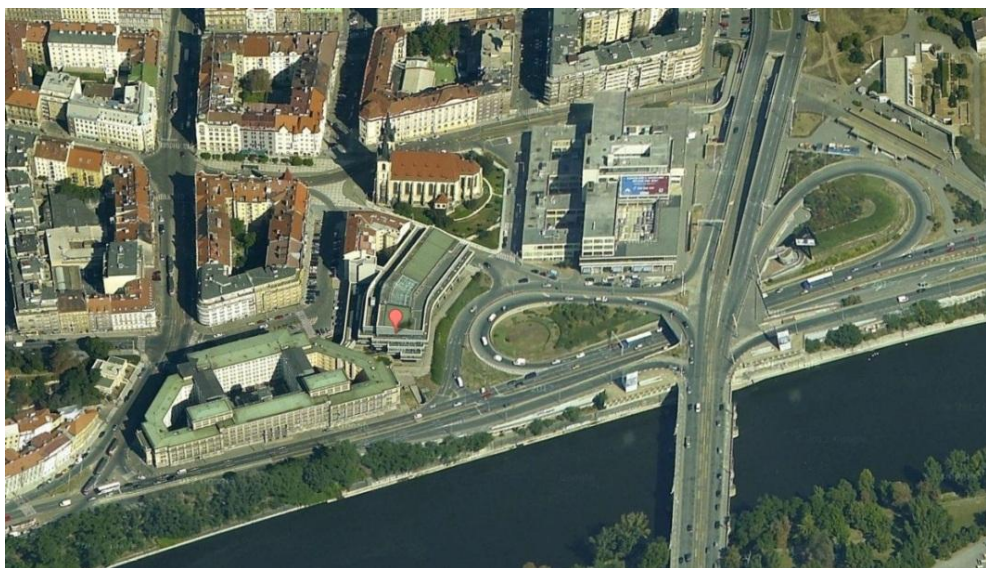
prostřednictvím hlasování s podporou 22 států nad Nizozemskem, pro které hlasovaly pouze 4 země. Sídlo bylo původně umístěno v Bruselu.

Důvody, které rozhodovaly o umístění sídla GSA v Praze [27]:

- vhodná poloha ve středu Evropy,
- členství v Evropské kosmické agentuře od roku 2008 s výbornými aktivitami v kosmickém výzkumu,
- vysoká bezpečnost a životní úroveň v Praze,
- možnost okamžitého nastěhování,
- výjimečné umístění v centru hlavního města,
- zázemí pro kongresy a konference.

Jednání o stěhování GSA do Prahy byla ukončena a podepsána 14. prosince 2011. Prohlášení o připravenosti podepsali ministr dopravy ČR Pavel Dobeš a výkonný ředitel GSA Carlo des Dorides.

V období června a srpna 2012 je naplánováno stěhování dosavadních zaměstnanců a činnost nového centra by tak měla být zahájena nejpozději v září stejného roku v budově bývalé České konsolidační agentury v Holešovicích. Česká republika tak získá řadu nových možností v oblasti vývoje nových technologií a nové pracovní příležitosti. Aktuální poloha nového sídla GSA je na mapě obrázku 23 zvýrazněna červenou značkou.



Obrázek 23 Sídlo GSA v Praze [zdroj mapy Google]

## 5.7 Financování projektu

Jak již bylo řečeno, projekt GALILEO je projektován do 4 fází. První a druhá fáze (definiční a testovací fáze) již proběhla a byla financována z rozpočtu Evropské unie a to cca 1 mld. EUR. Jednalo se o část z rozpočtu pro Transevropské dopravní síť (TEN-T). Na třetí a čtvrtou fázi (fáze rozmístění a provozu) měly v původním záměru přispívat soukromé složky prostřednictvím tzv. PPP (Public Private Partnership). Tento způsob financování je založen na vzájemné partnerské dohodě mezi soukromým a veřejným sektorem. Společenství firem se však na společné dohodě ohledně jednotlivých podílů nedohodly, a proto se muselo od tohoto způsobu financování odstoupit [28].

V červnu 2007 se Evropská rada rozhodla, že způsob financování projektu bude zajištěn výhradně z veřejných financí. Tento základní krok pro financování projektu byl Evropskou komisí přijat roku 2008.

V období let 2007 až 2013 je dotace Evropské unie (zahrnut také příspěvek Norska) 3,4 miliardy EUR pro systém GALILEO a EGNOS rozdělena do tří skupin [28]:

- na dokončení fáze vývoje programu GALILEO cca 600 milionů EUR,
- na zaváděcí fázi programu GALILEO cca 2,4 miliardy EUR,
- na provoz systému EGNOS cca 400 milionů EUR.

Čtvrtá (provozní) fáze projektu by měla být financována ze čtyř zdrojů. Prvním a zároveň hlavním zdrojem budou finance ze stran využívajících komerčních služeb systému. Druhým zdrojem financování budou výnosy z poskytnutých licencí a duševního vlastnictví týkajícího se komponentů systému. Třetím zdrojem bude Evropská investiční banka, která poskytne dlouhodobé úvěry s jistým bezúročným obdobím. A čtvrtým zdrojem budou tzv. třetí země, které se podle mezinárodních smluv zavázaly v pomoci při budování a provozu systému GALILEO.

Z těchto zemí spolupráci již podepsala Čína (září 2003), Izrael (červenec 2004), Ukrajina (červen 2005), Indie (září 2005), Saudská Arábie (listopad 2005), Jižní Korea (leden 2006), Maroko (prosinec 2006). V současné době jsou dále vedeny rozhovory o spolupráci s Argentinou, Austrálií, Brazílií, Chile, Japonskem, Kanadou, Malajsií, Mexikem, Norskem, Pákistánem a Ruskem.

Doposud bylo na projekt vynaloženo přes 5 miliard EUR, přičemž celý projekt je odhadován na zhruba 5,9 miliardy EUR. V některých nejnovějších zdrojích se uvádí

celkové náklady až 7 miliard EUR. Jeho roční provozní náklady jsou spočítány Evropskou unií na 220 milionů EUR.

## 6 SROVNÁNÍ GLOBÁLNÍCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ

Jednotlivé družicové systémy pracují na stejném principu, který se liší pouze v některých detailech. Nejvýznamnější rozdíly, které mají zásadní vliv na celkovou kvalitu navigačních systémů, bychom mohli rozdělit z hlediska technického a z hlediska množství a kvality poskytovaných služeb. Neméně zásadní vliv má také podpora pomocí rozšiřujících systémů SBAS, o kterých pojednávala samostatná kapitola.

### 6.1 Z hlediska technického




Jedná se především o jednotlivé uspořádání družic různého počtu pro každý systém specifický. Větší počet družic má vliv na lepší dostupnost signálů a tím zvýšenou schopnost navigace v obtížných podmínkách. Těmito podmínkami je míněna především vyšší schopnost navigace v městských zástavbách. To představuje odolnost signálů proti vícecestnému šíření, které je způsobené odrazem od okolních objektů a tím skreslení vzdálenosti mezi družicí a uživatelem. Správné změření vzdálenosti je přitom základní podmínkou pro přesné určení polohy a navigaci. Družice se také pohybují po různém počtu orbitálních drah a s odlišnou výškou nad povrchem Země.

Dalším důležitým kritériem srovnání je modernizace jednotlivých družic. Systém GALILEO má v tomto směru velkou výhodu, protože jeho družice jsou od samého počátku nejmodernější. U systému GPS je naopak nevýhoda, jelikož družice jsou modernizovány a doplňovány postupně. Aby se jejich modernější technologie projevily, musel by být kosmický segment obnoven prostřednictvím alespoň 18 družic, což představuje možnost navigace kdekoli na Zemi. Družice GALILEO navíc disponují nejnovějšími vodíkovými hodinami a možností signály nejen vysílat, ale také přijímat. Této výhody příjmu signálu od uživatele bude možno využít při provádění záchranných operací. Systém GPS však nezůstane pozadu, a plánuje v letech 2014 – 2021 modernizovat kosmický segment o nové nejmodernější družice Bloku III. Tím bude jeho přesnost navigace srovnatelná se systémem GALILEO.

Systém GLONASS je ze všech tří systémů nejodlišnější a jeho přesnost určení polohy je až s odchylkou 50 metrů. To je zatím nejvíce ze všech dosavadních družicových systémů. Připomínám, že u systému GPS je odchylka přesnosti okolo 15 metrů a u systému GALILEO v řádu pár metrů. Odchyly přesnosti jsou v tomto případě určovány u navigace pro běžného uživatele bez poplatku. V současné době systém GLONASS však probíhá

rozsáhlou modernizací a jeho přesnost by se měla vyrovnat systému GPS do roku 2020. V tomto období hodlá ruská Federální kosmická agentura (Roskosmos) vložit do projektu dalších 300 miliard rublů.

Technické parametry jednotlivých navigačních systémů jsou pro přehlednost uvedeny v následující tabulce. V tabulce je také uveden budoucí čínský globální navigační systém COMPASS, který bude mít v provozu nejvíce obíhajících družic a mohl by se tím zařadit jako nejkvalitnější a nejpřesnější systém.

				
Systém	GPS	Glonass	Galileo	Compass
Země	USA	Rusko	EU	Čína
Výška orbity [km]	20 180	19 130	23 222	21 500
Počet orbitálních drah	6	3	3	3
Sklon k rovníku	55°	65°	56°	55°
Počet plánovaných družic	32	24 +3	27+3	35
Vypouštění družic od roku	1978	1982	2006	2007
Doba oběhu	11 h 58 min	11 h 15 min	14 h 05 min	12 h 50 min
Frekvence	L1, L2, L5	L1, L2, L3	E5a, E5b, E6, E1-L1-E2	B1, B2, B3, L5
Modulace	CDMA	FDMA (CDMA <sup>1</sup> )	CDMA	CDMA
Přesnost [m]	15	50	4 (1 <sup>2</sup> )	10
Garance signálu	Ne (v přípravě)	Ne	Ano	Ne
<u>Vysvětlivky:</u>				
<sup>1</sup> Pro možnou kompatibilitu s jinými systémy GNSS				
<sup>2</sup> Pro placené služby				

Tabulka 6 Tabulka pro srovnání parametrů GNSS

## 6.2 Z hlediska služeb

Proto, aby navigační systém byl co nejlépe konkurenceschopný, je neméně důležitá podpora prostřednictvím aplikací v nejrůznějších oblastech. Jelikož je GALILEO čistě komerční projekt, jsou také jeho služby zaměřeny především pro komerční využití, a tím zasahují do širokého spektra nejrůznějších oborů.

Mezi nejvýznamnější výhody GALILEA patří:

- řízení veřejné dopravy (řízení křižovatek s možností prioritního průjezdu),
- využití pro taxi služby a nákladní dopravu,
- možnost využití pro zjednodušení logistiky železnice,
- využití v zemědělství (např. při určování polohy balíků na polích a možnosti vytváření podrobných map výnosnosti v jednotlivých sektorech),
- možnost sledování výšky mořské hladiny,
- pomoc pohotovostní a záchranné službě,
- pomoc při navigaci slepců,
- pomoc epileptikům,
- mapování pohybu ledovců a ohrožených zvířat,
- monitorování nebezpečných nákladů,
- vybírání mýtného,
- využití při letecké navigaci a řízení letového provozu (GPS v současnosti neumí),
- certifikované služby s garantovanou přesností,
- možnost kompatibility se systémem GPS a GLONASS.

Pro systém GLONASS platí, že jeho správa zůstane stále pod kontrolou ruské armády a mimo některé především dopravní služby bude plnit nadále hlavně služby pro vojenské účely.

Mezi nejvýznamnější změny systému GLONASS patří:

- zvýšení počtu družic a tím i zvýšení přesnosti až na 6 centimetrů,
- možnost navádění raket nového protiraketového systému S-500<sup>31</sup>,

---

<sup>31</sup> Protiraketový systém ruské protivzdušné obrany schopen ničit nadzvukové cíle včetně balistických raket pohybujících se rychlostí 5 km/s v horních vrstvách atmosféry. Jeho dosah bude činit až 600 km.

- ochrana Moskvy před dopravními zácpami,
- v současnosti možná kompatibilita se systémem GPS (větší dostupnost a přesnost),
- již první přijímače na trhu.

V současné době je zájem Evropské unie a Spojených států amerických na vzájemné kooperaci při spolupráci na systémech GPS a GALILEO. Tyto systémy by měly být v budoucnu kompatibilní i spolu se systémem GLONASS.



## 7 NÁVRH SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ SIGNÁLŮ GALILEO

Pro komunikaci s navigačním systémem GALILEO je nejdůležitější zvolit vhodný přijímač. Z hlediska toho, že tento navigační systém je teprve v testovací fázi, je sortiment jednotlivých výrobců velmi omezen. V podstatě se jedná o testovací moduly současně pro příjem systému GPS, GLONASS i GALILEO. K těmto modulům je nutno připojit vhodnou anténu (pokud již neobsahují anténu interní) a propojit je s hlavním počítačem. Komunikace s počítačem je zajištěna prostřednictvím speciálního softwaru, který jednotliví výrobci nabízejí zpravidla bezplatně.

Pro svou práci jsem vybral přijímač s již zabudovanou anténou od výrobce Navilock pod označením NL-602U. Pro jeho připojení přes USB rozhraní jsem zvolil přenosný notebook Hewlett-Packard s běžnými technickými parametry.



Obrázek 24 Přijímač Navilock NL-602U [30]

### 7.1 Přijímač Navilock NL-602U

Univerzální USB GPS přijímač Navilock NL-602U je postaven na nejnovější čipové sadě u-Blox 6 SuperSense© a je schopen přijímat signál z obou navigačních systémů GPS i GALILEO. Je opatřen odolným a vodotěsným pouzdem a pro uchycení je na své spodní části vybaven magnetem. Pro příjem signálu má vestavěnou vysoce citlivou interní anténu zobrazenou na obrázku 25.



Obrázek 25 Anténa přijímače Navilock NL-602U

Technické parametry přijímače NL-602U:

- rozměry: 65 mm x 45 mm x 22 mm,
- čipová sada u-Blox 6 SuperSense© GPS/GALILEO,
- interní aktivní anténa s citlivostí -160 dBm,
- možnost příjmu až 50 kanálů,
- frekvence L1 1575,42 MHz,
- C/A kód 1,023 MHz,
- napájení 5V DC z USB,
- spotřeba cca 40 mA – 120 mA,
- protokol standardu NMEA 0183 v3.01 (GGA, GSA, GSV, RMC, VTG) a UBX
- nastavitelná přenosová rychlost 4800 – 115200 bps,
- komunikační rozhraní USB 2.0 (kompatibilní s USB 1.1 a USB 3.0),
- možnost upgrade firmware (GALILEO + SBAS),
- pro systémy Windows 2000/XP/Vista a 7, Linux kernel 2.4x a 2.6x.

### 7.1.1 Čipová sada u-Blox 6

Švýcarská společnost u-Blox AG vstoupila na trh s novými moduly založenými na nejnovější čipové sadě u-Blox 6 v roce 2010. Ta nahradila dosavadní čipovou sadu u-Blox

5, která byla již navržena pro příjem signálů z družic GPS i GALILEO. Od své předchůdkyně má až o 35 % nižší spotřebu energie a vysokou schopnost potlačení rušení. Ta zajišťuje lepší příjem signálů v nepříznivém prostředí. Jeho nízká cena je výhodná zejména pro uplatnění v automobilním průmyslu a pro implementaci do mobilních telefonů.

Vlastnosti čipové sady u-Blox 6:

- možnost příjmu až 50 kanálů (32 kanálů pro vyhledávání a 18 kanálů pro sledování),
- vestavěná technologie Automotive Dead Reckoning (ADR<sup>32</sup>),
- připravenost pro navigační systémy GALILEO, GLONASS a podpůrné systémy SBAS (WASS, EGNOS, MSAS, GAGAN),
- přesnost \* < 2,5 m (\* < 2 m s podporou SBAS),
- podpora externí paměti pro upgrade firmware (GALILEO),
- inteligentní řízení spotřeby,
- kompatibilita s u-Blox 5 (hardware i firmware),
- provozní teplota -40°C až 85°C,
- vysoká citlivost navigace -160 dBm,
- výborná detekce a eliminace odrazů signálu,
- A-GPS<sup>33</sup> online a off-line asistenční služby.

---

<sup>32</sup> ADR je moderní technologie pro zvýšení přesnosti navigace bez použití podpůrných systémů SBAS. Princip je založen na odhadu polohy při výpadku signálu GPS pomocí gyroskopu. Je využívána především v automobilním průmyslu.

<sup>33</sup> Služba umožňující prostřednictvím stažení potřebných údajů z internetu výrazně urychlit a zpřesnit navigaci zejména po spuštění GPS přijímače.



Obrázek 26 Čip řady u-Blox 6

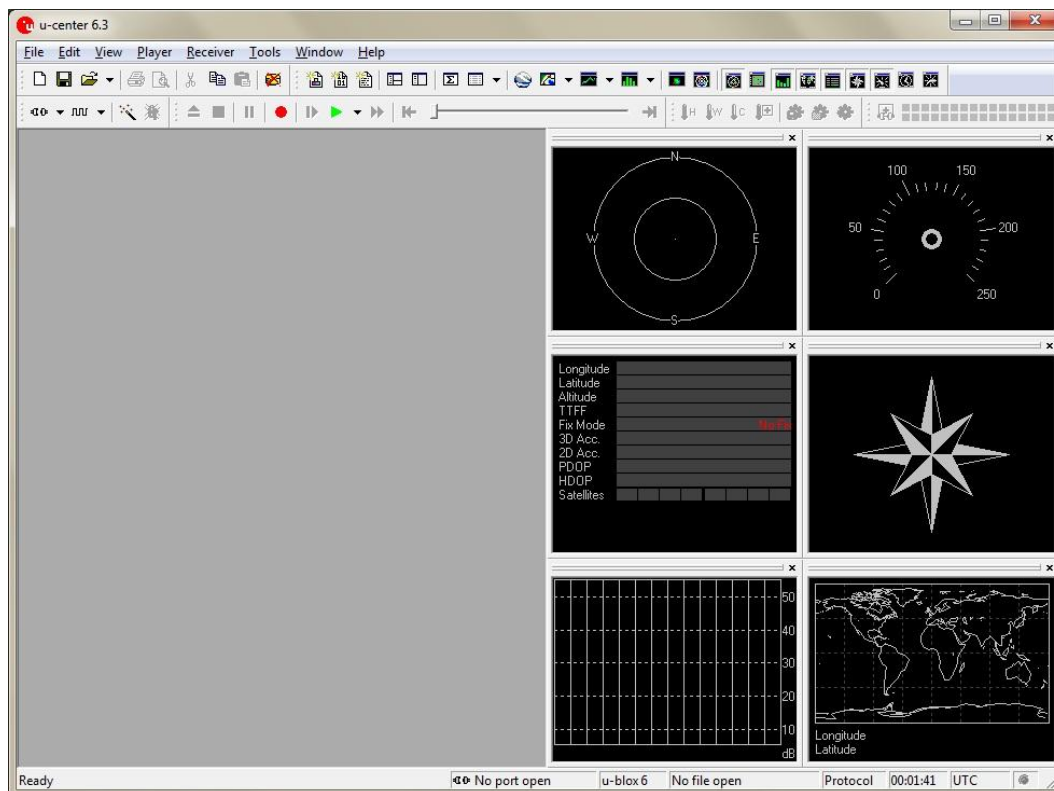
## 7.2 Software

Neméně důležitou součástí pro měření signálů z družic je volba vhodného softwaru. Tento software představuje programové vybavení, prostřednictvím kterého se přijímač propojí s hlavním počítačem. Dále také programové vybavení, pomocí kterého bude přijímač zachytávat signály z družic a v podobě dat je zobrazovat nebo ukládat pro možnost pozdější analýzy.

Pro zapojení přijímače s notebookem je použit operační systém Windows 7. Přijímač se zapojí do USB portu a následně se načtou ovladače, které jsou přiloženy u CD dodávaného výrobcem.

### 7.2.1 U-Center

Na dodávaném CD je přiložen výkonný software u-center společnosti u-Blox, prostřednictvím kterého je přijímač schopen komunikovat s družicemi. Tento software je univerzální pro veškeré přijímače a programovatelné moduly využívající některou z čipových sad u-Blox. Vyniká především svojí jednoduchou ovladatelností a flexibilitou. Jeho prostřednictvím je také možné konfigurovat u-Blox GPS přijímače a upgradovat jejich firmware.



Obrázek 27 Software pro komunikaci s družicemi u-center

Mezi jeho další funkce patří:

- podpora všech přijímačů využívajících čipových sad u-Blox,
- podpora komunikačního standardu NMEA a u-Blox UBX,
- integrovaný klient pro službu A-GPS,
- export datových souborů do aplikace Google Earth<sup>34</sup> a Google Maps,
- vizualizace dat v reálném čase,
- možnost zápisu a zpětného přehrávání nashromážděvaných výsledků,
- možnost zapojení kamery,
- tabulkové zobrazení dat družic, kompas, hodiny, výškoměr, rychloměr a informační panely poloh družic,
- možnost využít systém SBAS<sup>35</sup> (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN),
- konfigurace přijímačů a upgrade firmware.

<sup>34</sup> Pro použití aplikace Google Earth a Google Maps je nutno doinstalovat plugin (Goggle Earth plugin) v některém z webových prohlížečů. Funkci lze tak využít pro zobrazení dat přímo na mapách Google nejen v reálném čase, ale i pro uložení a pozdější analýzu.

<sup>35</sup> Od verze firmware v7.03 a vyšší.

### 7.2.2 Komunikační protokol NMEA 0183

Protokol vytvořený asociací NMEA (National Marine Electronics Association) zajišťuje komunikaci mezi přijímačem a počítačem. Veškerá data jsou posílána prostřednictvím tzv. vět a teprve na základě protokolu NMEA můžeme získat z přístroje smysluplné informace.

Jednotlivé věty začínají vždy znakem (\$) a jejich přenášená data jsou ukončena kontrolním součtem (\*). Věta je následně zakončena znakem <CR><LF>.

Existuje značné množství různých vět, avšak přístroj Navilock NL-602U využívá pouze těchto 6 vět:

- **GGA** – Global Positioning Fix Data (zde jsou obsaženy podrobné informace o pozici).
- **GLL** – Geographic Position Latitude/Longitude (podává informace o geografické poloze prostřednictvím zeměpisné délky, šířky a času).
- **GSA** – GNSS DOP and Active Satellites (tato věta obsahuje informace o aktivních satelitech a jejich odchylkách od přesnosti DOP<sup>36</sup>).
- **GSV** – GNSS Satellites in View (zde jsou uvedeny informace o počtu viditelných satelitů s jejich identifikačními čísly, azimuty a kvalitou jejich signálů).
- **RMC** – Recommended Minimum Specific GNSS Data (zde jsou obsaženy minimální doporučené informace pro určení polohy, rychlosti a času).
- **VTG** – Course Over Ground and Ground Speed (věta obsahuje informace o rychlosti a směru pohybu).

Dostupnost některých informací z vět protokolu NMEA bude ještě ukázána v následující kapitole vlastního měření.

Nyní si pomocí příkladu a tabulky rozeberme strukturu formátu věty GSV:

\$GPGSV, 4, 4, 13, 39, 33, 170, 29 \*4C <CR><LF>

ZNAK	POPIS
\$	Začátek věty
GP	Označení družice (GP = GPS)

<sup>36</sup> Bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic GNSS a přístroje. Často se používá parametr přesnosti polohy (PDOP) a parametr horizontální přesnosti (HDOP). Pokud parametr roste, přesnost se snižuje.

GSV	<i>Označení formátu zprávy</i>	
4	<i>Celkový počet zpráv</i>	
4	<i>Číslo zprávy</i>	
13	<i>Celkový počet viditelných satelitů</i>	
39	<i>Identifikační číslo satelitu (ID)</i>	<i>hodnoty až pro 4 satelity současně</i>
33	<i>Úhlová výška družice (max. 90°)</i>	
170	<i>Azimut družice ve stupních</i>	
29	<i>Kvalita signálu (SNR – Signal to Noise Ratio)</i>	
*4C	<i>Kontrolní součet</i>	
<CR><LF>	<i>Konec věty</i>	

Tabulka 7 Příklad formátu věty GSV

### 7.3 Vlastní měření

V kapitole vlastního měření si názorně předvedeme práci v softwaru u-center. Pomocí obrázků zde bude ukázáno, jak vypadá struktura vybraných vět protokolu NMEA 0183, přesnost navigace na mapách Google a přítomnost evropského podpůrného systému EGNOS. Tyto veškeré SBAS systémy jsou k dispozici pouze v nejnovější verzi firmware 7.03 poskytované na oficiálních stránkách výrobce u-Blox.

Z důvodu, že systém GALILEO je teprve v testovací fázi a na oběžnou dráhu byly vyslány dvě plnohodnotné družice teprve nedávno, neposkytuje výrobce v tuto chvíli firmware pro zařízení s touto čipovou sadou u-Blox, která by tím byla schopna dosavadní družice GALILEO detekovat. Proto pro tuto část vlastního měření využijeme družic GPS. V době, kdy bude výrobcem dodán nový firmware s podporou systému GALILEO a GLONASS, bude měření naprosto totožné jako v případě GPS.

Na obrázku 28 je zobrazena věta GGA ohraničená v červeném rámečku. Jak jsme si již řekli, jsou zde obsaženy informace o pozici. Jelikož je software u-center vytvořen jako uživatelsky příjemné prostředí, jsou v jeho horní části navigačního okna všechny informace přehledně graficky zobrazeny. Pod modře označeným řádkem je možno vidět počet družic použitých pro výpočet polohy. Nikoliv všech družic v dosahu. V tomto případě jich je 8. Družice, které nejsou použity přímo pro výpočet polohy, ale jejich signál je dosažitelný, jsou vidět ve vedlejším okně pro pozici satelitů v modré barvě. Družice červené jsou ty, jejichž signál je nedosažitelný, nebo dosažitelný jen obtížně a tudíž nepoužitelný. O řádek výš je zobrazena hodnota pro určení kvality navigace (hodnota 1 znamená 2D/3D navigace).

u-center 6.3 - [Messages - NMEA - GxGGA (Global Positioning System Fix Data) - GPGGA (Global Positioning System Fix Data)]

File Edit View Player Receiver Tools Window Help

NMEA - GxGGA (Global Positioning System Fix Data) - GPGGA (Global Positioning System Fix Data) 0 s

Parameter	Value	Unit	Description
UTC	082624.00	hhmmss.sss	Universal time coordinated
Lat	4924.04066	ddmm.mmmm	Latitude
Northing Indicator	N		N=North, S=South
Lon	01740.98162	dddmm.mmmm	Longitude
Easting Indicator	E		E=East, W=West
Status	1		0=Invalid, 1=2D/3D, 2=DGPS, 6=Deactivated
SVs Used	08		Number of SVs used for Navigation
HDOP	0.89		Horizontal Dilution of Precision
Alt (MSL)	370.4	m	Altitude (above means sea level)
Unit	M		M=Meters
Geoid Sep.	41.5	m	Geoid Separation = Alt(HAE) - Alt(MSL)
Unit	M		M=Meters
Age of DGPS Corr		s	Age of Differential Corrections
DGPS Ref Station			ID of DGPS Reference Station

0000 24 47 50 47 47 41 2C 30 38 32 36 \$GPGGA,0826  
000B 32 34 2E 30 30 2C 34 39 32 34 2E 24.00,4924.  
0016 30 34 30 36 36 2C 4E 2C 30 31 37 04066,N,017  
0021 34 30 2E 39 38 31 36 32 2C 45 2C 40.98162,E,  
002C 31 2C 30 38 2C 30 2E 38 39 2C 33 1,08,0.89,3  
0037 37 30 2E 34 2C 4D 2C 34 31 2E 35 70.4,M,41.5  
0042 2C 4D 2C 2C 2A 35 36 0D 0A ,M,,\*5688

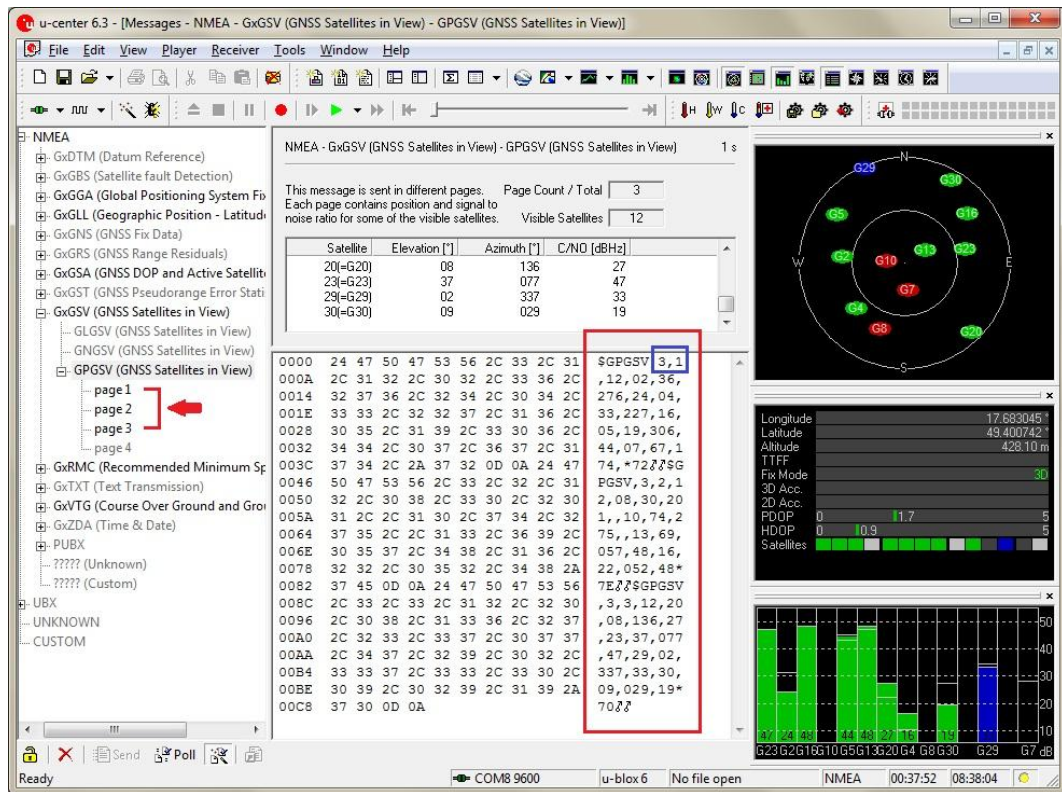
Longitude 17.683027°  
Latitude 49.400678°  
Altitude 411.90 m  
TFF  
Fix Mode 30  
3D Acc.  
2D Acc.  
PDOP 0 11.8 5  
HDOP 0 0.9 5  
Satellites

Ready COM8 9600 u-blox 6 No file open NMEA 00:26:11 08:26:24

Obrázek 28 Struktura věty GGA protokolu NMEA 0183

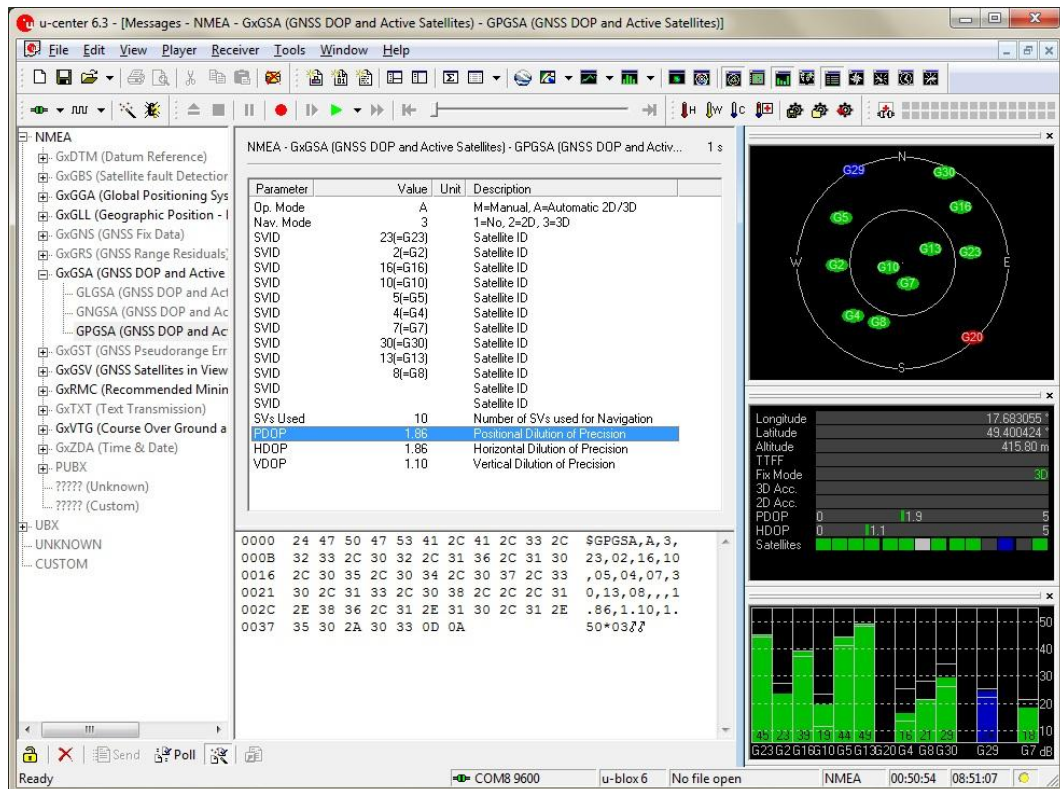
Na dalším obrázku (obrázek 29) je zobrazena věta GSV, kterou jsme si jako příklad uvedli v předchozí kapitole. Všimněme si však, že se jeví jako sekvence více vět, z nichž každá začíná právě zmíněným znakem \$. To proto, že GSV věta může obsahovat údaje až ze čtyř družic současně a pro omezený počet znaků jedné věty (jedna věta maximálně 80 znaků) musí být rozdělena do 4 vět. První hodnota každé věty značí, z kolika dalších vět je celá zpráva složena, a druhá hodnota udává, kolikátá v pořadí zprávy věta je. V tomto případě je celkový počet vět 3 a vyznačena modrým rámečkem je na obrázku první z nich.





Obrázek 29 Struktura věty GSV protokolu NMEA 0183

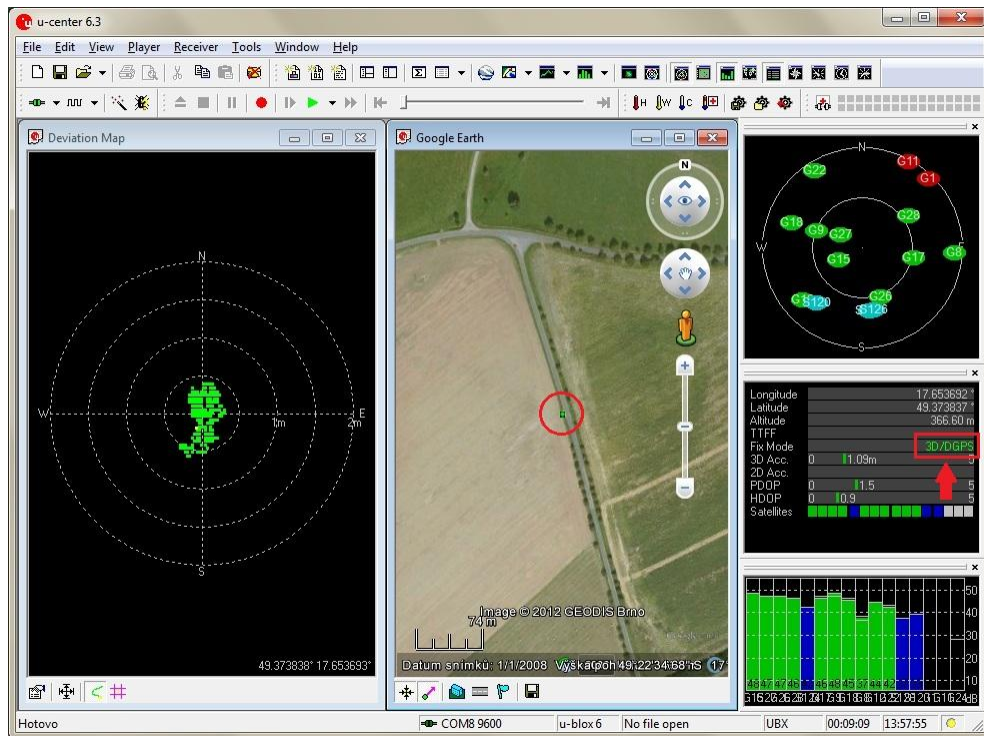
Prostřednictvím obrázku 30 je zobrazena zpráva GSA s podrobnými informacemi o družicích použitých pro navigaci a hodnotami odchylek přesnosti od DOP. Jsou zde uvedeny všechny tři obecné termíny odchylek přesnosti využívané v jakémkoliv GPS programu (PDOP činitel ovlivňující chybu ve 3D prostoru, HDOP činitel ovlivňující chybu v horizontální rovině a VDOP činitel ovlivňující chybu ve vertikální rovině).



Obrázek 30 Struktura věty GSA protokolu NMEA 0183

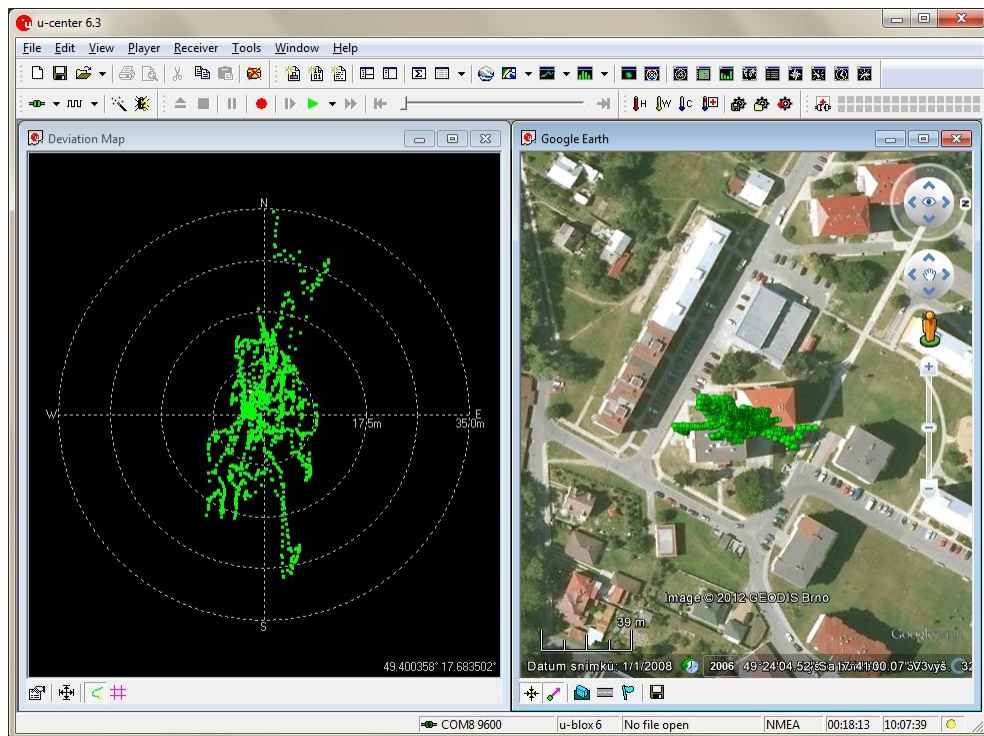
Nový firmware přístroje obsahuje možnost příjmu signálu z podpůrných systémů SBAS. V našem případě se jedná o systém EGNOS<sup>37</sup>. Na dalším snímku jsou v pravé satelitní mapě viditelné jeho 2 družice (S120 a S126), využívané pro navigaci. Hodnota kvality navigace se tím změnila z 3D na 3D/DGPS (Differential Global Position System). Nelze si nevšimnout také nepřesnosti určení polohy, která nepřesáhne v poloměru více jak 1 m. Upozorňuji však, že tyto hodnoty jsou měřeny v otevřeném prostoru a v zastavěné nebo zalesněné oblasti by byly o něco vyšší.

<sup>37</sup> Evropská komise vyhlásila oficiální zahájení provozu systému EGNOS pro občany a podniky zdarma v druhé polovině roku 2009. Systém se tím stal prvním předzvěstím družicové navigace GALILEO.



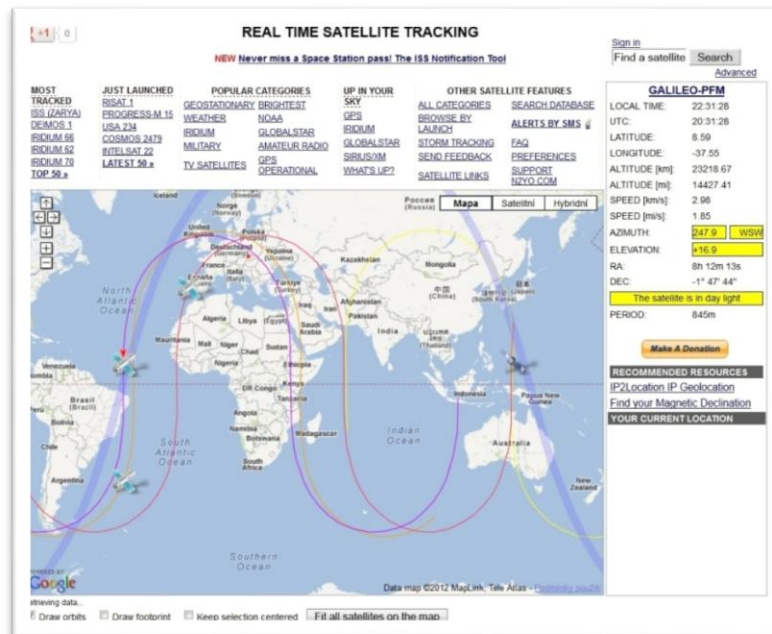
Obrázek 31 Navigace s podporou systému EGNOS

Pro srovnání je tato skutečnost zobrazena na obrázku 32, kde jsou údaje nepřesnosti měřeny v obydlené zástavbě panelových domů. Zde je vidět míra nepřesnosti o poloměru více jak 35 metrů.



Obrázek 32 Navigace bez podpory systému EGNOS

V poslední části kapitoly je zobrazena prostřednictvím internetových stránek mapa, pro zjištění aktuální pozice kterékoliv družice. Tyto stránky jsou volně přístupné a bezplatné. Lze si zde zvolit jakoukoliv družici libovolného navigačního systému a sledovat jí v reálném čase po její oběžné dráze. Pro ukázkou na následujícím obrázku jsem zvolil všechny čtyři družice navigačního systému GALILEO (zleva GIOVE-B, GALILEO-PFM vybrána a označena šipkou, GALILEO-FM2 a GIOVE-A).



Obrázek 33 Reálná mapa družic GALILEO [31]

V roce 2014, kdy by měl být systém GALILEO funkční prostřednictvím minimálně 18 družic na oběžné dráze, budou již jednotlivé přijímače tento systém a systém GLONASS plně podporovat. V té době bude již možné pomocí softwaru u-center a přijímačů čipové sady u-Blox jednotlivé družice detekovat a také prostřednictvím nich provádět navigaci. Bude možné také kombinovat možnosti prostřednictvím více navigačních systémů a provádět tak určování polohy a navigaci s ještě větší přesností.

## ZÁVĚR

Družicové navigační systémy jsou v dnešní době již nedílnou součástí běžného života. Ačkoliv si to v některých případech ani neuvědomujeme, jejich rozsah stále častěji a ve větší míře zasahuje do nejrůznějších oborů lidských činností. Stačí si jen uvědomit, kolik z nás již používá ve svých vozidlech služeb těchto systémů nebo kolik mobilních telefonů je v současné době vyrobeno právě s podporou družicové navigace. Přitom právě největší množství těchto služeb využívají uživatelé při každodenních činnostech především v silniční dopravě a v ochraně svého majetku.

V této práci bylo úkolem čtenáře seznámit se základními principy činnosti družicových navigačních systémů. Byly zde podrobněji probrány systémy GPS, GLONASS a GALILEO. U těchto systémů byla rozebrána jejich základní charakteristika jak z hlediska základní struktury vesmírného a pozemního segmentu, tak i z hlediska jednotlivých signálů a možnostmi nabízených služeb prostřednictvím těchto signálů. Přitom právě rozmanitost a kvalita těchto služeb bude hrát velmi důležitou roli v konkurenceschopnosti mezi jednotlivými družicovými systémy. V tomto ohledu by nově vznikající GALILEO mohl mít značnou výhodu, jelikož je od samého začátku vyvíjen především pro komerční využití a jeho družice patří mezi ty nejmodernější. Také Evropská unie si je vědoma nezávislosti a důležitosti tohoto systému a poskytuje nemalé finanční částky na podporu ve vývoji nejrůznějších aplikací určených pro využití družicové navigace.

V praktické části práce jsem se podrobněji zaměřil na budující se systém GALILEO. Byl zde také zhodnocen jeho aktuální stav, s čímž souvisí i přestěhování jeho hlavního řídicího centra z Bruselu do Prahy. Dále zde bylo rozebráno financování celého projektu a v samostatné kapitole srovnání tohoto systému s jeho konkurenty GPS a GLONASS. V poslední části práce jsem navrhnul vhodný a cenově dostupný přijímač a software pro komunikaci s družicovými systémy a vše názorně popsal a ukázal prostřednictvím obrázků. Bylo zde ukázáno, že přesnost určení polohy se může podle aktuální struktury terénu značně lišit. Z toho je vidět, že GPS navigace je dostačující pouze v případech, pokud nejde o navigaci ve složitých zástavbových oblastech. Také podpůrný systém EGNOS, jehož prostřednictvím jsou k uživatelům vysílány korekční údaje, může sehrát v přesném určení polohy významnou roli.

Ačkoliv se o systému GALILEO objevují v médiích informace stále častěji, není v současné době ještě zprovozněn a nachází se teprve v testovací fázi. Jeho prvotní spuštění by mělo být zahájeno v roce 2014 s celkovým počtem 18 družic a s omezeným počtem služeb. Konečné zahájení plného provozu a zpřístupnění veškerých služeb je naplánováno na konec roku 2019. V té době by měli i výrobci poskytnout plnohodnotné přijímače s nejnovějším softwarem pro přesnější určení polohy a navigaci prostřednictvím tohoto systému. Budoucnost však podle mého názoru bude patřit výrobkům, které budou moci využít všech těchto družicových systémů současně. To nám může zajistit mnohem větší přesnost a hlavně dostupnost signálů v méně přístupných lokalitách, kde pouze jeden systém nebude schopen zajistit příjem signálů z dostatečného počtu družic najednou. V současnosti již některé přijímače na trhu jsou, ale pouze s možností využití navigace systému GPS a GLONASS. Přitom u systému GLONASS je v současné době aktivních 24 družic, ale ruská vláda jeho dostupnost pro veřejnost zatím neuvolnila. To se však očekává již během tohoto roku. V nejbližších letech by se také měla změnit situace na trhu, který budou zaplavovat výrobky s plnou kompatibilitou mezi těmito systémy stále častěji. Tomu napomáhají i probíhající jednání mezi Evropskou unií a USA o vzájemné spolupráci. Výsledkem bude tendence tyto dva systémy spojit pro co možná největší kompatibilitu a využití.

## CONCLUSION

Satellite navigation systems are nowadays an entire part of a daily life. Although, we usually do not realize it, satellites systems interferes into all sorts of fields of human employments. All we can do is to realise how many of us use these system services in our cars or how many cell phones are already produced with a satellite navigation support. Nevertheless, the most of these services are used by users for daily activities mainly in road traffic and property protection.

The purpose of this work was to introduce basic principles and activities of satellite navigation systems to a reader. Systems GPS, GLONASS and GALILEO were described more accurately in the work. Basic characteristics of these systems were analyzed from basic structure of cosmic and land segments point of view, also from single blebs's point of view and possibilities of offered services by means of these signals. Nevertheless, the multiplicity and quality of these services will play very important part in a competitiveness between of single satellite systems. In this point of view, the recently rising GALILEO would have an extensive privilege, because it has been developed for a comercial use from its very begining and its satellites belongs between the most modern. Also the European union is aware of the independence and the importance of this system and therefore provides not a little financial amounts to support the development of different applications intended to satellite navigation use.

I made more detailed focus on building GALILEO system in the practical part of the work. Its actual status which relates with a move of its main control centre from Brussels to Prague. Further, the valuation of the whole project was analysed in the single capture as well as comparison of this system with its competitor's GPS and GLONASS. I have designed the suitable and reasonable receiver and software for communication with satellite systems and described everything by the visual demonstsraton and showed it by means of pictures in the last part of the work. It was shown that the accuracy of a location assessment can be different due to an actual landscape structure. It perceives, that GPS navigation is sufficient only in cases when it is not about a navigation in a tricky landscape. Also the adjunctive EGNOS system by whose means are corrective data trasmitted to users can act a big role in accurate location assessment.

Although there are information about GALILEO more offten in press, it is not launched yet and is still in a testing stage. Its primary startup should be initiated in 2014 with a

global amount of 18 satellites and with bounded amount of services. Final initiation of the full running and accessing of all services is planned for the end of 2019. Also the producers should be able to provide adequate receivers with the latest software for more accurate location assessment and navigation by means of this system. In my opinion, the future will benefit to products, which will be able to use all of these satellite systems all at once. It can assure much bigger accuracy and mainly signal accessibility in less enterable localities, where only one system will not be able to provide a bleep uptake from a sufficient amount of satellites all at once. There are nowadays some receivers on market, but only with a possibility of use of GPS and GLONASS navigation systems. Nevertheless, with the GLONASS system, there are 24 active satellites at the moment, but the Russian government has not provided its accessibility for public. However, it is estimated within this year. The situation on market is also to be changed in the closest years and products with a full compatibility among these systems are supposed to be more frequent. This is also supported by running actions between European union and USA about a mutual cooperation. The result will be an intention to connect these two systems for, if possible, the biggest compatibility and use.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 80-248-0124-8.
- [2] Globální družicový polohový systém. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 24.1.2012 20:09 [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GNSS>>
- [3] Russian building out GLONASS monitoring network, augmentation system. Inside GNSS [online]. 19. 8. 2009 [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <<http://www.insidegnss.com/node/1631>>
- [4] The SXBlue Advantage. SX Blue GPS Series [online]. [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <<http://www.sxbluegps.com/sxblue-advantage.html>>
- [5] Navigation Services-Ground Based Augmentation System. Federal Aviation Administration [online]. 18.8.2010 09:44 [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <[http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/tech\\_ops/navservices/gnss/laas/](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/tech_ops/navservices/gnss/laas/)>
- [6] *Understanding GPS: principles and applications*. 2nd ed. Editor Elliott D Kaplan, Christopher J Hegarty. Boston: Artech House, c2006, 703 s. ISBN 15-805-3894-0.
- [7] Global Positioning System. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 7.2.2012 21:01 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)>
- [8] Control Segment (Monitor Stations). *Kowoma.de: The GPS System* [online]. 19. 4. 2009 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <[http://www.kowoma.de/en/gps/control\\_segment.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm)>
- [9] SEDLÁK, Vladimír, Peter LOŠONCZI a Ivana PODLESNÁ. *Družicové navigačné systémy*. Vyd. 1. VŠBM Košice: Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, 2009. ISBN 978-80-89282-31-9.
- [10] Garmin Nüvi 3790T Lifetime. In: *Heureka!: Porovnáva ceny na internetu* [online]. 2000 - 2012 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <<http://gps-navigace.heureka.cz/garmin-nuvi-3790t-lifetime/>>

- [11] BORRE, K. *A software-defined GPS and Galileo receiver: a single-frequency approach*. Boston: Birkhäuser, c2007, 176 s. ISBN 978-0-8176-4390-4.
- [12] GPS Modernization. *Office of Space Commercialization* [online]. 05. 01. 2011 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://www.space.commerce.gov/gps/modernization.shtml>>
- [13] Radiové signály GPS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 11. 1. 2012 23:47 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Rádiové\\_signály\\_GPS](http://cs.wikipedia.org/wiki/Rádiové_signály_GPS)>
- [14] The spacecraft "Glonass-M" was launched into orbit. *Orbiter.ch: Space News* [online]. 28. 11. 2011. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <<http://orbiterchspacenews.blogspot.com/2011/11/spacecraft-glonass-m-was-launched-into.html>>
- [15] Russia orbits a new-generation GPS bird. *RussianSpaceWeb.com: News & History of Astronautics in the Former USSR* [online]. © 2001-2012, 28. 3. 2011 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <[http://www.russianspaceweb.com/uragan\\_k.htm](http://www.russianspaceweb.com/uragan_k.htm)>
- [16] REVNIVYKH, Sergey G. GLONASS Status, Development and Application. In: *Federal Space Agency* [online]. 4. 9. 2007 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <<http://www.unoosa.org/pdf/icg/2007/icg2/presentations/05.pdf>>
- [17] GLONASS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 6.3.2012 09:23 [cit. 2012-03-08]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>>
- [18] MENDIZABAL, Jaizki, Roc BERENGUER a Juan MELÉNDEZ. *GPS and GALILEO: Dual RF Front-End Receiver and Design, Fabrication, and Test*. The McGraw-Hill Companies, 2009, 194 s. ISBN 978-0-07-159870-5.
- [19] Plán zavádění programu Galileo. *Ministerstvo dopravy: Odbor kosmických technologií a družicových systémů* [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/galileo/plan-zavadeni-programu-galileo/>>
- [20] Úspěšný start první navigační družice Galileo. *Česká kosmická kancelář: Czech Space Office* [online]. © 2006-2012, 28. 12 2005 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://www.czechspace.cz/cs/media/uspesny-start-prvni-navigacni-druzice-galileo>>

- [21] Druhá ověřovací družice systému Galileo na oběžné dráze. In: *Česká kosmická kancelář: Czech Space Office* [online]. © 2006-2012, 27. 4. 2008 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://www.czechspace.cz/cs/media/druha-overovaci-druzice-systemu-galileo-obezne-draze>>
- [22] How GIOVE's signals show way for Galileo. *Orbiter.ch: Space News* [online]. 13. 1. 2011 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <<http://orbiterchspacenews.blogspot.com/2011/01/how-gioves-signals-show-way-for-galileo.html>>
- [23] Jedna raketa, dvě družice, tři úspěchy pro Evropu. *European Space Agency: Česká republika* [online]. © 2000-2012, 21. října 2011 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <[http://www.esa.int/esaCP/SEMV27TWLUG\\_Czech\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMV27TWLUG_Czech_0.html)>
- [24] Galileo-IOV PFM. WEEMAELS, Mariette, Raymond WEEMAELS a Pierre BAUDUIN. *WEEBAU: catalogue mondial des timbres de l'espace : wereldcatalogus van ruimtevaartzegels : world space catalogue* [online]. 2e éd. Antwerpen, Belgique: R-Editions, 1991, 09. 02. 2012 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <<http://weebau.com/satellite/G/galileo-pfm.htm>>
- [25] MIRET, Ester Armengou. Galileo signal-in-space design. In: *Galileo: Information center for Latin America* [online]. 9. 5. 2005 [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <[http://www.galileoic.org/la/files/SignalPresentation\\_MasterPolito\\_9thMay2005.pdf](http://www.galileoic.org/la/files/SignalPresentation_MasterPolito_9thMay2005.pdf)>
- [26] Galileo-poskytované služby. In: *Ministerstvo dopravy: Obor kosmických technologií a družicových systémů* [online]. [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <<http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/galileo/galileo---poskytované-sluzby/>>
- [27] Sídlo GSA bude umístěno v Praze. In: *Ministerstvo dopravy: Obor kosmických technologií a družicových systémů* [online]. [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: <<http://www.spacedepartment.cz/2-sekce/agentura-gsa/sidlo-gsa-v-praze/>>
- [28] Financování programu Galileo: Jednotlivé fáze financování programu Galileo. In: *Ministerstvo dopravy: Odbor kosmických technologií a družicových systémů* [online]. [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: <<http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/galileo/financovani-programu-galileo/>>

- [29] Komponenty systému Galileo. In: *Ministerstvo dopravy: Odbor kosmických technologií a družicových systémů* [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <<http://www.spacedepartment.cz/3-sekce/galileo/komponenty-systemu-galileo/>>
- [30] NL-602U ublox6 - USB Empfänger. In: *NAVILOCK: GPS Mobile Navigations-Systeme für Notebook, Pocket PC, Palm und Smart Phone* [online]. 09. 12. 2010 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <[http://www.navilock.de/view/HandbuchSLASHManual/61840\\_-\\_NL-602U\\_manual\\_V10/729](http://www.navilock.de/view/HandbuchSLASHManual/61840_-_NL-602U_manual_V10/729)>
- [31] Real Time Satellite Tracking and Predictions. In: *N2YO.com* [online]. Copyright © N2YO.com, 2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <<http://www.n2yo.com/?s=28922|32781|37847|37846>>
- [32] SCHMID, Andreas. *Advanced Galileo and GPS Receiver Techniques: Enhanced Sensitivity and Improved Accuracy*. New York: Nova Science Publishers Inc., 2009, 235 s. electrical engineering developments series. ISBN 978-1-60741-346-2.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ADR	Automotive Dead Reckoning
BEIDOU	Beidou Satellite Navigation System
BOC	Binary Offset Carrier
BPSK	Binary-Phase Shift Keying
CC	Control Center
CDMA	Code Division Multiple Access
CNAV	Civilian Navigation Message
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Commercial Service
CS	Control Segment
DGPS	Differential Positioning System
EC	European Commission
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System
ERIS	External Region Integrity Systems
ESA	European Space Agency
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FOC	Full Operational Capability
GA	Ground Antenna
GAGAN	GPS Geo Augmented Navigation
GBAS	Ground Based Augmentation Systems
GCC	Ground Control Center
GCS	Ground Control Segment
GEO	Geosynchronous Satellite

---

GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GMS	Ground Mission Segment
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSA	GNSS Supervisory Authority
GSLV	Geosynchronous Satellite Launch Vehicle
GSS	Galileo Sensor Station
IOC	Initial Operational Capability
IOV	In-orbit Validation
LAAS	Local Area Augmentation System
MCS	Master Control Station
MEO	Medium Earth Orbit
MNAV	Military Navigation Message
MS	Monitoring Station
MSAS	Multifunctional Satellite Augmentation System
NAGU	Notice Advisory to GLONASS Users
NAVSAT	Navy Navigation satellite System
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging
NLES	Navigation Land Earth Station
NMEA	National Marine Electronics Association
NTS	Navigation Technology Satellite
OS	Open Service
PM	Phase Modulation
PPP	Public Private Partnership
PRN	Pseudo Random Noise
PRS	Public Regulated Service

---

QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
SA	Selective Availability
SAR	Search and Rescue Service
SBAS	Satellite Base Augmentation Systems
SCC	System Control Center
SDCM	System of Differential Correction and Monitoring
SLR	Satellite Laser Ranging
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System
SOL	Safety of Life
SS	Space Segment
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
TT&C	Telemetry, Tracking and Command/Communication
ULS	Up-link Station
US	User Segment
USA	United States of America
USAF	United States Air Force
UTC	Coordinated Universal Time
WASS	Wide Area Augmentation System

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Určování polohy dálkoměrnou metodou [1] .....	12
Obrázek 2 Určování polohy úhломěrnou metodou [1] .....	12
Obrázek 3 Princip trilaterace [18] .....	15
Obrázek 4 Vliv časového posunu na přesnost měření [1] .....	16
Obrázek 5 Princip funkce SBAS [3] .....	20
Obrázek 6 Mapa některých systémů SBAS [4] .....	20
Obrázek 7 Princip funkce GBAS [5] .....	21
Obrázek 8 Kosmický segment GPS [6] .....	25
Obrázek 9 Komponenty družic BLOK IIR [6] .....	26
Obrázek 10 Řídicí a monitorovací stanice pozemního segmentu GPS [8] .....	27
Obrázek 11 Přijímače GPS [10] .....	29
Obrázek 12 Přehled signálů GPS [1] .....	30
Obrázek 13 Navigační zpráva GPS [11] .....	32
Obrázek 14 Kosmický segment GLONASS [6] .....	37
Obrázek 15 Družice URAGAN-M [14] .....	38
Obrázek 16 Družice URAGAN-K [15] .....	39
Obrázek 17 Pozemní řídicí segment GLONASS [16] .....	41
Obrázek 18 Kosmický segment GALILEO [23] .....	48
Obrázek 19 Experimentální družice GIOVE-B [22] .....	50
Obrázek 20 Družice GALILEO-IOV PFM [24] .....	51
Obrázek 21 Struktura navigační zprávy GALILEO [11] .....	55
Obrázek 22 Časový plán projektu GALILEO [19] .....	57
Obrázek 23 Sídlo GSA v Praze [zdroj mapy Google] .....	58
Obrázek 24 Přijímač Navilock NL-602U [30] .....	65
Obrázek 25 Anténa přijímače Navilock NL-602U .....	66
Obrázek 26 Čip řady u-Blox 6 .....	68
Obrázek 27 Software pro komunikaci s družicemi u-center .....	69
Obrázek 28 Struktura věty GGA protokolu NMEA 0183 .....	72
Obrázek 29 Struktura věty GSV protokolu NMEA 0183 .....	73
Obrázek 30 Struktura věty GSA protokolu NMEA 0183 .....	74
Obrázek 31 Navigace s podporou systému EGNOS .....	75
Obrázek 32 Navigace bez podpory systému EGNOS .....	75



Obrázek 33 Reálná mapa družic GALILEO [31] ..... 76

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Postup modernizace družic GPS [zdroj 13].....	32
Tabulka 2 Používané kmitočty systému GLONASS [1, 6] .....	42
Tabulka 3 Postup modernizace družic GLONASS [17].....	44
Tabulka 4 Přehled signálů GALILEO [25] [32].....	54
Tabulka 5 Přehled navigačních zpráv Galileo [25] .....	55
Tabulka 6 Tabulka pro srovnání parametrů GNSS.....	62
Tabulka 7 Příklad formátu věty GSV .....	71