

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA EKONOMICKO – SPRÁVNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

MARCEL MOCHAN

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Globální navigační systémy
Marcel Mochan

Bakalářská práce
2008

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav systémového inženýrství a informatiky
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marcel MOCHAN**
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**

Název tématu: **Globální navigační systémy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Historie a vývoj GPS
2. Technologie a princip činnosti
3. Využití a přínos
4. Zhodnocení a výhled do budoucna

Rozsah grafických prací:

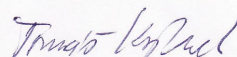
Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] ČERNÝ, Jiří, STEINER, Ivo. GPS od A do Z. 4. aktualiz. vyd. [s.l.]: Picodas, 2006. 264 s. ISBN 80-239-7516-1.
- [2] HOJGR, Radek, STANKOVIČ, Jan. GPS : Praktická uživatelská příručka. [s.l.]: Computer Press, 2007. 256 s. ISBN 978-80-251-1734-7.
- [3] GPS World. GPS World [online]. 2007 [cit. 2007-10-16]. Dostupný z WWW: <<http://gpsworld.com/>>.

Vedoucí bakalářské práce:



Ing. Tomáš Kořínek

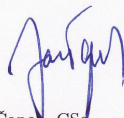
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

1. října 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2008



prof. Ing. Jan Čapek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 31. října 2007

SOUHRN

Bakalářská práce na téma „Globální navigační systémy“ popisuje vývoj a technologii těchto systémů od doby jejich vzniku až po nejmodernější projekty. Práce je zaměřena především na systém GPS, který je v současné době jediný plně funkční a nejdostupnější. Pozornost je věnována zejména ověření přesnosti systému, kvalitě a dostupnosti signálu, porovnání kvality jednotlivých přijímačů a srovnání teoretických a naměřených hodnot.

KLÍČOVÁ SLOVA:

družice, přijímače, signál, GPS, navigace, souřadnicové systémy

TITLE

Global positioning systems

ABSTRACT

This bachelor thesis about „Global positioning system“ describes development and technology of this system since the time of their invention to the most modern projects. The thesis is focused especially on GPS system which is the only one fully operational and the most available in present. Attention is mainly attended to verify the accuracy of the system, the quality and the availability of the signal, comparison quality of receivers and confrontation their theoretical and measured values.

KEYWORDS

satellite, receiver, signal, GPS, navigation, coordinate systems

OBSAH

ÚVOD	7
1. HISTORIE NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ	8
1.1. PRVNÍ DRUŽICOVÉ SYSTÉMY	9
1.1.1. Systémy Transit a Timation	9
1.1.2. Systémy PARUS a CIKADA	9
1.2. VÝVOJ GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)	10
1.2.1. Stručné seznámení s GPS	10
1.2.2. Jednotlivé fáze vývoje	10
2. TECHNOLOGIE A PRINCIP ČINNOSTI	13
2.1. SEGMENTY SYSTÉMU GPS	13
2.1.1. Kosmický segment	13
2.1.2. Řídící segment	16
2.1.3. Uživatelův segment	17
2.2. METODY URČOVÁNÍ POLOHY	18
2.2.1. Základní metody	18
2.2.2. Signály vysílané družicemi	19
2.3. PRINCIPY URČOVÁNÍ POLOHY	22
2.3.1. Trilaterace ve 2D	23
2.3.2. Trilaterace ve 3D	23
2.3.3. Matematické vyjádření	24
2.3.4. Souřadnicové systémy	25
2.4. PŘESNOST URČENÍ POLOHY	25
2.4.1. Dostupnost signálu družic	26
2.4.2. Počet viditelných družic	26
2.4.3. Přesnost měření vzdálenosti	26
2.4.4. Přesnost určení polohy družic	27
2.4.5. Vlastní výpočet polohy	27
2.4.6. Korekční signály	28
2.4.7. Selective availability	29
3. OSTATNÍ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY	30
3.1. GLONASS	30
3.1.1. Historie a budoucnost systému	30
3.1.2. Architektura systému	31
3.2. GALILEO	32
3.2.1. Historie a budoucnost	33
3.2.2. Fáze vývoje systému – původní plán	33
3.2.3. Skutečný vývoj systému	34
3.2.4. Komponenty systému Galileo	35
3.2.5. Architektura systému Galileo	35
3.2.6. Služby Galilea	36
3.3. COMPASS (BEIDOU)	37
3.4. IRNSS	37
4. MOŽNOSTI VYUŽITÍ NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ	38
5. ZHODNOCENÍ SYSTÉMU GPS	40
5.1. PŘEHLED POUŽITÝCH PŘIJÍMAČŮ	40
5.2. NAMĚŘENÉ HODNOTY	41
5.3. ZAZNAMENÁNÍ SOUŘADNIC	42
5.3.1. Nadmořská výška	43
5.4. VIDITELNOST DRUŽIC	46
5.5. POLOHA DRUŽIC	48
5.6. MĚŘENÍ RYCHLOSTI	51
5.7. PŘESNOST MĚŘENÍ	52
5.7.1. Přesnost výpočtu polohy – DOP	52

ZÁVĚR	56
LITERATURA	57
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

Úvod

Globální družicové polohové systémy označované též jako GNSS (Global Navigation Satellite System) se díky svým možnostem stávají prioritou nejen při vyhledávání polohy kdekoli na Zemi, ale i v jiných oblastech.

Základní vlastností navigačních systémů je schopnost nalézt požadované místo s příslušnou trasou a schopnost navést na toto místo daného uživatele v reálném čase. Díky této skutečnosti se satelitní navigace stává mezi civilními uživateli velmi populární. Přispívá k tomu i zlepšující se přesnost navigování pomocí stále novějších technologií, velký výběr navigačních přístrojů (přijímačů), z kterého vyplývá větší cenová dostupnost, a v neposlední řadě také jednoduchost a přehledné ovládání navigací.

Zkratka GPS (Global Positioning System) označuje jediný globální navigační systém, který je v současné době plně funkční. Téměř všechny navigační přístroje, které jsou volně k prodeji veřejnosti, přijímají pouze signál GPS.

Cílem práce je seznámit čtenáře s historií a vývojem významných globálních navigačních systémů s výhledem do budoucna a dále přiblížit jejich různé možnosti využití v praxi. V práci je nejvíce prostoru věnováno nejrozšířenějšímu systému GPS, který je v závěrečných kapitolách testován. Technologie družicových systémů se základními principy určování polohy je tedy vysvětlena převážně na systému GPS. Technická stránka ostatních systémů je z důvodu značné podobnosti s GPS popsána jen stručně. Značná část práce je zaměřena na projekt Galileo, který je považován za jeden z největších a nejdražších evropských projektů. Tento systém by se měl stát nejmodernější alternativou satelitních navigačních systémů a měl by poskytovat vyšší přesnost a především více služeb oproti systému GPS.

Hlavním cílem práce je zhodnocení systému GPS, ve kterém bude sledována přesnost systému, dostupnost a kvalita signálu, kvalita a porovnání jednotlivých přijímačů. Dále bude porovnán rozdíl mezi teoretickými a naměřenými hodnotami. Smyslem práce je tedy ověřit funkčnost systému z pohledu běžného uživatele za pomocí běžně dostupných navigačních zařízení, přičemž sledovány jsou výše zmíněné parametry systému, které si v případě zájmu může uživatel sám ověřit.

1. Historie navigačních systémů

Počátky moderních navigačních systémů sahají do 60.let minulého století. Tak jako ve spoustě jiných technologií a významných objevů zde hraje vojenství průkopnickou roli. Velkou snahou tehdejších armád a jejich velitelů bylo zjistit svoji přesnou polohu a samozřejmě i polohu svého nepřítele. Když pronikneme do vzdálenější minulosti, prvními pomůckami tohoto vojenského stratéga byla mapa a kompas. Jiným způsobem určování prostorových vztahů bylo měření úhlové vzdálenosti dvou těles nebo úhlu výšky nebeských těles nad horizontem pomocí sextantu¹ (obrázek 1). To bylo však za nepříznivého počasí zcela nepoužitelné.



Obrázek 1 - Sextant (zdroj: [22])

Významný krok v oblasti navigace nastal s příchodem elektronických systémů, kdy se objevilo radiové vysílání pomocí radiomajáků, které můžeme dodnes vidět na každém letišti. Prvním z těchto pozemních navigačních systémů je LORAN (Long Range Aid to Navigation), který byl vyvinut počátkem čtyřicátých let 20.století a byl používán již během druhé světové války. Po válce však byl systém LORAN zastaralý a byl vytvořen nový – OMEGA. Byl představen v roce 1971 a jeho provoz byl ukončen v roce 1997. V praxi ho tvořilo 8 strategicky umístěných pozemních majáků (stanic) rozmístěných po celém světě [11]. Majáky vysílaly v pásmu “velmi dlouhých vln”. Přesnost se pohybovala v rozmezí 2 – 8 km. Další etapou v určování polohy se již začaly poprvé objevovat družicové navigační systémy, kterým bude věnován zbytek celé práce. Jejich počátky jsou popsány v následující kapitole [4,3,20].

¹ Princip sextantu objevil Isaac Newton, avšak svůj objev nepublikoval. Okolo roku 1730 sextant nezávisle znovu objevil anglický matematik John Halley a americký vynálezce Thomas Godfrey [22].

1.1. První družicové systémy

Určitou inspirací pro navigaci pomocí družic bylo vypuštění Sputniku² v roce 1957 Sovětským svazem. Tým amerických vědců, vedený Dr. Richardem B. Kershnerem, monitoroval radiové vysílání Sputniku. Vědci zjistili, že díky Dopplerově efektu³ byla frekvence vysílaného signálu vyšší, pokud se Sputnik přibližoval, a naopak nižší, když se vzdaloval. Uvědomili si, že při znalosti jejich přesné polohy na Zemi mohli určit přesnou polohu Sputniku na jeho oběžné dráze pomocí měření frekvenční změny [22,3].

1.1.1. Systémy Transit a Timation

První družicový navigační systém Transit používaný námořnictvem Spojených států byl poprvé úspěšně otestován v roce 1960, kdy byla na oběžnou dráhu vynesena družice Transit 1b. Celý systém sloužil operačně pro potřeby armády až do roku 1991 a definitivně vypnut byl v roce 1996. Byl tvořen pěti družicemi obíhajícími po oběžné dráze ve výšce 1075 km a třemi pozorovacími stanicemi ve Spojených státech amerických. Systém byl velmi rozšířen a používán většinou jen u vojenských plavidel. Přesnost postupně dosáhla cca 200 m. Ovšem problém byl závislý na viditelnosti alespoň jedné družice. Systém byl také bohužel schopen určit polohu jen jednou za hodinu, tzn., že neumožňoval měřit polohu nepřetržitě. Proto se pracovalo na systémech dokonalejších.

V roce 1967 Námořnictvo Spojených států vyvinulo družici Timation, která ve svém vybavení jako první nesla do vesmíru přesné hodiny. Systém má tedy zdroj přesného času přímo na palubě, a proto může pozemní přijímač spočítat polohu z časové odchylky mezi přijatými časy. V případě známé oběžné dráhy by pak stačilo vysílat pouze informaci o čase. První družice nazvaná Timation 1 startovala 31.5.1967. Poslední z řady - Timation 3, byla vypuštěna 14.7.1974 a je pokládána za prapředka družice NAVSTAR, pozdějšího systému Global Positioning System (GPS) [3,4,21].

1.1.2. Systémy PARUS a CIKADA

Na obdobném principu vznikl v bývalém Sovětském svazu koncem 60.let dopplerovský navigační systém nazvaný Cyklon. Následník tohoto systému byl vojenský šesti-družicový PARUS a civilní čtyř-družicový CIKADA. Oba systémy jsou dnes již dožívající převážně kvůli stejným nevýhodám jako měl jejich americký konkurent Transit. Přesto se po spoustě modernizací a změn

² Sputnik 1 - První umělá družice Země, na palubě pes Lajka, družice zanikla 3 měsíce po jejím vypuštění.

³ Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu, způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače [22].

podářilo u obou řechto ruskřř systřmř zvyřřit jejich řřesnost řřibliřně o polovinu oproti Transitu [2].

1.2. Vřvoj GPS (Global Positioning System)

1.2.1. Stručné seznřmenř s GPS

Zkratka GPS pochřřř z angliřtiny a znamenřř Global Positioning System. Ve skuteřnosti se jednřř o celosvřtovř družicovř navigařnř systřm, pomocř nřhoř lze urřit řřesnou geografickou polohu prakticky kdekoli na Zemi. Přřvodnř nřzev systřmu je NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), kterř nesou takř družice, kterř systřm GPS vyuřřřvř ke svř řinnosti. Oficiřlnř logo tohoto projektu mřřeme vidřř na obrřzku 2.



Obrřzek 2 - Logo NAVSTAR GPS (zdroj: [3])

Systřm GPS se zařal plřnovat v roce 1973 na Ministerstvu obrany USA a přřvodnř byl vyvinut pro vojenskř řřely. řřasem se ukřřalo mnoho mořrnřch vyuřřitř GPS i v civilnřm sektoru, a proto byl uvolnřn i pro břřnou aplikaci. Pro zajřmavost lze uvřřt, řře vybudovřnř systřmu GPS přřřřlo americkř Ministerstvo obrany na vřce nřř dvanřct miliard dolarřř. GPS se stal plnř funkřnřm a dostupnřm po celřm svřřř 17. ledna 1994, kdy byla poprvř sestava 24 družic kompletnř. I přřesto, řře řřdrřba systřmu stojř ročně řřibliřně 750 milionřř dolarřř⁴ (vřetnř nřkladřř na vřmřnu přřstřrřlřch družic), je GPS pro civilnř pouřřřvřnř zcela zdarma [22,3,17].

1.2.2. Jednotlivř fřze vřvoje

V roce 1973 byly vzduřnř sřly řřinřnř zodpovřdnřmi za slouřenř programř vřřkumu metod družicovř navigace Timation a leteckřho navigařnřho 3D systřmu 621B do programu oznařenřho jako GPS-NAVSTAR. Ten mřř slouřit vřem slořkřm ozbrojenřch sil USA. Od 1.7.1973 řřřř rozvoj programu GPS spoleřnř programovř skupina JPO (Joint Program Office), kterř přřstavuje kosmickou divizi velitelstvř systřmř vzduřnřch sil USA na leteckř zřkladnř v Los Angeles. JPO je sestavena ze zřstupců letectva, nřmořnictva, armřdy, nřmořnř přřchoty, pobřřnř

⁴ Tento řřdaj se vřře k datu 17.5.08 [22].

stráže, obranné kartografické agentury, zástupců států NATO a Austrálie. V prosinci 1973 obdrželo JPO souhlas se zahájením prací na uvedení programu NAVSTAR do činnosti. Práce byly rozděleny do tří fází [21].

První fáze (1973 - 1979):

- ověřování koncepce systému,
- vývoj pokusných uživatelských zařízení,
- vypuštění dvou tzv. technologických navigačních družic NTS⁵,
- v únoru 1978 vypuštění první družice, která byla součástí systému GPS (výrobce této družice byla firma Rockwell),
- v prosinci téhož roku byly k dispozici již 4 družice umožňující třírozměrnou navigaci po omezenou dobu a většinou jen na testovacím polygonu v Arizoně.

Družice GPS z tohoto období sloužily k rozvoji technologie družicové navigace. Označovaly se jako družice Bloku I, nebo také NDS (Navigation Development Satellites). Vypuštěno jich bylo 11 a s některými z nich bylo dosaženo počátečního provozního stavu. Byly projektovány s životností tří let, avšak některé z nich sloužily po více než 10 let.

Druhá fáze (1979 - 1985):

- budování monitorovacích a řídicích středisek,
- v roce 1980 byla pro vývoj 28 družic Bloku II vybrána firma Rockwell,
- bylo vypuštěno deset dalších experimentálních družic Bloku I,
- vývoj přijímačů byl svěřen firmám Rockwell-Collins a Magnavox.

Třetí fáze (1985 - 1994):

- 14. února 1989 byla vynesena na oběžnou dráhu moderní družice Bloku II, první svého druhu,
- v letech 1989 a 1990 devět vyrobených družic vynesly na oběžnou dráhu rakety Delta II z letecké základny na mysu Canaveral na Floridě,
- do konce roku 1993 se GPS stal funkčním (zajištěn minimální počet družic pro určení polohy kdekoli na Zemi),
- 7. ledna 1994 bylo poprvé na oběžné dráze 24 družic zajišťujících plnou funkčnost,
- v letech 1990 až 1997 probíhala výroba dalšího typu družic z řady Blok IIA.

⁵ NTS – Navigation Technology Satellites, obíhaly na nižších drahách a testovaly jednotlivé subsystémy družic.

Od roku 1994 po současný stav:

- v roce 1997 začala výroba nejmodernějších družic Bloku IIF a IIR,
- 2. května 2000 byla vypnuta "Selective Availability", což umožnilo civilním uživatelům přijímat plnohodnotný signál (viz kapitola 2.4.7),
- poslední družice byla vypuštěna 17. listopadu 2006. Nejstarší stále funkční družice byla vypuštěna v říjnu roku 1990 ⁶,
- v současné době USA vyvíjejí novou generaci svého navigačního systému GPS pod názvem GPS III, která by měla být až desetkrát přesnější a více odolná proti elektronickému rušení. První satelity systému GPS III by měly být uvedeny do provozu už koncem roku 2013 [3,12,9,14].

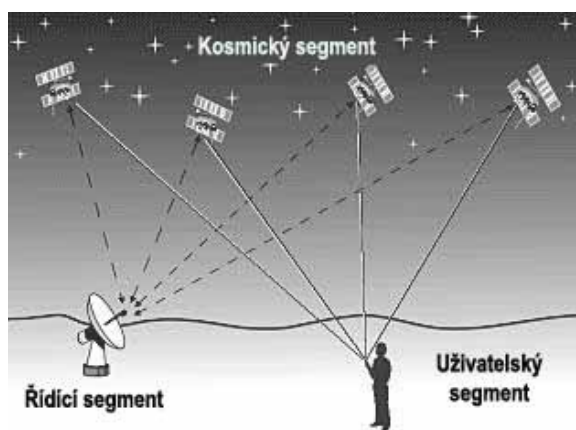
⁶ Data z použitého zdroje byla naposled aktualizována dne 1.9.2007.

2. Technologie a princip činnosti

Tato část je zaměřena na funkčnost systému GPS. Ostatní globální navigační systémy se v základních principech technologie příliš neliší.

2.1. Segmenty systému GPS

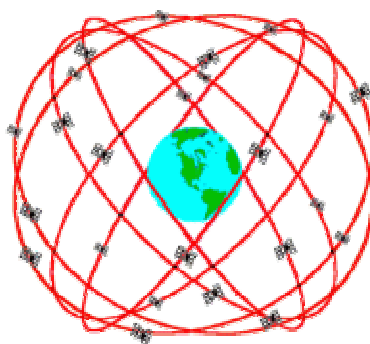
Základ celého systému tvoří tři části neboli segmenty: kosmický, řídicí a uživatelský (obrázek 3).



Obrázek 3 - Grafické uspořádání segmentů (zdroj: převzato a upraveno z [18])

2.1.1. Kosmický segment

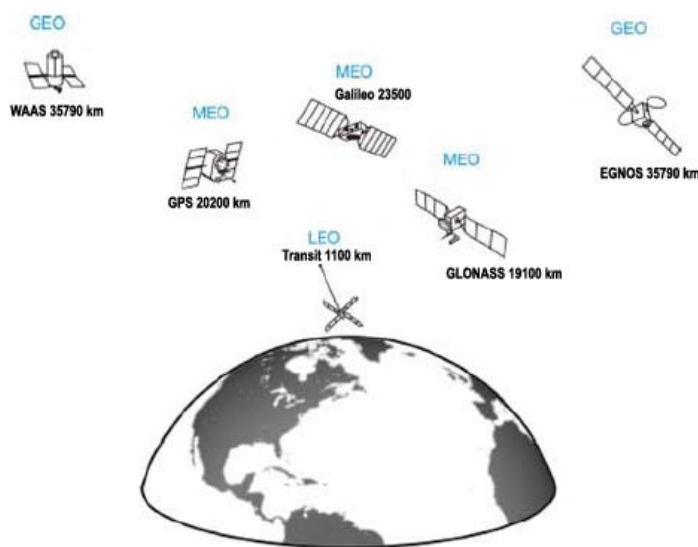
Kosmický segment tvořilo původně 24 nyní až 32 družic, které obíhají přibližně ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na šesti kruhových drahách se sklonem 55° k rovině rovníku. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° . Na každé dráze byly původně čtyři pozice pro družice. V současnosti má každá dráha pozic šest. Uspořádání družic a jejich drah vidíme na obrázku 4. Za jeden den uskuteční každá družice dva oběhy kolem Země (jeden oběh trvá 11 h 58 min – tzn., že je družice další den na stejném místě oběžné dráhy vždy o 4 minuty dříve). Každý satelit má své číslo a vysílá jiný kód. Přijímač je pak schopen ho při měření polohy správně identifikovat [3,17,16].



Obrázek 4 - Rozmístění družic a drah (zdroj: [12])

Kosmický segment je definován [8]:

- typem oběžných drah (nízké - LEO, střední - MEO, vysoké - HEO, geostacionární - GEO; kruhové nebo eliptické),
- výškou, sklonem a počtem oběžných drah,
- počtem a rozmístěním družic na oběžných drahách.



Obrázek 5 - Typy oběžných drah (zdroj: převzato a upraveno z [16])

Na obrázku 5 jsou graficky znázorněny typy oběžných drah spolu s příslušným systémem a jejich výškou. Nevýhodou systémů pracujících na nižších drahách je menší území pokryté signálem jednou družicí a krátká doba oběhu kolem Země, a tedy i doba přeletu družice nad obzorem (odpovídá době, po kterou lze od dané družice přijímat signál). Naopak v čím vyšší nadmořské výšce družice vysílá, tím větší pokrytí má svým signálem, zvětšuje se však doba šíření signálu od družice.

Dva stavy implementace kosmického segmentu [22]:

- *plná operační schopnost* (FOC, Full Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 24 družic plně funkčních,
- *částečná operační schopnost* (IOC, Initial Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 18 družic plně funkčních.

K červnu 2008 bylo v GPS konstelaci 32 aktivně vysílajících GPS družic. Doplnkové "extra" družice vylepšují přesnost výpočtů GPS přijímačů, protože poskytují nadbytečná měření. Díky nadbytečnému počtu družic se rozestavení celé konstelace změnilo na nespočetné, nicméně když několik družic selže, systém zůstává plně funkční (to se týká hlavně spolehlivosti

a dostupnosti). Z každého místa na Zemi bývá v přímé viditelnosti antény přijímače pozorováno 6 až 12 družic. Nejmodernější družice (obrázek.6) váží asi 2 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 13 954 km/h [3].



Obrázek 6 - Družice GPS (zdroj: převzato a upraveno z [18])

Klíčové části družic NAVSTAR jsou (tabulka 1) [22]:

- 3 až 4 velmi přesné (10^{-13} s) atomové hodiny s rubidiovým (dříve s cesiovým) oscilátorem,
- antény pro vysílání radiových kódů v pásmu L (2000-1000 MHz),
- antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi v pásmu S⁷,
- antény pro vzájemnou komunikaci družic v pásmu UHF⁸,
- detektory kontrolující dodržování zákazu zkoušek nukleárních zbraní.

Tabulka 1 - Parametry družic (zdroj: [12])

	Blok I	Blok II	Blok IIA	Blok IIR
Výrobce	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Lockheed Martin
Vypuštění na oběžnou dráhu	II/1978 – X/1985	II/1989 – X/1990	XI/1990 – XI/1997	XI/1997 – XI/2004
Vypuštěno ks	11	9	19	12
Hmotnost (při startu)	759 kg	1 816 kg	1 816 kg	2 032 kg
Plánovaná životnost	4,5 roku	7,3 roku	7,3 roku	10 let
V současnosti v provozu	0	2	16	12
Nosič na oběžnou dráhu	Atlas E, F	Delta II	Delta II	Delta II
Inklinace dráhy letu	63°	55°	55°	55°
Atomové hodiny na palubě	1×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	3×Rb
Vysílací frekvence	L1, L2	L1, L2	L1, L2	L1, L2
Funkčnost bez kontaktu s <u>OCS</u>	3 – 4 dny	14 dní	180 dní	> 180 dní

Pozn.: OCS – Operational Control System (tzv. Operační řídicí systém), viz kapitola níže.

⁷ Pásmo krátkých vln (Short) o frekvenci 2÷4 GHz [12].

⁸ Ultra High Frequency, mikrovlnné pásmo vysokých frekvencí v rozmezí 30 MHz až 3 GHz. V tomto pásmu vysílá televize, využívají ho mobilní sítě a zde i systémy GPS pro přesné zjišťování polohy [12].

2.1.2. Řídící segment

Řídící segment je zodpovědný za řízení celého globálního polohového systému. O zabezpečení nepřetržité činnosti systému NAVSTAR GPS pečuje tzv. operační řídicí systém (OCS). V pozemním segmentu se zpravidla rozlišují čtyři typy stanic [22,7]:

- 1) **Velitelství** – Navstar Headquarters na letecké základně Los Angeles v Kalifornii v USA.
- 2) **Hlavní řídicí stanice** (MSC, Master Control Station) – je situována na letecké základně Schriever USAF⁹ v Colorado Springs. Existuje i záložní řídicí středisko (BMSC, Backup Master Control Station) umístěné v Gaithersburg (Maryland, USA), které přebírá cvičně čtyřikrát do roka řízení systému, v nouzi je připravena do 24hodin.
Hlavní činnosti stanice:
 - zpracovává signály z monitorovacích stanic,
 - provádí modelování chování kosmického segmentu,
 - určuje parametry oběžných drah a korekčních parametrů hodin na družicích,
 - výsledky zpracování předává na stanice určené pro komunikaci s družicemi.
- 3) **Monitorovací stanice** (Monitor stations) – 18 stanic, které jsou umístěny na základnách USAF: Hawaii, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a dále stanice spravující NGA¹⁰: 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). Stanice jsou rozmístěny tak, aby umožňovaly stálé sledování co největšího počtu družic po co nejdelší dobu. Monitorují signály vysílané družicemi kosmického segmentu a přenášejí je do řídicích stanic.
- 4) **Stanice pro komunikaci s družicemi** (Ground Antenna) - jsou také umístěny na základnách USAF a jsou zpravidla totožné s monitorovacími stanicemi. Slouží k přenášení nově určených parametrů oběžných drah a korekčních parametrů atomových hodin na družice. Rozmístění stanic řídicího segmentu je znázorněno na obrázku 7.

⁹ USAF – United States Air Force (Letectvo Spojených států)

¹⁰ NGA – National Geospatial-Intelligence Agency (Národní geografická zpravodajská agentura)



Obrázek 7 - Rozmístění stanic řídicího segmentu (zdroj: [7])

Pokud by došlo k zničení pozemních vojenských stanic řídicího a kontrolního segmentu, přechází družice do režimu AUTONAV (Autonomous Navigation Mode), ve kterém jsou schopny dále pracovat až 6 měsíců. V tomto režimu spolu družice komunikují a porovnávají vzájemně mezi sebou své efemeridy¹¹ a stav palubních hodin. Výsledky poskytují uživatelskému segmentu v navigační zprávě (viz kapitola 2.2.2). Tento režim však nikdy nenastal, nejsou ani známy výsledky jeho případných testů [22].

Konfigurace řídicího systému je dána především obranou strategií státu budujícího a provozujícího družicový polohový systém a také možností rozmístění stanic pozemního segmentu na jeho území nebo případně na území jiných států.

2.1.3. Uživatelský segment

Tento segment je tvořen anténami a procesory přijímačů, které poskytují uživateli informace o poloze, rychlosti a přesném čase. Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli. GPS přijímač je tedy pasivní a skládá se převážně z [22,8]:

- antény,
- procesoru,
- stabilního oscilátoru,
- komunikačního rozhraní.

¹¹ angl. Ephemeris – sada informativních údajů o každé družici.

Uživatelé můžeme rozdělit na dvě základní skupiny, a to na autorizované a ostatní uživatele, přičemž mezi autorizované uživatele patří zejména vojenský sektor USA a vybrané spojenecké armády (navádění zbraňových systémů, vojenská geodézie a mapování, zaručená vyšší přesnost systému atd.). V „bezpečných“ zemích je povolen i pro civilní geodetické účely. Ostatními uživateli se rozumí civilní sektor, který využívá navigaci například v dopravě, geologii, archeologii, lesnictví, zemědělství, turistice, přesnému času apod. (viz kapitola 4).

2.2. Metody určování polohy

2.2.1. Základní metody

Družicové polohové systémy jsou budovány jako pasivní dálkoměrné systémy, tzn., že přijímač určuje svoji vzdálenost k několika družicím navigačního systému a svoji polohu pak stanovuje protínáním. Určování vzdálenosti přijímače od družic lze provádět na základě některých měření [8]:

- **Kódová měření**

Základním principem měření je zde určování vzdálenosti mezi přijímačem a družicemi. Běžně se k tomuto účelu využívají tzv. dálkoměrné kódy (viz kapitola 2.2.2) vysílané jednotlivými družicemi. Jedná se o přesné časové značky, které umožňují přijímači určit čas, kdy byla daná značka odvysílána. Přijímač z přijímaného signálu detekuje dálkoměrný kód družice. Zjistí tak čas odeslání a přijetí jedné sekvence kódu a ze zjištěného časového rozdílu určí vzdálenost mezi přijímačem a družicí.

- **Fázová měření**

Tato měření jsou založena na využití nosné vlny signálů vyslaných družicemi. Pokud spočteme počet celých vln signálu, které proběhly na trase mezi družicí a přijímačem a jejichž délku velmi přesně známe, je pak již snadné zjistit zbývající kousek nedokončené vlny podle stavu její amplitudy – přeneseně řečeno podle výchylky signálu a jeho intenzity. Fázová měření jsou oproti kódovým výrazně přesnější, avšak nevýhodou je zde poměrně složité a někdy zdlouhavé zjištění počtu celých vln před počátkem měření a nutnost jejich opakovaného zjištění v případě ztráty signálů družic.

- **Dopplerovská měření**

Jedná se o měření založeném na fyzikálním principu Dopplerova efektu, který popisuje změnu frekvence vlnové délky přijímaného signálu oproti vysílanému signálu, pokud se přijímač nebo vysílač pohybuje.

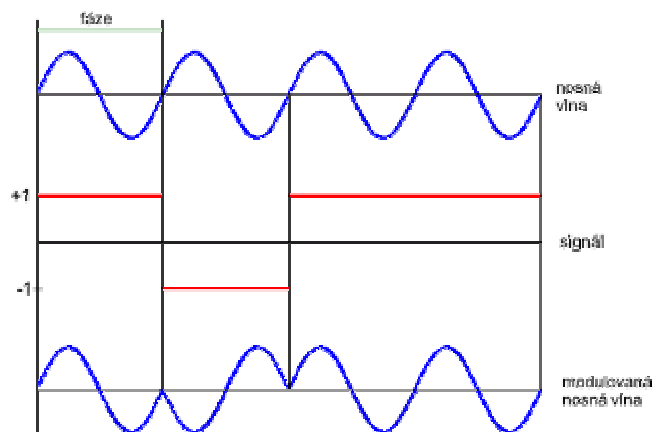
Z výše zmíněných metod se v oblasti navigací využívají pouze první dvě. Třetí se využívá především při stanovování rychlosti pohybu přijímače. V běžných turistických a navigačních přijímačích se používají pro určování polohy jen kódová měření. Fázová měření jsou doménou aplikací vyžadujících přesnější polohovou přesnost, například využití GPS pro geodetické účely.

2.2.2. Signály vysílané družicemi

Každý signál vyslaný družicí GPS je kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Družice vysílají na několika kmitočtech (tabulka 2), které jsou zvoleny záměrně tak, aby byly minimálně ovlivněny meteorologickými vlivy [8].

1) Nosná vlna

Srdcem každé družice jsou velmi přesné atomové hodiny, které mohou být na palubě družice tři nebo čtyři, a to s cesiovým nebo rubidiovým oscilátorem. Starají se o dlouhodobou frekvenční stabilitu vysílaného signálu. Tímto způsobem je vytvářena základní frekvence L pásma o hodnotě 10,23 MHz. Jejím vynásobením hodnotami 154 a 120 vznikají nosné frekvence signálů $L1 = 1575,42$ MHz a $L2 = 1227,60$ MHz. Nosná vlna je modulována fázovou modulací, tzn., že kdykoliv dojde ke změně vysílaného binárního kódu, posune se zároveň její fáze o jednu polovinu vlnové délky. Binární nula je reprezentována hodnotou -1 , binární jednička odpovídá hodnota $+1$ (obrázek 8) [12].



Obrázek 8 - Modulace nosné vlny (zdroj: [12])

2) Dálkoměrné kódy

Pro modulaci nosné vlny se používá několik pseudonáhodných, tzv. PRN¹² (dálkoměrných) kódů, které jsou pro každou družici unikátní a zajišťují přijímači GPS jednoznačnou identifikaci družice vysílající daný kód. Představiteli PRN kódů jsou například kódy C/A nebo P(Y).

¹² PRN – Pseudo Random Noise code; v některých literaturách označované jako dálkoměrné kódy

- **C/A kód** - vzniká kombinací výstupů ze dvou registrů tak, že výsledná hodnota je výsledkem jejich binárního součtu. Je modulován pouze na nosné vlně L1 a není nijak šifrován, což umožňuje jeho příjem i neautorizovaným uživatelům. Horizontální přesnost určení polohy pomocí C/A kódu se pohybuje v řádech jednotek metrů. C/A kód je 1023 bitů dlouhý a je vysílán frekvencí 1 023 MHz, tzn., že je opakován každou tisícinu sekundy.
- **P kód** - je modulován na obou nosných vlnách L1, L2 a je určen pouze pro autorizované uživatele. Dvě frekvence používané k měření umožňují odstranění ionosférických a troposférických lomů (refrakcí), což zajišťuje velmi přesné určení polohy – geodetické přístroje GPS pracují s přesností v řádech milimetrů. Stejně jako C/A není P kód šifrován. V případě fungování režimu A-S¹³ je P kód šifrován pomocí Y kódu (proto se také někdy označuje jako P(Y) kód), který vzniká jako součet P a W kódů. P kód tedy získáme pouze v případě, známe-li tajný W kód. S tím však pracují pouze vojenské přijímače [12,22,8].

Tabulka 2 - Přehled frekvencí a kódů GPS (zdroj: [12])

Základní frekvence	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
Nosná frekvence L1	$154f_0 = 1575,42 \text{ MHz}$
Nosná frekvence L2	$120f_0 = 1227,60 \text{ MHz}$
P kód	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
C/A kód	$f_0/10 = 1,023 \text{ MHz}$
W kód	$f_0/20 = 511,5 \text{ kHz}$
Navigační zpráva	$f_0/204600 = 50 \text{ Hz}$

Přehled všech používaných kmitočtů [22]:

- **L1** (1575,42 Mhz) – C/A kód, P(Y) kód, případně M kód,
- **L2** (1227,62 MHz) – P(Y) kód, M kód, civilní C kód,
- **L3** (1381,05 MHz) – další funkce GPS (odhalování startů balistických raket, detekce jaderných výbuchů, atd.),
- **L4** (1841,40 MHz) – využití pro měření ionosférické refrakce,
- **L5** (1176,45 MHz) – plánuje se jako civilní Safety-of-Life (SoL) signál. Tato frekvence spadá do mezinárodně chráněné oblasti letecké navigace, ve které je malé nebo žádné rušení za všech podmínek. S vypuštěním první družice bloku IIF, který bude poskytovat tento signál se počítá na rok 2009.

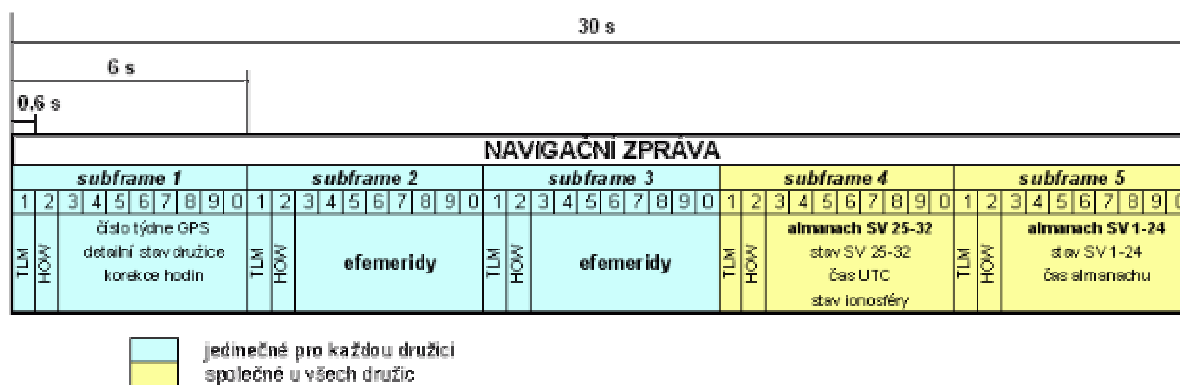
¹³ AntiSpoofing - způsob ochrany vojenského P kódu GPS před případným podvržením nebo zneužitím nepřítelem. Bez použití režimu A-S není P kód nijak šifrován a není tak zaručena jeho stoprocentní autentičnost a integrita [12].

3) Navigační zprávy

Pro určování polohy přijímače GPS je nezbytné znát přesnou polohu vysílající družice v době odeslání dálkoměrného kódu. Ta se počítá na základě parametrů její dráhy, které sama družice vysílá ve formě navigační zprávy. Tato zpráva obsahuje důležité parametry oběžných drah družic a dalších údajů ve formě tzv. *almanachu* nebo *efemeridů*.

- **Almanach** – obsahuje méně přesné parametry oběžných drah všech družic umístěných v kosmickém segmentu a údaje o stavu těchto družic. Tyto parametry oběžných drah využívá přijímač pro přednastavení přibližných poloh družic. To umožňuje přijímači, aby byl při znalosti aktuálního almanachu schopen začít vyhledávat družice aktuálně viditelné v dané oblasti.
- **Efemeridy** - obsahuje velmi přesná data o poloze dané družice. Jsou vytvářeny hlavním řídicím střediskem GPS, které je průběžně vypočítává na základě sledování drah družic pozemními stanicemi. Přibližně jednou za hodinu je aktualizované vysílá jednotlivým družicím, které je zahrnují do svých navigačních zpráv. Dále je možné z těchto údajů vypočítat přibližné korekce na ovlivnění signálu průchodem ionosférou. Tento výpočet provede sám přijímač GPS. Platnost efemeridů trvá nanejvýše čtyři hodiny [8].

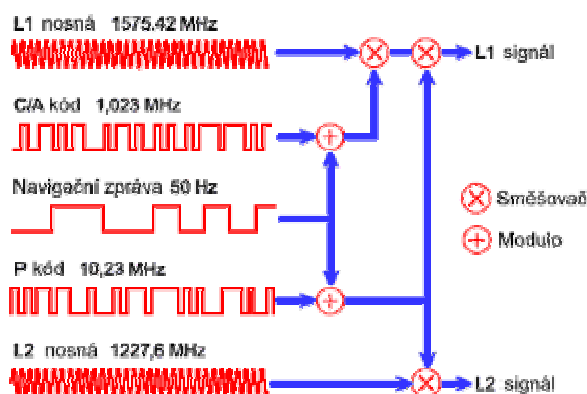
Celá navigační zpráva je vysílána frekvencí 50 Hz, její délka je 1 500 bitů a skládá se z pěti částí (subframů), každé po 300 bitech. Jednotlivé subframey jsou tvořeny desítkou třicetibitových slov. První v každém subframeu je telemetrické slovo TLM, nesoucí synchronizační vzor a diagnostické zprávy. Za ním následuje slovo HOW (hand-over word), které kromě identifikačních údajů subframeu a nejrůznějších indikátorů nese i časovou hodnotu TOW (time of week) platnou pro začátek dalšího subframeu. Hodnota TOW představuje počet časových úseků dlouhých 1,5 sekundy uplynulých od začátku týdne GPS. Další slova jsou určena především pro navigační data, ale najdeme zde i nejrůznější vojenská data, kontrolní údaje, data o stavu družic, informace o stavu ionosféry a další údaje. Obrázek 9 představuje podrobnou strukturu navigační zprávy.



Obrázek 9 - Struktura navigační zprávy (zdroj: [12])

První subframe navigační zprávy obsahuje údaje o týdnu GPS, stavu družice a další parametry jako například odhad zpoždění vysílaného signálu nebo kontrolní údaje atomových hodin. Druhá a třetí část jsou vyhrazeny pro vysílání efemerid. Zatímco první tři subframey navigační zprávy jsou pro každou družici unikátní, data ze čtvrtého a pátého subframeu jsou u všech družic stejná. Čtvrtý subframe je rezervován především pro vojenské údaje. Kromě nich však obsahuje data o stavu ionosféry a provizorně i almanach nejnovějších družic, které přesahují počet tvořící FOC. Tím byl vyřešen problém, jak zajistit vysílání almanachu pro 25. a následující družice, se kterými se při vzniku GPS počítalo jen jako se zálohami, a přesto jsou v současnosti plně funkční. Poslední subframe navigační zprávy tvoří almanach pro nejdéle sloužících 24 družic [12,8].

Společnou strukturu všech signálů nám blíže specifikuje následující obrázek 10.



Obrázek 10 - Struktura signálů GPS (zdroj: [12])

Pozn. k obrázku:

Směšovač – obvod, který potlačuje nosnou vlnu a z výsledku modulace se pro další zpracování využívá pouze jedno postranní pásmo

Modulo – početní operace související s operací celočíselného dělení

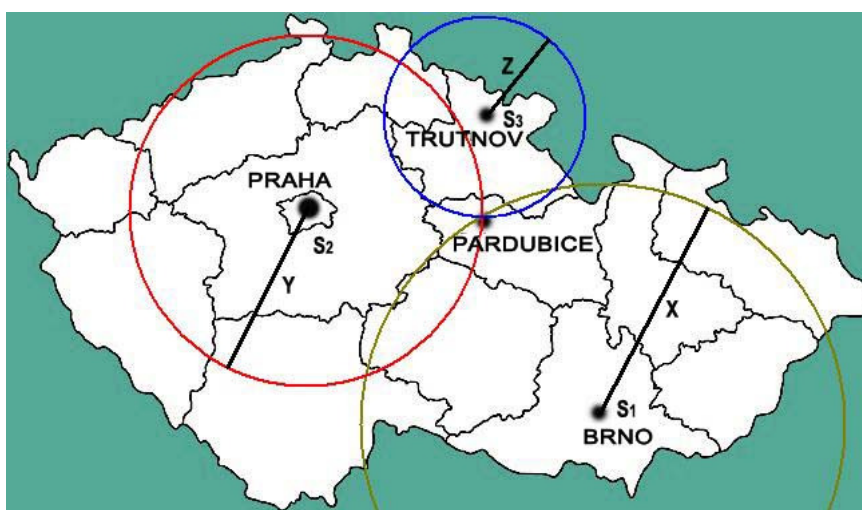
2.3. Principy určování polohy

Úkolem přijímače GPS je lokalizovat čtyři nebo více satelitů. V případě příjmu signálu z více než čtyř družic je poloha váženým průměrem, avšak výhodná geometrická poloha družice a kvalitní radiový signál hrají významnější roli, což umožňuje, aby byl výsledek výrazně stabilnější a přesnější. Pokud jsou ve výpočtu jen 3 družice, je určena poloha pouze na povrchu elipsoidu často označovaná jako neplnohodnotná navigace 2D.

Po lokalizaci všech dostupných družic je dalším úkolem přijímače zjistit vzdálenost ke každé z nich a za pomoci získaných informací spočítat svou polohu. Celá tato operace je založena na jednoduchém matematickém principu nazvaném *trilaterace* [10,22].

2.3.1. Trilaterace ve 2D

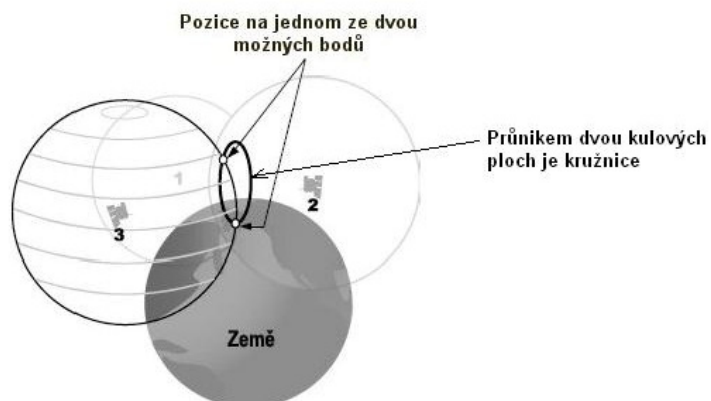
Princip 2D trilaterace je vysvětlen na následujícím příkladě a obrázku 11: Představme si, že se nacházíme na neznámém místě v České republice. Zeptáme se kolemjdoucí osoby, která nám řekne, že jsme X kilometrů od Brna. To je pro nás celkem nepoužitelná informace. Víme jen, že stojíme na jednom z bodů kružnice, která má střed v Brně a poloměr X . Druhá osoba nám prozradila, že se nacházíme Y kilometrů od Prahy. Pokud tedy obě informace zkombinujeme, získáme dvě kružnice, které se protínají ve dvou bodech. V jednom z těchto bodů se právě nacházíme. Nyní se musíme zeptat ještě jedné osoby, která odpoví, že jsme Z kilometrů od Trutnova. V tomto případě se nám třetí kružnice protne s dvěma předešlými už jen v jediném bodě, jež představuje město, ve kterém se nacházíme. V našem případě jsou to Pardubice.



Obrázek 11 - Trilaterace ve 2D (zdroj: vlastní)

2.3.2. Trilaterace ve 3D

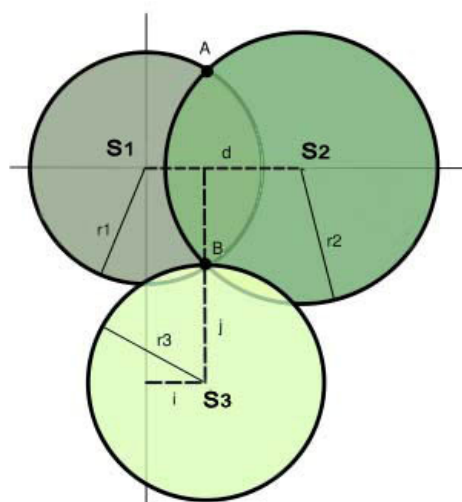
Podobně funguje trilaterace i v trojrozměrném prostoru. Rozdíl je však v tom, že namísto kružnic se v ní pracuje s plochami koulí. Zkusme si představit poloměry z předchozího příkladu nejen v rovině, ale prostorově. Namísto tří kružnic máme před sebou tři protínající se koule (obrázek 12). Pokud tedy jsme například 1000 km od satelitu č.1, nacházíme se někde na plášti imaginární koule o poloměru 1000 km. Pokud současně víme, že jsme 1500 km od satelitu č.2, můžeme nechat tyto dva pláště vzájemně protnout. Výsledkem bude dokonalá kružnice. Známe-li vzdálenost ke třetímu satelitu, získáme třetí kulovou plochu, protínající výše zmíněnou kružnici ve dvou bodech. Budeme-li Zemi považovat za čtvrtou kouli a uvědomíme-li si, že v daném okamžiku může být pouze jeden ze dvou získaných bodů na povrchu Země, eliminací druhého budů, který leží buď vysoko v prostoru nebo hluboko v Zemi, získáme svou polohu [10].



Obrázek 12 - Trilaterace ve 3D (zdroj: převzato a upraveno z [10])

2.3.3. Matematické vyjádření

Nejprve začneme s vyjádřením tří rovnic o třech neznámých, které vycházejí z obrázku 13 [3]:



Obrázek 13 - Grafické znázornění trilaterace (zdroj: převzato a upraveno z [10])

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (1)$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2 \quad (2)$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \quad (3)$$

Kde: $x, y, z \dots$ jsou souřadnice,

$d, i, j \dots$ je posun v poloze družic,

$r_1, r_2, r_3 \dots$ jsou poloměry koulí získaných z vypočtené vzdálenosti od družic.

1) Odečtením druhé rovnice od první získáme x :

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (4)$$

2) Pokud vyjádřené x dosadíme do první rovnice, získáme rovnici pro $y^2 + z^2$:

$$y^2 + z^2 = r_1^2 - \frac{(r_1^2 - r_2^2 + d^2)^2}{4d^2} \quad (5)$$

3) A po následním dosazení do třetí rovnice za $y^2 + z^2$, získáme y :

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x-i)^2 + j^2}{2j} = \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x \quad (6)$$

4) Nyní máme již vyjádřenou proměnou x a y . Můžeme si proto vyjádřit z z první rovnice:

$$z = \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2} \quad (7)$$

2.3.4. Souřadnicové systémy

Přijímače GPS poskytují určenou polohu v geografických souřadnicích vztažených ke světovému geodetickému systému WGS-84 (angl. World Geodetic System). Tento systém byl vydán Ministerstvem obrany USA roku 1984. Definuje souřadnicový systém, referenční elipsoid¹⁴ a geoid¹⁵ pro geodézii a navigaci.

V současné době ještě neexistuje běžný přijímač GPS, který by měl standardně zabudované transformace do u nás běžně používaných souřadnicových systémů S-JTSK a S-42. Proto by se tato transformace musela řešit až dodatečně pomocí převodních programů. Jestliže tedy máme své digitální mapy v souřadnicové systému S-42 nebo S-JTSK, nebudou s daty z GPS použitelné, pokud je mapový program nebude umět převést [22,8].

2.4. Přesnost určení polohy

Výsledná přesnost určení polohy přijímače podléhá několika vlivům, které lze stanovit. Při určení polohy se nejprve změří vzdálenost ke družicím, dále se vypočtou polohy družic a nakonec je vypočítána poloha přijímače. Přesnost je tedy ovlivňována [8,5]:

- dostupností signálu družic,
- dostatečným počtem viditelných družic,
- přesností měření vzdálenosti,

¹⁴ Referenční elipsoid je těleso, které lze matematicky popsat

¹⁵ Geoid je fyzikální model povrchu Země při střední hladině světových oceánů, věrněji reprezentuje tvar zemského povrchu [22].

- přesností určení polohy družic,
- vlastním výpočtem polohy.

2.4.1. Dostupnost signálu družic

Zde především záleží, v jakém prostředí se nacházíme. Signály vyslané z družic urazí k přijímači velmi dlouhou vzdálenost a jejich intenzita na zemském povrchu tedy není nijak velká. Důsledkem je, že přijímače tento slabý signál nejsou schopny zachytit v budovách, podzemních objektech a jiných místech, kde není přímý výhled na oblohu. Příkladem oblasti s nízkou kvalitou a dostupností signálu mohou být i husté lesy [8].

2.4.2. Počet viditelných družic

Z hlediska dostatečného počtu viditelných družic a jejich vhodné konstelace (rozmístění družic na obloze) lze za problémová místa pro přesné určování polohy označit kopcovitou krajinu, kaňony, zástavbu s vysokými domy, mosty a jiné konstrukce.

Pro přesnější určení polohy je tedy potřeba, aby přijímač viděl co největší počet družic a aby tyto družice byly na obloze rozmístěny co nejdále od sebe a na celé ploše. V České republice je nejčtenější viditelnost osm družic (modus). Minimální počet šest a maximální dvanáct při elevační masce¹⁶ 10°. [8].

2.4.3. Přesnost měření vzdálenosti

Přesnost měření vzdálenosti je omezena několika faktory. Prvním z nich je atmosférický šum, který zkresluje přijímané signály a zabraňuje tak přesnému určení zpoždění. Druhým faktorem je nepřesná znalost rychlosti šíření radiových vln, která je rovna rychlosti světla. Vlny se však nešíří vakuem, ale prochází zemskou atmosférou, v níž se průchodem troposférou a zejména ionosférou rychlost změní. Tato změna však není konstantní, ale mění se se stavem ionosféry (roční období, poloha Slunce atd.) a je závislá také na orientaci dráhy signálu. V přijímačích bývá implementován vhodný model, který tyto změny zohledňuje. Třetím faktorem je případ, kdy některé objekty (např. kovové střechy, fasády moderních domů) způsobují odrazy a vícecestné šíření signálů družic (obrázek 14). Přijímač pak mnohdy není schopen rozpoznat, zda se jedná o signál přicházející přímo z družice, nebo signál odražený, který urazil delší dráhu (a uběhl delší čas). Tento signál vnáší značnou chybu do výpočtu polohy [8,5].

¹⁶ Elevační maska určuje úhel družice nad horizontem, družice pod touto elevační maskou není možno použít při určování polohy; jde o přesnější vyjádření měřených podmínek, které mohou být reprezentovány např. výhledem na oblohu [22].



Obrázek 14- Vícecestné šíření signálu (zdroj: [6])

2.4.4. Přesnost určení polohy družic

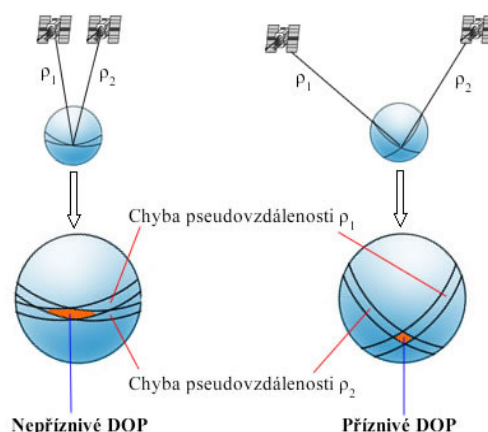
Pro přesnost určení polohy družic existuje v rámci GPS určitý algoritmus výpočtu. Vstupem tohoto algoritmu jsou parametry dráhy družice, které jsou v signálu vysílaném družicí. Těmto parametrům říkáme efemeridy, o kterých jsme se již vícekrát zmiňovali. Mohou zde tedy nastat dva typy chyb - chyba v predikci efemerid a chyba pohybu družice (např. po nárazu meteoritku) [6].

2.4.5. Vlastní výpočet polohy

Kvalitu geometrického rozložení družic lze geometricky ohodnotit. Používá se k tomu parametr nazvaný snížení přesnosti (angl. Dilution of Precision - DOP). Tento identifikátor je výsledkem výpočtu, který bere v úvahu relativní polohu každé družice vzhledem k ostatním družicím. Nižší hodnota DOP napovídá, že dané uspořádání umožňuje určovat polohu a čas s vyšší přesností. Vyšší hodnota naopak znamená, že uspořádání je nevhodné a nezaručí dostatečnou přesnost. Pro běžnou práci s přijímačem GPS by se měla hodnota DOP pohybovat do výše 5¹⁷.

Podle obrázku 15 velmi zjednodušeně předpokládejme, že k určení polohy uživatele jsou potřebné dvě měřené vzdálenosti ke známému bodu (poloha družic). Velikost chyby měření je vyjádřena šířkou pásu. Poloha určovaného bodu leží v průniku obou pásů, který pak přibližně představuje faktor *DOP* (oranžová plocha). Je zřejmé, že obsah této plochy bude nejmenší, resp. přesnost měření nejvyšší, pokud se pásy budou protínat pod úhlem 90°. Se zmenšováním či zvětšováním tohoto úhlu se bude rovněž snižovat přesnost určení polohy. Obdobně lze tyto zákonitosti aplikovat pro třírozměrný prostor [8,6,5].

¹⁷ Pokud bychom chtěli například přeměřit náš pozemek, je vhodné počkat na lepší rozmístění družic na obloze; existují příslušné programy k nalezení správné chvíle měření.



Obrázek 15 - Geometrické znázornění DOP (zdroj: [6])

Podle sledované veličiny rozeznáváme několik faktorů *DOP* [6]:

- GDOP (Geometric DOP) – geometrický DOP,
- TDOP (Time DOP) – časový DOP,
- PDOP (Position DOP) – polohový DOP,
- HDOP (Horizontal DOP) – horizontální DOP,
- VDOP (Vertical DOP) – vertikální DOP.

$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2} \quad (8)$$

$$GDOP = \sqrt{TDOP^2 + HDOP^2 + VDOP^2} \quad (9)$$

V našich zeměpisných šířkách lze očekávat průměrné hodnoty $DOP = 1,87$, přičemž $VDOP = 1,55$ a $HDOP = 1,05$ [5].

2.4.6. Korekční signály

Řada přijímačů je vybavena možností příjmů tzv. diferenčních korekcí signálů GPS ve formě podpůrných systému označovaných jako WAAS nebo v Evropě EGNOS. Tyto korekce jsou vysílány z geostacionárních družic, které umožňují přijímači zpřesnit udávanou polohu a výšku [8].

- **WAAS** (Wide Area Augmentation System) – je systém, který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Americe. Jeho hlavní přínosy jsou přesnější určení polohy a včasné varování pro případ poruchy některé družice GPS [22].
- **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay Service) – je stejně jako WAAS aplikací systému SBAS (Satellite Based Augmentation System), který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Evropě. Provozuje ho ESA¹⁸. Je složen ze 14 pozemních monitorovacích

¹⁸ European Space Agency – Evropská kosmická organizace

stanic a několika geostacionárních družic. EGNOS je prvním evropským projektem v oblasti družicové navigace a jeho úkolem je „vylepšovat“ dva v současné době funkční vojenské družicové navigační systémy – americký GPS a ruský Glonass. Jako indikaci příjmu korekcí se na displeji přijímače GPS může zobrazit zkratka DGPS, SBAS, EGNOS nebo WAAS s čísly nových družic podle #ID nad počet nebo místo standardní družice systému GPS [22,3,5].

I když všechny systémy typu SBAS jsou systémy regionálními, je přesto důležité aby byly navzájem kompatibilní. Dále je také vhodné, aby poskytovatelé SBAS spolu spolupracovali a koordinovali důležitá rozhodnutí. Kompatibilita systémů způsobí, že systémy budou efektivnější a zajistí v budoucnu jejich integraci do jednotného celosvětového navigačního systému. Na obrázku 16 můžeme vidět přehled a lokalizaci SBAS systémů ve světě.



Obrázek 16 - Přehled systémů SBAS (zdroj: [3])

Dalšími korekčními systémy, pro nás méně významnými, jsou japonský systém zvaný MSAS a indický GAGAN, které jsou v současné době ve vývoji.

2.4.7. Selective availability

Provozovatel GPS, tedy Ministerstvo obrany USA, má možnost kdykoli snížit přesnost tohoto systému aktivací tzv. selektivní dostupnosti (selective availability – SA mode). Ta ovlivní přesnost C/A kódu tak, že pozemní civilní přijímače mohou vypočítat svoji polohu jen s chybou blížící se 100 metrů horizontálně a 140 metrů vertikálně. Do konce dubna roku 2000 byla do přijímaného signálu záměrně zanášena tato umělá chyba. Tímto opatřením se mělo zabránit možnosti navádět vojenské dálkové rakety. Protože USA vyvinuly systém, jak lokálně rušit signál GPS, byl SA mode k 1. květnu 2000 prezidentem Clintonem zrušen. Přesnost zaměření zeměpisných souřadnic běžného civilního uživatele se tak zvýšila na 5 až 10 metrů, za příznivých okolností (otevřený terén) až na 3 metry [8,22,3].

3. Ostatní navigační systémy

GPS je v dnešní době nejrozšířenější a hlavně jediný plně funkční globální navigační systém, což pro USA představuje obrovskou strategickou výhodu. Tato skutečnost vedla ostatní kontinenty či velké země k touze mít také svůj navigační systém. Jedním z prvních konkurentů bylo Rusko, které již několik let pracuje na svém vlastním projektu s názvem GLONASS. Ani Evropa nezůstává pozadu a plánuje také vlastní navigační systém Galileo, který by měl být již brzy zprovozněn. Dalšími systémy, o kterých se v následujících kapitolách stručně zmíníme jsou indický IRNSS a čínský Compass.

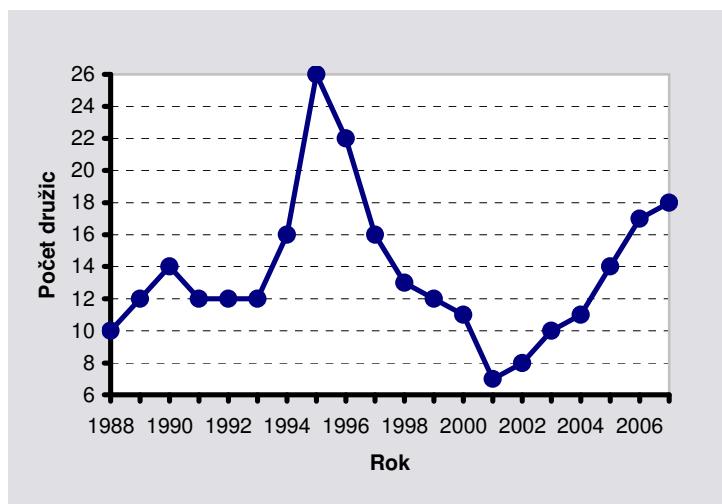
3.1. GLONASS

GLONASS je dalším z rodiny globálních družicových polohových systémů (GNSS). Byl vyvinut v tehdejší SSSR a je nyní provozován ruskou armádou. S jeho pomocí je možno určit polohu a přesný čas kdekoli na Zemi nebo nad Zemí. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům [22].

3.1.1. Historie a budoucnost systému

Plán pro vývoj systému GLONASS byl schválen v prosinci 1976 rozhodnutím centrální komise komunistické strany sovětského svazu a radou ministrů SSSR. Jméno pro všechny družice bylo zvoleno Uragan nebo zkratka GVM pro testovací družice. Všechny byly vypuštěny z kosmodromu Bajkonur. První dvě testovací a jedna provozní družice byly umístěny na oběžnou dráhu 12. října 1982.

Před pár lety byla vyvinuta vylepšená verze družice Uragan zvaná Uragan-M s operační životností 7 let. Dvě družice tohoto typu byly vypuštěny v roce 2005. Ještě novější družice Uragan-K se sníženou hmotností a prodlouženou životností na 10 až 12 let bude připravena k vypuštění v roce 2008. Snížení její hmotnosti oproti Uragan-M o polovinu výrazně sníží dopravní náklady, protože se budou moci použít pro její dopravu na orbit nosné rakety Sojuz-U. Do současné doby byly pro družice Uragan používány mnohem výkonnější rakety Proton. Odhaduje se, že 24 družic by znovu mělo být na oběžné dráze kolem roku 2010. Na obrázku 17 vidíme graf znázorňující počet vypuštěných družic od roku 1988 do konce roku 2007 [3,16].



Obrázek 17 - Počet družic kosmického segmentu v jednotlivých letech (zdroj: upraveno z [16])

3.1.2. Architektura systému

Navigační systémy GLONASS a GPS jsou si více než podobné. Princip systémů i jejich technická realizace je u obou systémů obdobná. Ať už se jedná o složení systému, služby, počet družic, modulaci, použití dálkoměrných kódů pro měření vzdáleností a navigačních zpráv pro výpočet polohy družice. Celý systém Glonass lze stejně jako GPS rozdělit na 3 segmenty: kosmický, řídicí a uživatelský. Kosmický segment je projektován na 24 družic, které obíhají ve výšce 19 100 kilometrů nad povrchem Země na 3 kruhových drahách a s rovinou rovníku svírají úhel $64,8^\circ$. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 120° a na každé dráze je 8 symetrických pozic pro družice po 45° , které jsou číslovány následujícím způsobem:

- Dráha 1: družice 1-8
- Dráha 2: družice 9-16
- Dráha 3: družice 17-24

Dnes používané družice Uragan-M váží 1,4 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,9 km/s s dobou oběhu kolem Země 11 hodin a 15 minut. Zásadní problém družic Uragan/Uragan-M je krátká životnost, což se projevuje ve zvýšené potřebě obnovovat družice. Tento problém by měly vyřešit nové družice Uragan-K [22,16,6].

Klíčové části družic Uragan-M jsou [22]:

- přesné atomové hodiny s cesiovým oscilátorem,
- 12 antén pro vysílání radiových kódů v pásmu L (2000-1000 MHz),
- antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi,
- solární panely (1,45 kW) a akumulátorové baterie (70 Ah) jako zdroj energie.

Družice vysílají na několika kmitočtech, které jsou zvoleny záměrně tak, aby byly minimálně ovlivněny meteorologickými vlivy:

- **L1** (1598-1605 MHz), kde je vysílán SP kód a HP kód,
- **L2** (1242-1248 MHz), kde je vysílán HP kód.

Z výše uvedeného rozdělení vyplývá, že systém GLONASS poskytuje dvě služby. Standardní SP (Standard Precision) na nosné frekvenci L1 pro civilní uživatele a přesnou HP (High Precision) na nosné frekvenci pro armádu. Oddělení signálů jednotlivých družic je uskutečněno pomocí frekvenčního dělení FDM. To znamená, že každá družice vysílá na své vlastní frekvenci, která se liší od frekvence ostatních družic [22].

Sledovací a řídicí segment systému GLONASS se skládá z [6]:

- pozemní řídicí centrum v Moskvě,
- centrální synchronizátor času v Moskvě,
- sledovací stanice v Petrohradu, Jenisejsku, Komsomolsku na Amuru,
- fázový řídicí systém navigačního signálu v Moskvě,
- kvantově-optická stanice v Komsomolsku na Amuru,
- navigační polní řídicí zařízení v Moskvě a Komsomolsku na Amuru.

3.2. GALILEO

Galileo je globální družicový navigační systém, který bude plně vyvinut a provozován Evropou a jeho uvedení do provozu je plánováno na rok 2013. Bude využívat stejného principu jako nynější americký systém GPS a ruský Glonass, se kterými se bude vzájemně doplňovat. Tento systém však bude ryze komerční záležitostí, což je velký rozdíl oproti předchozím dvěma systémům, které byly zkonstruovány původně pro vojenské účely a až poté se začaly využívat v civilních aplikacích. Systémy GLONASS a GPS mohou být v případě válečného konfliktu civilním uživatelům znepřístupněny. Proto chce mít Evropa svůj systém, který bude neotřesitelný politickou situací ve světě a také nezávislý na americkém GPS.

S využitím Galilea se již nyní počítá po celém světě, protože bude nabízet mnoho nových možností uplatnění v řadě aplikací, které nynější navigační systémy nejsou schopny zajistit. Velký zájem o tento systém jeví mnoho států i nadnárodních společností, které se budou finančně spolupodílet na jeho vybudování. Mezi jeho další pozitiva lze zařadit například enormní podporu evropského hospodářství, vymanění se ze závislosti na GPS a v neposlední řadě množství pracovních příležitostí. Odhaduje se, že jich jen v EU bude kolem 140 000 [3,16,18].

3.2.1. Historie a budoucnost

Strategie Evropy v oblasti družicové navigace se začala formulovat počátkem devadesátých let a byla představena veřejnosti v roce 1994. Evropský projekt družicového navigačního systému pak dostal pevné obrysy v roce 1999, kdy odborníci ze čtyř evropských zemí (Německo, Francie, Itálie a Velké Británie) porovnáním a sjednocením svých národních plánů vytvořili jednotnou koncepci. Oficiálně byl program globálního družicového navigačního systému Galileo vyhlášen 19.7.1999 jako společná iniciativa Evropské komise a Evropské kosmické agentury [3,18].

- **Evropská komise (tedy EU)**
 - nese politickou odpovědnost za projekt,
 - stanovila klíčové požadavky na systém,
 - poskytuje právní, institucionální a standardizační podporu.
- **Evropská kosmická agentura** (European Space Agency - ESA) zodpovídá za:
 - definování technických parametrů systému,
 - vývoj, výrobu a ověření funkce vesmírných i pozemních částí systému,
 - technologie potřebné pro přijímače GALILEO.

3.2.2. Fáze vývoje systému – původní plán

Program byl od svého zahájení rozdělen do čtyř navazujících fází [18]:

1) *Definiční fáze*

- proběhla v letech 1999 až 2001,
- navržení technických parametrů systému, určení nabízených služeb.

2) *Fáze vývoje a hodnocení*

- měla probíhat v letech 2002 až 2005,
- vývoj dvou experimentálních a čtyř operačních družic, vybudování základní pozemní části systému,
- v této části se v současné době stále nacházíme.

3) *Fáze rozmístění*

- měla probíhat v letech 2006 a 2007,
- koncesionář měl postavit a vypustit všechny zbylé družice (26) a dobudovat veškerou část pozemní infrastruktury,
- nestalo se tak, tato fáze bude financována z rozpočtu EU.

4) Provozní (operační fáze)

- měla začít v roce 2008,
- správa systému, údržba a trvalé vylepšování.

3.2.3. Skutečný vývoj systému

Po vyhlášení programu Galileo v roce 1999 nastaly později potíže zajistit potřebné financování další fáze projektu, protože kvůli celkově nepříznivé evropské ekonomické situaci se jednotlivé evropské státy lišily v tom, jakou část nákladů by měly konkrétní země pokrýt. Navíc po teroristickém útoku 11. září 2001 vláda Spojených států vyvinula nebývalý tlak na Evropu, aby od projektu družicové navigace ustoupila.

Dne 28. prosince 2005 byla do vesmíru vyslána první technologická navigační družice pro testování komponent tohoto systému, pojmenovaná Giove-A. Vynesla ji z kazašského kosmodromu Bajkonur ruská raketa Sojuz-FG/Fregat. Dne 7.11. 2006 byl slavnostně položen základní kámen prvního řídicího centra systému Galileo v Německém Kosmickém Centru (DLR) v Oberpfaffenhofenu. Toto centrum se třemi řídicími místnostmi bude jedním ze dvou budoucích center. Mezi další významný datum patří 4. květen roku 2007, kdy družice GIOVE-A úspěšně vyslala svou první navigační zprávu s potřebnými údaji, pomocí kterých uživatelé mohou spočítat svoji pozici. Před touto událostí družice vysílala pouze data nutná pro měření vzdálenosti mezi přijímačem a družicí.

Systém mělo pomoci vybudovat i financovat konsorcium soukromých firem, které by tvořili podíl dvou třetin z přibližně 3,4 miliardy € za třetí fázi. Avšak téměř dva roky byly vyjednávání o podílu financování jednotlivých firem a za jakých podmínek na mrtvém bodě. Dne 10. května 2007 vypršelo ultimátum, do kterého se měly firmy dohodnout. Evropská komise přistoupila k projednání dalšího postupu vývoje systému a pro Radu Evropské unie připravila 6 variant řešení včetně zrušení projektu [16,22,3]. Nakonec byla zvolena následující varianta [18]:

- na schůzi Rady Evropské unie (ministři dopravy) 8.6.2007 bylo rozhodnuto, že celý projekt bude financován z rozpočtu EU,
- hledalo se 3,4 mld. Euro (celkově systém přijde na více než 4,5 mld. Euro, přes miliardu již bylo vynaloženo na první a druhou fázi – společné financování EU a ESA),
- 23.11. 2007 na další schůzi Rady EU (ministři financí) byly určeny konkrétní zdroje financování systému,
- 27. 4. 2008 byla vypuštěna družice GIOVE – B z kosmodromu Bajkonur.

Výhled na rok 2008:

- tvorba scénáře pro následnou provozní fázi (po dokončení budování systému) a ujasnění role soukromého sektoru,
- koncept efektivního řízení celého programu (týká se pouze veřejného sektoru), tedy jasné vymezení kompetencí: Evropská komise, ESA, GSA¹⁹, členské státy a Rada EU,
- zakázky pro evropský průmysl budou pravděpodobně zveřejněny 1.7.2008 [18].

3.2.4. Komponenty systému Galileo

Systém Galileo se bude skládat z globální, regionální a několika lokálních složek [16].

- **Globální** složka bude jádrem celého systému a bude tvořena satelity a nezbytným pozemním segmentem.
- **Regionální** složka systému Galileo by se měla skládat z mnoha Externích Regionálních Integrovaných Systémů (External Region Integrity Systems, ERIS), které budou vytvořené a provozované soukromými společnostmi, státy nebo skupinami států mimo území EU.
- **Lokální** složky by měly sloužit pro vylepšení lokálního příjmu signálu Galileo, jako například zajištění navigačního signálu v oblastech, kde signály z družic nemohou být přijaty (budovy, tunely). Tyto lokální složky budou vytvořeny a provozovány soukromými společnostmi a budou s největší pravděpodobností zpoplatněny.

3.2.5. Architektura systému Galileo

Ani zde není výjimkou, že tento globální navigační systém je jako jeho předchůdci tvořen třemi základními částmi neboli segmenty. Kosmickou část tvoří družice systému Galileo, pozemní část se skládá z dvou kontrolních center a globální sítě vysílajících a přijímacích stanic a uživatelská část je tvořena samotnými přijímači uživatelů.

Vesmírný segment systému Galileo bude tvořen třiceti družicemi (z toho 3 záložní) ve Walkerově konstelaci ve třech oběžných rovinách se sklonem 56° k rovině rovníku. Každá rovina bude obsahovat devět aktivních družic, které budou v oběžné rovině rovnoměrně rozloženy po 40°, a jednu neaktivní náhradní družici, která v případě selhání nahradí kteroukoli aktivní družici. Přibližná výška oběžné dráhy 23 500 km má tu vlastnost, že vždy po deseti dnech se opakuje stejné rozmístění družic kolem Země. Během této doby každá družice oběhne sedmáctkrát Zemi [3].

¹⁹ GNSS Supervisory Authority (GSA)- Úřad pro dohled nad GNSS

3.2.6. Služby Galilea

Galileo bude poskytovat čtyři navigační služby a jednu službu pro záchranné operace, čímž pokryje požadavky všech vrstev uživatelů – profesionálních, vědeckých, vojenských, záchranných i masového trhu. Tyto služby budou poskytovány celosvětově a nezávisle na ostatních systémech, a to využíváním pouze Galileo signálů z družic. Přehled přesnosti služeb znázorňuje tabulka 3.

- **Základní služba** (Open Service - OS) vychází z kombinace základních signálů, bude poskytována zdarma a bude poskytovat určení polohy a času srovnatelné kvality s ostatními GNSS systémy.
- **Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti** (Safety of Life service - SoL) je vylepšenou verzí základní služby. Poskytne aktuální varování uživateli (přibližně do šesti sekund), pokud budou překročeny určité limity přesnosti polohy (tzv. integrita). Předpokládá se, že tato služba by měla být garantována.
- **Komerční služba** (Commercial Service - CS) poskytuje přístup k dalším dvěma signálům, které zvyšují množství přenesených dat a zvyšují přesnost určení polohy. Zmíněné signály jsou kódovány. I pro tuto službu se předpokládá poskytnutí záruky.
- **Veřejně regulovaná služba** (Public Regulated Service - PRS) bude služba poskytovaná výhradně pro vládami autorizované uživatele (policie, armáda, tajné služby apod.), kteří požadují vysokou kontinuitu (spojitost) služby s kontrolovaným přístupem. Bude poskytována pomocí dvou zakódovaných signálů. Signály služeb PRS a SoL budou navrhované tak, aby byly maximálně odolné proti rušení.
- Galileo družice budou součástí mezinárodního systému COSPAS-SARSAT. Proto se jako pátá služba Galileo uvádí **vyhledávací a záchranná služba** (Search And Rescue service - SAR). Galileo satelity budou schopny zachytit nouzové signály lodí, letadel či osob a vysílat je do národních záchranných center. Ty tak zjistí přesnou pozici nouzového vysílání [18,3,16].

Tabulka 3 - Přesnost služeb Galileo (zdroj: [18])

	Základní služba (OS)	Komerční služba (CS)		Veřejně regulovaná služba (PRS)		Služba kritická z hlediska bezpečnosti (SoL)
Pokrytí	globální	globální	lokální	globální	lokální	globální
Přesnost horizontální (h) a vertikální (v)	h = 4 m v = 8 m (dvoufrekvenční přijímače) h = 15 m v = 35 m (jednofrekvenční přijímače)	< 1 m (dvoufrekvenční přijímače)	< 10 cm (lokálně zlepšené signály)	h = 6,5 m v = 12 m	1 m (lokálně zlepšené signály)	4 - 6 m (dvoufrekvenční přijímače)
Dostupnost	99,8%	99,8%		99-99,9%		99,8%
Integrita	Ne	Ano (placená služba)		Ano		Ano

3.3. Compass (Beidou)

Navigační systém Beidou je projekt Čínské lidové republiky s cílem vyvinout nezávislý družicový navigační systém. Systém byl přejmenován na Compass poté, co bylo rozhodnuto o změně konceptu z regionálního navigačního systému na globální. Dne 30. října roku 2000 byla na oběžnou dráhu vynesena první družice Beidou 1A. Čína plánuje postavit tolik družic, aby se Beidou stal globálním navigačním systémem. Nový systém (označován jako Beidou 2 či Compass) má být tvořen 35 družicemi včetně pěti geostacionárních, které budou svým signálem pokrývat celou zeměkouli. Budou zajišťovány podobně jako u předchozích systémů dva druhy služeb: bezplatná služba pro běžné uživatele a koncesovaná služba pro vojenské účely. Systém Compass by měl být koncem roku 2008 plně funkční pro klienty v oblasti území Číny a přilehlých regionů [3,13].

3.4. IRNSS

Zkratka anglických slov *Indian Regional Navigational Satellite System* označuje projekt indické vlády pro satelitní navigaci Indie a přiléhajících oblastí do 2000 km od svých hranic. Na rozdíl od výše zmiňovaných projektů nemá Indie ambice na globální pokrytí. Systém by měl poskytovat absolutní polohovou přesnost lepší než 20 metrů. Záměrem indické vlády je, aby všechny komponenty systému, tedy kosmického, pozemního a uživatelského segmentu, byly postaveny a vyvinuty v Indii. Projekt byl vládou schválen v květnu 2006 se záměrem dokončení během šesti až sedmi let [3,13].

4. Možnosti využití navigačních systémů

Jak už bylo v předcházejících kapitolách naznačeno, globální navigační systémy nalézají svá uplatnění v mnoha oblastech. V této kapitole si popíšeme využití a účel těchto systémů v jednotlivých odvětvích.

Vojenské účely

Zařízení pro příjem GPS jsou součástí letadel, tankerů, lodí, ponorek, tanků i pozemní vojenské techniky. Kromě navigačních aktivit je systém využíván k označování cílů a navádění raket. Je součástí vzdušné podpory a montuje se i do „chytrých“ zbraní [10].

Synchronizace času

Díky přesnosti atomových hodin používaných v družicích je satelitní navigační systém využíván k synchronizaci hodin a mnoha významných událostí po celém světě. Čas atomových hodin je extrémně přesný, jeho odchylky dosahují hodnot nanosekund. Jsou na něm závislé i společnosti, pro které hraje přesné načasování událostí životně důležitou úlohu. Například světové investiční a bankovní společnosti se denně spoléhají na přesnost systému z důvodu celosvětově simultánního provádění finančních transakcí.

Aplikace v dopravě

Doprava je dnes pravděpodobně jedním z největších uživatelů služeb systému GPS. Pro běžné uživatele je nejběžnější využití v silniční dopravě. Zjednodušeně lze říci, že stačí zadat pouze cílový bod a navigace nás dovede na zvolené místo. V dnešní době existuje celá řada přijímačů signálu GPS s různými funkcemi. Příklad takovéto navigace do automobilu vidíme na obrázku 19 v poslední kapitole práce. Další uplatnění nalézá navigace v železniční dopravě, kde znalost polohy vlaků pomáhá předcházet nehodám a minimalizuje nákladná zpoždění. Mezi další oblasti, ve kterých se staly navigační systémy významným pomocníkem, můžeme dále uvést námořní, leteckou a kosmickou dopravu [15].

Životní prostředí

Za pomoci satelitní navigace je možné vyhodnocovat přesné informace o přírodních jevech, které probíhají na velkých plochách. Je možné předpovídat rychlost postupu lesních požárů, vzdušných vírů a jiných nebezpečných jevů a chránit tak životy i majetek na dotčených územích.

Zemědělství

Zde se nabízí možnost kontroly výměry pozemku například při zavlažování, sklizni a jiných činnostech týkajících se vyměřování - botanika, zoologie a dále možnost protokolace nálezů živočišných a rostlinných druhů kdekoli na světě.

Zeměměřičství a mapování

V následujícím případě je satelitní navigace využívána jak k zodpovězení jednoduchých otázek týkajících se plánování, tak k přesnému stanovování linií nebo komplexních záležitostí při výstavbě infrastruktury v urbanistických centrech. Za pomoci této revoluční technologie je možné získat velké množství kontrolních bodů, které jsou důležité pro přesné zakládání staveb [19].

Zvládání krizových situací

Satelitní navigace se rychle stává standardem i v jednotkách záchranného systému. Možnost rychlého určení místa nehody, požáru, ztroskotání lodi nebo letadla a následná schopnost být na toto místo rychle naveden se stává novou cestou pro zlepšení a zefektivnění práce výše uvedených složek [10].

Volný čas

Pro volný čas jsou vyhrazeny převážně tzv. ruční přijímače GPS (obrázek 18), které jsou charakteristické svoji odolností proti povětrnostním vlivům a mechanickou odolností. Mohou být mapové i nemapové. Své uplatnění nalézají v turistice, cyklistice, rybaření (GPS spojené se sonarem), zábavě jako například Geocaching²⁰ a ve spoustě dalších aktivitách.



Obrázek 18 - Ruční přijímače (zdroj: převzato a upraveno z [10])

²⁰ Geocaching – Nejznámější GPS hra, kde nadšenci vytvářejí různé skryše (poklady či tzv. cache), které je možné najít pouze s pomocí navigátora. Když skryš najdete, můžete si z ní něco vzít i něco vložit [22].

5. Zhodnocení systému GPS

Tato kapitola popisuje a srovnává naměřená data s výše uvedenou teorií globálních navigačních systémů, resp. systému GPS, který je v současné době jediný plně funkční a veřejnosti snadno dostupný. Dále je zde testována kvalita a dostupnost signálu, kvalita přijímačů a přesnost měření. Tyto základní faktory totiž určují celkovou přesnost určování polohy daného navigačního systému. Hlavní pomůckou pro testování a zhodnocení funkčnosti systému byly čtyři přijímače. Pro porovnání byly použity dvě auto-navigace a dva kapesní počítače (PDA) s vestavěným GPS přijímačem. Mezi civilními uživateli GPS zařízení jsou tyto dvě oblasti v současné době nejpoužívanější.

5.1. Přehled použitých přijímačů

Aby bylo možné hodnotit systém GPS, je nutné získat data. K tomu nám poslouží čtveřice navigačních zařízení se zabudovaným přijímačem signálu GPS, pomocí kterých byla veškerá měření provedena. Největší důraz bude však kladen na auto-navigace, jejichž hlavním úkolem je určování polohy a navádění (navigování) na určitý bod. Zatímco PDA mají navigaci jako jednu z vedlejších funkcí a obvykle disponují méně kvalitním přijímačem. Přehled a popis použitých přístrojů ukazuje tabulka 4.

Tabulka 4 - Přehled a parametry přijímačů (zdroj: [10])

Model	Parametry
Mio C710	– na trhu od roku 2006, mapy: v3.11 iGO 2006 – procesor 400 MHz, Windows CE .NET 4.2 – přijímač: vestavěný SirFStarIII - 20 kanálů – displej: dotykový, 65 tis.barev, rozlišení 320x240 bodů
Mio C250	– novější model ochuzený o některé nadstandardní funkce – totožný s předchozím modelem, cenově dostupnější – přijímač: vestavěný SirFStarIII - 20 kanálů – procesor 400 MHz, Windows CE v5.0, mapy v3.2 2007
PDA Acer N35	– na trhu od roku 2005 – přijímač: vestavěný – 12 kanálů – procesor 266 MHz, Windows Mobile 2003
PDA Fujitsu Siemens Pocket Loox N550	– na trhu od roku 2006 – přijímač: vestavěný – procesor: 312 MHz, Windows Mobile 5.0

Na obrázku 19 vidíme přehled použitých přijímačů.



Obrázek 19 - Ukázka přijímačů (zdroj: vlastní)

5.2. Naměřené hodnoty

V počáteční fázi práce byly zaznamenány údaje z jednotlivých přístrojů ve stejném čase na stejném místě. Přijímače byly umístěny vedle sebe ve volném prostoru. Byla provedena tři měření, přičemž každé proběhlo na místě jiném. Porovnávaným parametrem byl počet nalezených družic, přesnost udávaná přístrojem, nadmořská výška a souřadnice daného místa měření. Tabulka 5 je tedy důkazem toho, že není přijímač jako přijímač a že naměřené hodnoty jedním přístrojem nemusí být vždy takové, jaká je skutečnost. Technické provedení a kvalita softwaru těchto přístrojů může být různá. Jednotlivé parametry budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

Tabulka 5 - Naměřené hodnoty (zdroj: vlastní)

1.měření	Počet nalezených družic	Přesnost [metry]	Nadmořská výška [m.n.m.]	Souřadnice
Mio C710	9	1	258	N 50,32464° E 15,87231°
Mio C250	11	0,80	250	N 50,32463° E 15,87236°
PDA ACER	7	11	297	N 50,32460° E 15,87240°
PDA Fujitsu Siemens	11	-	259	N 50,32459° E 15,87234°
2.měření				
Mio C710	10	1	269	N 50,33264° E 15,88030°
Mio C250	10	1	264	N 50,33269° E 15,88027°
PDA ACER	9	7	314	N 50,33267° E 15,88020°
PDA Fujitsu Siemens	11	-	268	N 50,33264° E 15,88028°
3.měření				
Mio C710	10	1,10	261	N 50,30962° E 15,85564°
Mio C250	10	1,10	255	N 50,30960° E 15,85554°
PDA ACER	10	7	304	N 50,30960° E 15,85555°
PDA Fujitsu Siemens	12	-	263	N 50,30964° E 15,85554°

5.3. Zaznamenání souřadnic

Přístroje GPS používají k určení polohy souřadnicový systém WGS-84. Z tabulky 5 je patrný jejich tvar uvedený v příslušné zeměpisné šířce (N) a zeměpisné délce (E). Dále je vidět, že naměřené hodnoty jednotlivých přístrojů se od sebe příliš neliší. Některé přístroje ukazovaly souřadnice ve tvaru *Stupně° Minuty' Vteřiny"*. Podle jednoduchého výpočtu lze například zapsat: $50,32459^\circ = 50^\circ 19,4754' = 50^\circ 19' 28,52''$ (desetinná místa násobím číslem 60, v opačném postupu dělím číslem 60). Při hledání určité polohy zadáním souřadnic do přijímače bylo možné zadat libovolný tvar.

Výpočet rozdílu mezi naměřenými a skutečnými souřadnicemi lze provést například pomocí serveru www.mapy.cz, kde byl vyhledán určitý bod (město, ulice, číslo popisné) s příslušnými souřadnicemi pro GPS ve formátu WGS-84 (toto nalezené místo budeme označovat pro pozdější použití jako bod A – označující skutečný bod). Naměřené i skutečné hodnoty souřadnic daného místa byly převedeny do souřadnicového systému S-JTSK, pomocí kterého bude snazší vyhodnotit odchylku.

Porovnáním naměřených hodnot jednotlivých přijímačů (tabulka 6) zjišťujeme, že se souřadnice (WGS-84) od sebe liší pouze v desetinách vteřin. Od skutečného bodu A se odchylují přibližně o čtyři až pět desetin vteřiny. Tento údaj není však příliš názorným ukazatelem. Je proto vhodné vypočítat skutečnou odchylku v metrech. K tomu nám bude sloužit právě systém S-JTSK. Transformace do tohoto systému byla provedena pomocí jednoduchého programu dostupného na adrese: <http://www.ibot.cas.cz/personal/wild/frame/util.html#dokrovi>.

Tabulka 6 - Porovnání souřadnic WGS-84 a S-JTSK (zdroj: vlastní)

Geografická poloha bodu A - WGS-84: N 50° 18' 12,794" E 15° 52' 2,4" - S-JTSK : X [m]=1032261,140 Y[m]=637347,093			
Naměřené hodnoty	WGS-84	S-JTSK	
		X [m]	Y [m]
Mio C710	N 50°18' 12,13" E 15°52' 1,27"	1032278,754	637372,367
Mio C250	N 50°18' 12,35" E 15°52' 1,20"	1032272,042	637372,292
PDA ACER	N 50°18' 12,26" E 15°52' 1,36"	1032275,113	637369,467
PDA Fujitsu Siemens	N 50°18' 12,41" E 15°52' 1,20"	1032269,833	637372,032

Podle známých matematických vzorců lze snadno vypočítat absolutní rozdíl měření, resp. rozdíl mezi naměřenými a skutečnými souřadnicemi. Porovnáván bude tedy reálný bod A (převedený do S-JTSK) a místo měření (bod B) zaznamenané jednotlivými přijímači (B₁, B₂, B₃, B₄ – převedeny do souřadnic S-JTSK).

$$|AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad - \text{absolutní rozdíl měření v rovině} \quad (10)$$

Označení bodů: x_A, y_A ...rovinné souřadnice bodu A (S-JTSK)

x_B, y_B ...rovinné souřadnice bodu B (S-JTSK)

Z tabulky 7 je vidět, že nejmenší absolutní rozdíl byl naměřen na PDA Acer a naopak největší na auto-navigaci Mio C710. Abychom mohli určit absolutní rozdíl v prostoru, potřebujeme znát nadmořskou výšku, která je probírána v následující kapitole.

Tabulka 7 - Odchylka souřadnic v rovině (zdroj: vlastní)

	Absolutní rozdíl v rovině [m]
Mio C710	30,81
Mio C250	27,46
PDA ACER	26,28
PDA Fujitsu Siemens	26,41

5.3.1. Nadmořská výška

Z tabulky 5 vyplývá, že všechny přijímače se v údajích o nadmořské výšce vzájemně liší přibližně o 1 až 8 metrů, kromě zařízení Acer N35, který oproti nim vykazuje odchylku okolo 50 metrů, což je v tomto případě značný rozdíl. Tato skutečnost může být ovlivněna nepříznivou přesností (odchylkou), kterou přístroj zobrazoval v celém průběhu testování, nebo nízkou kvalitou přijímače. Proto byl Acer N35 v některých následujících testech vynechán.

Podobným způsobem jakým byly porovnávány souřadnice obou systémů, může být otestována i nadmořská výška. Avšak zde nastává problém mezi údaji o nadmořské výšce na mapách, vrcholcích a jiných orientačních bodech, které se od hodnot naměřených přijímači GPS ve většině případech liší. Klasické měření vycházelo z jiného elipsoidu než systém WGS-84 a také z předpokladu, že hladiny moří a oceánů leží ve stejné úrovni. Některé literatury a články se zkušenostmi uživatelů uvádějí, že rozdíly mezi výškou zaznamenanou přijímačem GPS a údaji na mapách se pohybují okolo 40 metrů.

Tabulka 8 porovnává naměřenou nadmořskou výšku v systému WGS-84 s přepočítanou výškou do systému S-JTSK. Data vycházejí z tabulky 5 (pro měření č.2) a výpočet byl proveden pomocí programu dostupného na adrese:

<http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/WGS84toSJTSK.htm>.

Tabulka 8 - Porovnání nadmořských výšek systému WGS-84 a S-JTSK (zdroj: vlastní)

	Souřadnice (WGS-84)	Nadm. výška [m] (WGS-84)	Nadm. výška [m] (S-JTSK)
Mio C710	N 50,33264° E 15,88030°	269	225
Mio C250	N 50,33269° E 15,88027°	264	220
PDA Fujitsu Siemens	N 50,33264° E 15,88028°	268	224
Průměr		267	223

Odchylka mezi oběma systémy je v daném případě rovna 44 metrům. Na obrázku 20 je ukázka výpočtu v použitém programu.

Obrázek 20 - Příklad přepočtu souřadnic a nadmořských výšek (zdroj: [24])

V tabulce 9 jsou zapsány hodnoty naměřené nadmořské výšky v metrech na jediném přijímači (Mio C710). Měření probíhalo ve volném prostranství téměř na rovině v již známém bodu B, a to po dobu jednoho týdne. Rozdíl mezi nejmenší a největší naměřenou hodnotou je roven 32, což představuje značnou nepřesnost ve stanovení nadmořské výšky pomocí daného přijímače GPS. Průměrná hodnota zaznamenaných údajů odpovídá přibližně 246 metrům. Dle údajů městského úřadu by dané místo, na kterém bylo měření provedeno, mělo odpovídat hodnotě nadmořské výšky okolo 240 metrů. Z daného testu vyplývá, že naměřené hodnoty nadmořské výšky přijímačem GPS jsou velmi proměnlivé. Přesnějšího výsledku dosáhneme opakovaným měřením, z kterého následně vypočítáme aritmetický průměr.

Tabulka 9 - Naměřená nadmořská výška (zdroj: vlastní)

260	243	241	242	256	246	247	247	251	228
240	239	236	254	240	241	256	255	234	257
Nejmenší hodnota [m]		Největší hodnota [m]		Rozdíl [m]		Průměr [m]			
228		260		32		245,65			

V tuto chvíli je známa průměrná hodnota naměřené nadmořské výšky v bodě B (místo měření) v systému WGS-84. Použijeme-li data z tabulky 6, můžeme určit absolutní rozdíl měření v prostoru, přičemž za reálnou nadmořskou výšku budeme považovat již zmíněných 240 metrů. Průměrnou hodnotu naměřené výšky v místě měření ponecháme ve formátu WGS-84.

$$|AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad - \text{absolutní rozdíl měření v prostoru} \quad (11)$$

Označení bodů je totožné jako v případě absolutního rozdílu v rovině. Parametry z_A a z_B udávají rozdíl v nadmořské výšce, kde $z_A = 240 \text{ m}$ (přibližný údaj městského úřadu) a $z_B = 245,65 \text{ m}$.

Př.:

$$|AB| = \sqrt{(1032278,754 - 1032261,140)^2 + (637372,367 - 637347,093)^2 + (245,65 - 240)^2}$$

$$= 31,320 \text{ m}$$

Tabulka 10 - Odchylka souřadnic v prostoru (zdroj: vlastní)

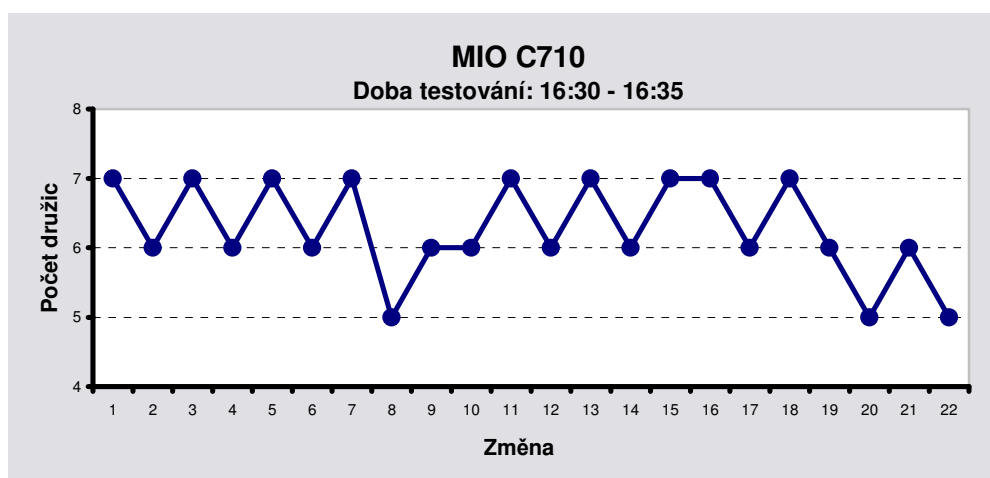
BOD A: X [m]=1032261,140 Y[m]=637347,093			
Naměřené hodnoty	X [m]	Y [m]	Absolutní rozdíl v prostoru
Mio C710	1032278,754	637372,367	31,32
Mio C250	1032272,042	637372,292	28,03
PDA Fujitsu Siemens	1032269,833	637372,032	27,01

Shrnutí

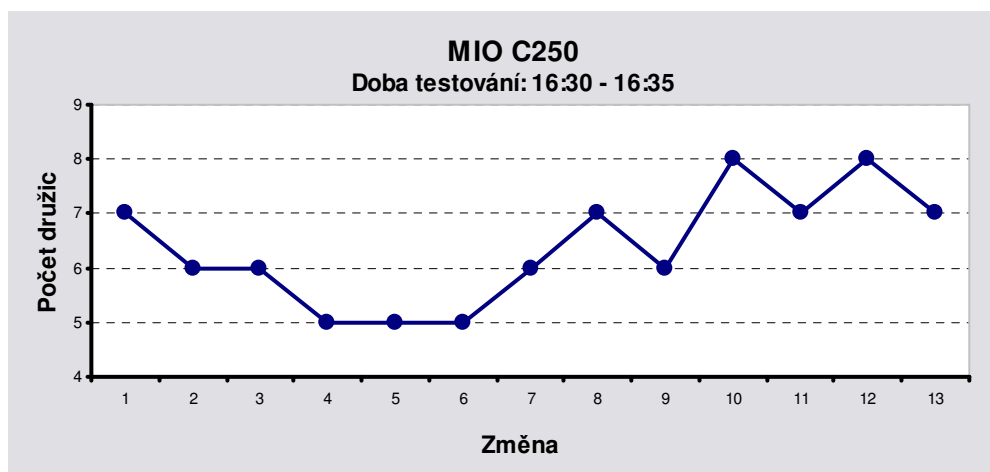
Odchylka v rovině se od odchylky v prostoru příliš neliší. Důvodem je malý rozdíl mezi skutečnou a naměřenou nadmořskou výškou. Avšak rozdíl naměřených hodnot oproti skutečným se pohybuje až okolo 30 metrů. To je však pravděpodobně způsobeno nepřesným místem měření (bod B), protože naměřené hodnoty jednotlivých přístrojů se od sebe liší pouze o 1 až 4 metry. U bodu A byly souřadnice určeny zadáním adresy domu s číslem popisným (www.mapy.cz). Zmíněná odchylka může být tedy způsobena tím, že měření probíhalo před daným domem, ale souřadnice byly vztaženy ke středu parcely daného domu. V tomto případě by třicetimetrový rozdíl bodů vcelku odpovídal. K nepřesnosti mohla také přispět transformace do systému S-JTSK, který používá jiný elipsoid.

5.4. Viditelnost družic

Jak už bylo popsáno v teoretické části práce, z každého místa na Zemi je viditelných 6 až 12 družic²¹. Ve většině kvalitních navigací lze zobrazit počet viditelných družic, jejich stav signálu, grafické rozmístění družic na dané polokouli, vypočítanou přesnost určení polohy, nadmořskou výšku, rychlost pohybu uživatele a přesný čas. Přístroje, které byly použity v této práci, měly rozdílnou citlivost na změnu polohy družic a určení jejich síly signálu. Jednotlivé družice neustále mění svoji pozici, a tím se síla vysílaného signálu družice směrem k přijímači mění. Na obrázku 21 a 22 je možné vidět citlivost přijímačů (Mio C710 a Mio C250) na změnu počtu viditelných družic.



Obrázek 21 - Vyhledávání družic na Mio C710 (zdroj: vlastní)



Obrázek 22 - Vyhledávání družic na Mio C250 (zdroj: vlastní)

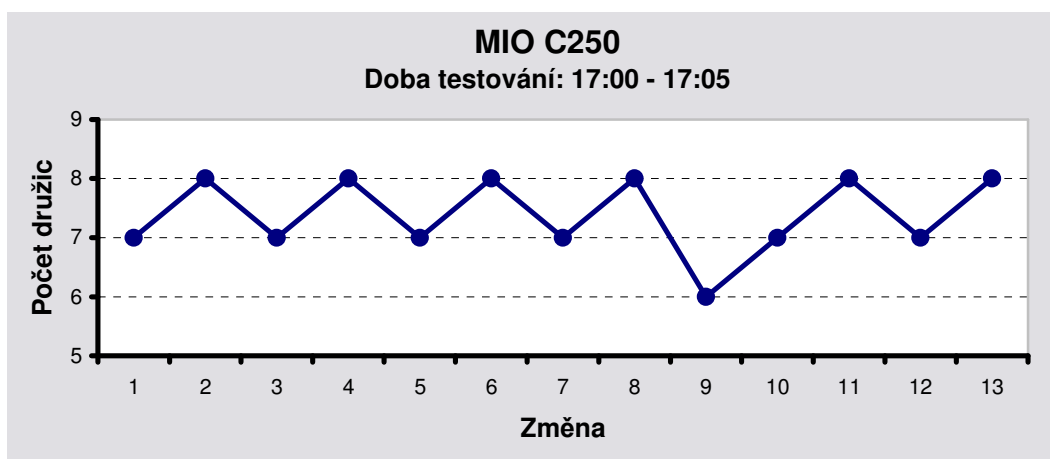
21 V dané problematice budeme uvažovat počet družic, které jsou v závislosti na síle signálu vhodné pro výpočet polohy. Pokud přijímač nalezne například 10 družic, nemusí to znamenat, že je všechny využívá ve svém výpočtu

Test dvou auto-navigací probíhal současně po dobu pěti minut na jednom místě s přímou viditelností na oblohu. Výsledky měření ukazují, že první navigační přístroj zaznamenal podstatně více změn v poloze a počtu družic. Avšak aritmetický průměr identifikovaných družic oběma přístroji se příliš neliší. Můžeme tedy tvrdit, že v daném pěti-minutovém intervalu vypočítávaly přijímače na daném místě svoji polohu v průměru ze šesti družic a nejčastěji (modus) také ze šesti družic. Vyhodnocení testu je zapsáno do tabulky 11.

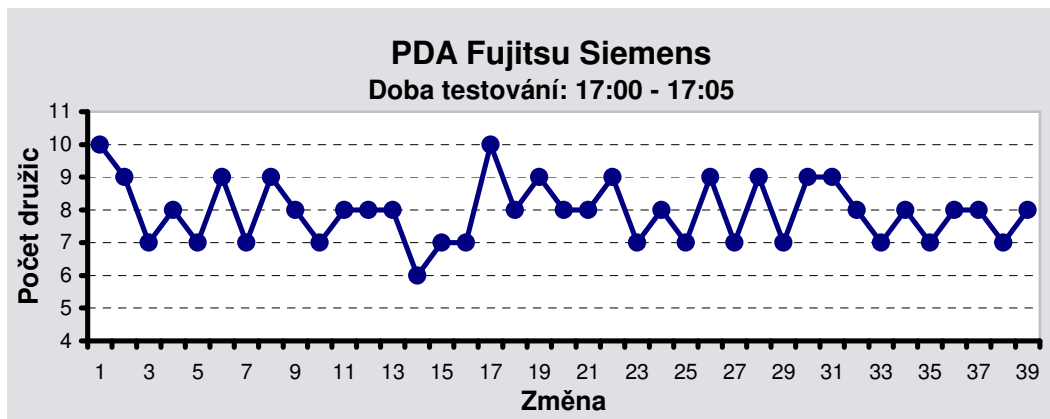
Tabulka 11 - Citlivost změn polohy družic dvou auto-navigací (zdroj: vlastní)

	Čas [min]	Počet změn	Čas změny [s]	MIN [družic]	MAX [družic]	Průměr	Modus
Mio C710	5	22	13,6	5	7	6,27	6
Mio C250	5	13	23	5	8	6,38	6,7

Dále je stejným způsobem porovnána citlivost jedné auto-navigace a vestavěného přijímače GPS kapesního počítače. Grafické znázornění představují obrázky 23 a 24. Výsledky jsou zapsány do tabulky 12.



Obrázek 23 - Vyhledávání družic na Mio C250 II. (zdroj: vlastní)



Obrázek 24 - Vyhledávání družic na PDA Fujitsu Siemens (zdroj: vlastní)

Z výše uvedených grafů je patrné, že na testovaném PDA bylo během pěti minut zaznamenáno 39 změn, což je trojnásobná hodnota oproti navigaci Mio C250. Z toho vyplývá, že přibližně každých osm vteřin přijímač zaznamená změnu v poloze či počtu družic. Přijímač Mio C250 identifikoval stejný počet změn (13) jako v předchozím testu. V tabulce 12 je dále vidět, že PDA zaznamenávalo v daném intervalu i více družic. Je tedy zřejmé, že vestavěný přijímač na PDA Fujitsu Siemens je více citlivější na změny poloh družic a dokáže také vyhledat více satelitů v daném okamžiku. To však zdaleka nemusí znamenat výhodu tohoto přístroje. Důkazem může být skutečnost, kdy při testování těchto dvou přístrojů v terénu (především přepočítávání trasy při vychýlení z trasy plánované nebo určení momentální vzdálenosti k blížící se křižovatce či jinému bodu) vykazoval kapesní počítač ve výpočtech polohy podstatně větší zpoždění. Problém můžeme hledat například v softwaru přístroje nebo méně výkonném procesoru.

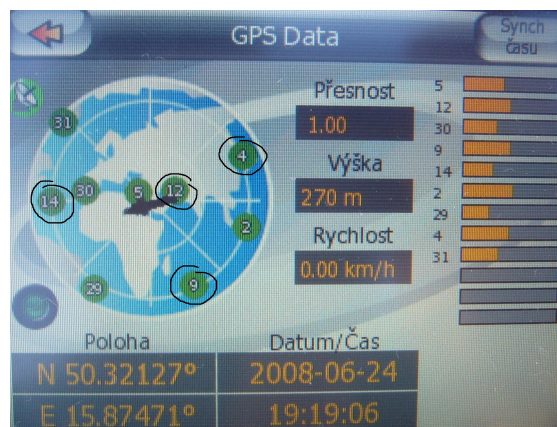
Tabulka 12 - Citlivost změn polohy auto-navigace a PDA (zdroj: vlastní)

	Čas [min]	Počet změn	Čas změny [s]	MIN [družic]	MAX [družic]	Průměr	Modus
Mio C250	5	13	23	6	8	7,38	7
PDA FS	5	39	7,7	6	10	7,95	8

5.5. Poloha družic

V následující analýze jsou porovnávány hodnoty naměřené přijímači GPS (Mio C250, Mio C710) a hodnoty získané z internetové stránky <http://www.calsky.com/?GPS=>. Na dané adrese je možné nastavit libovolné místo měření pomocí souřadnic nebo přímo určit bod na mapě. Dále je třeba určit elevační masku a nakonec stisknout tlačítko *Now*. Po krátké chvíli je zobrazen výsledek, který udává počet viditelných satelitů nad daným místem, jejich název, výšku, polohu, optimální konstelaci a vypočítané hodnoty DOP. Analýza tohoto porovnání proběhla na dvou různých místech v jiný čas i den. Jedním z nich je opět bod A. Druhé místo je označeno bodem Z, je vzdálené od bodu A přibližně 5 km a nachází se ve volném prostranství téměř na rovině.

Měření bylo nejprve provedeno v bodě Z. Pomůckou pro tento test byl notebook s připojením na internet, navigace Mio C250 a digitální fotoaparát. Provedení testu spočívalo v zachycení fotografie stavu družic na přijímači Mio a aktualizaci dané internetové adresy ve stejném okamžiku. Výsledky měření v bodě Z jsou zobrazeny na obrázcích 25 a 26.



Obrázek 25 - Stav družic na Mio C250 (zdroj: vlastní snímek)

To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites: 10°

Input Elevation Mask: 10°
 Satellites in view: 8 (SV2 SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV29 SV30)
 Optimum Constellation: SV4 SV9 SV12 SV14
 Solution Accuracy: GDOP=3.58 PDOP=3.07 HDOP=1.52 VDOP=2.67 TDOP=1.84

Tuesday 24 June 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Cernozice, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m29.0s Lat: +50d19m16.5s Alt: 292m All times in CET or CEST (during summer)
PRN 05/GPS BIIA- (22779 1993-054-A)	Mag=11.8m Ursae Majoris az: 315.1° NW h: 82.7° dist: 20013.1km ra: 12:59.3 de: +55:12
PRN 12/GPS BIIRM (29601 2006-052-A)	Mag=11.5m Bootis az: 61.4° ENE h: 76.9° dist: 20401.8km ra: 14:56.6 de: +54:58
PRN 30/GPS BIIA- (24320 1996-056-A)	Mag=12.6m Ursae Majoris az: 281.8° WNW h: 57.5° dist: 20693.6km ra: 10:18.8 de: +45:59
PRN 09/GPS BIIA- (22700 1993-042-A)	Mag=11.2m Virginis az: 152.5° SSE h: 38.4° dist: 22053.1km ra: 15:00.4 de: +1:59
PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=13.4m Cancrī az: 272.8° W h: 35.2° dist: 22397.8km ra: 9:05.4 de: +27:58
PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=11.2m Herculis az: 104.6° ESE h: 34.4° dist: 22539.5km ra: 17:23.4 de: +17:35
PRN 29/GPS BIIRM (32384 2007-062-A)	Mag=11.9m Leonis az: 214.8° SW h: 29.9° dist: 22794.9km ra: 11:36.9 de: -4:05
PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=11.4m Cygni az: 63.8° ENE h: 28.4° dist: 22781.9km ra: 19:34.4 de: +37:50

Obrázek 26 - Aktualizace stavu družic (zdroj: [23])

Na obrázku 25 je znázorněna konstelace a síla signálu viditelných družic, vypočítaná přesnost určení polohy v metrech, nadmořská výška, geografická poloha pomocí souřadnic, datum a čas. Jelikož při měření nedocházelo k žádnému pohybu navigačního přístroje, je udávaná rychlost nulová. Měření rychlosti se budeme zabývat v kapitole 5.6.

Pokud porovnáme naměřené hodnoty přijímače a data z daného serveru, zjišťujeme výrazný rozdíl v určení nadmořské výšky, ve které se oba způsoby měření od sebe liší o 22 metrů.

Souřadnice bodu jsou přibližně stejné. Ve vrchní části obrázku 26 je uvedena optimální konstelace družic (vyznačená na obrázku 25 zakroužkováním) a vypočítaná přesnost DOP.

Celkově proběhla tři měření během pěti minut v bodě Z. Přehled zaznamenaných údajů zobrazuje tabulka 13.

Tabulka 13 - Dva způsoby měření v bodě Z (zdroj: vlastní)

	Přijímač GPS (C250)		www.calsky.com					
Souřadnice (WGS-84)	N 50,32127° E 15,87471°		N 50,32125° E 15,87472°					
Výška [m]	270		292					
	Družice	Přesnost	Družice	GDOP	PDOP	TDOP	HDOP	VDOP
1.měření	9 (9)	1 m	8	3,58	3,07	1,84	1,52	2,67
2.měření	9 (8)	1 m	8	3,54	3,03	1,83	1,52	2,63
3.měření	9 (7)	1,10 m	9	2,74	2,43	1,25	1,45	1,96
	Čísla všech družic		Čísla družic			Optimální konstelace		
1.měření	5,12,30,9,14,2,29,4,31		5,12,30,9,14,2,29,4			4, 9, 12, 14		
2.měření	5,12,30,9,14,2,29,4,31		5,12,30,9,14,2,29,4			4, 5, 9, 14		
3.měření	5,12,30,9,2,14,29,4,31		5,12,30,9,14,2,29,4,31			2, 5, 29, 31		

Z tabulky je dále možné vidět, že hodnoty DOP u 3.měření jsou podstatně nižší než u předcházejících dvou měření. To znamená vyšší přesnost výpočtu polohy, ačkoli přijímač paradoxně ukazuje o 10 cm vyšší odchylku. Jednotlivé družice, označované čísly 1 až 32, a jejich celkový počet nad horizontem se během pěti minut příliš nemění. Proměnlivá je jen síla signálu satelitů a jejich optimální konstelace, která udává z jakých družic je nejvhodnější vypočítávat svoji polohu. Zaznamenaný počet družic u přijímače GPS uvedený v závorce značí počet satelitů s plnohodnotným signálem, resp. počet satelitů, které jsou v daném okamžiku využívány k výpočtu polohy. Záznam z internetové adresy ukazuje u prvních dvou měření o jednu družici méně, což je způsobeno zadáním elevační masky s hodnotou 10°, neuvažujeme-li zpoždění při aktualizaci na straně serveru, při zachycení fotografie nebo nepřesné místo měření. S hodnotou menší než 10° by mohly být vyhledány i družice, které by přijímač nenalezl. Jsou to družice, z nichž nelze díky špatnému úhlu viditelnosti určit polohu. Na obrázku 25 je vidět, že satelit s číslem 31 se pohybuje na kraji horizontu, ale server při masce 10° tuto družici nenašel (měření 1 a 2). Grafické znázornění konstelace družic, jejich síla signálu a výpis hodnot z internetové adresy u ostatních měření jsou uvedené v příloze 5 a 6.

Jednotlivá měření v bodě A proběhla oproti bodu Z v podstatně větších časových odstupech. Základem testování v bodě Z byla tři měření, která byla provedena během pěti minut. Bod A byl testován během jednoho dne v libovolném čase. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 14, grafické podklady jsou zobrazeny v příloze 1 až 4.

Tabulka 14 - Dva způsoby měření v bodě A (zdroj: vlastní)

	Přijímač GPS (C710)		www.calsky.com					
Souřadnice (WGS-84)	N 50,30358° E 15,86717°		N 50,30356° E 15,86736°					
Výška [m]	245 - 249		279					
	Družice	Přesnost	Družice	GDOP	PDOP	TDOP	HDOP	VDOP
1.měření	11 (9)	1,20	9	2,74	2,45	1,24	1,49	1,94
2.měření	8 (8)	1,20	8	2,70	2,42	1,19	1,38	1,99
3.měření	10 (8)	1,30	7	2,80	2,57	1,10	1,78	1,86
4.měření	10 (7)	1,40	8	3,40	3,02	1,58	1,75	2,46
	Čísla všech družic		Čísla družic			Optimální konstelace		
1.měření	27,7,25,8,13,10,2,4,23,24,16		27,7,25,8,13,10,2,4,23			4, 10, 23, 27		
2.měření	12,9,5,14,30,17,4,2		12,9,5,14,30,17,4,2			2, 9, 17, 30		
3.měření	9,12,5,17,14,30,4,22,15,2		9,12,5,17,14,30,4			4, 9, 14, 30		
4.měření	12,5,9,30,14,4,2,29,17,32		12,5,9,30,14,4,2,29			4, 12, 14, 29		

Tím, že bylo měření prováděno během dne v různých hodinách, přijímač zaznamenal odlišné hodnoty nadmořských výšek. Souřadnice se lišily jen minimálně, proto je v tabulce zapsán pouze údaj z prvního měření. Počet družic se pohyboval průměrně okolo osmi. Nejméně přesné hodnoty DOP byly zjištěny u 4.měření, u kterého byla zároveň zjištěna největší odchylka v určení polohy.

5.6. Měření rychlosti

Test měření rychlosti pomocí GPS probíhal jednoduše porovnáním ručičky tachometru osobního automobilu a čtyř přijímačů signálu GPS. Navigační přístroje byly umístěny vedle sebe a rychlost jízdy byla ustálena postupně na 40 km/h, 60 km/h a 100 km/h. Obě auto-navigace umožňovaly zobrazení rychlosti s přesností na dvě desetinná místa. Zařízení PDA udávala rychlost pouze v celých číslech. Naměřené hodnoty vidíme v tabulce 15.

Tabulka 15 - Měření rychlosti (zdroj: vlastní)

	40 km/h	60 km/h	100 km/h	Přesnost [m]
Mio C710	39,41	58,98	98,74	0,80 – 1,30
Mio C250	39,07	58,75	98,70	0,90 – 1,10
PDA ACER	39	58	98	7 – 11
PDA Fujitsu Siemens	39	58	98	-

Z tabulky vyplývá obecná vlastnost tachometrů silničních vozidel, které jsou ve většině případech nastaveny tak, aby ukazovaly o něco menší rychlost než skutečnou. Přijímače GPS zaznamenávaly rychlost zhruba o 1 až 2 km/h menší. Udávaná přesnost určení polohy přijímače nemá pravděpodobně na měření rychlosti žádný vliv. Výrazné odchylky se neprojeví ani v případě postupné zvyšování rychlosti.

5.7. Přesnost měření

V teoretické části je podrobněji popsáno na jakých faktorech závisí přesnost určování polohy a správnost vlastního výpočtu. Dosavadní měření probíhalo za normálního počasí a na místech s dobrou viditelností na oblohu. Ve většině navigací je možné zobrazit přesnost (odchylku) v určování polohy, která byla již uváděna v předcházejících tabulkách. Přijímač tedy v dané chvíli ukazuje, s jakou přibližnou odchylkou můžeme počítat. V následující tabulce 16 jsou zaznamenány naměřené odchylky v místě A během jednoho týdne auto-navigací Mio C710.

Tabulka 16 - Přesnost určení polohy (zdroj: vlastní)

0,90	1,00	1,00	1,00	1,10	1,50	1,40	1,30	1,10	0,90
1,00	1,70	0,70	0,90	1,20	1,50	1,00	0,90	0,80	1,00
1,80	1,30	1,10	1,00	0,90	1,60	1,40	1,40	1,10	1,50
Nejmenší hodnota [m]			Největší hodnota [m]			Průměr [m]		Modus [m]	
0,70			1,80			1,16		1,00	

Z tabulky výše je zřejmé, že zařízení GPS navigovalo nejčastěji s přesností na jeden metr. Nejmenší naměřená odchylka je 70 cm, což představuje velmi vysokou přesnost.

5.7.1. Přesnost výpočtu polohy – DOP

Přesnost DOP je zde testována opět pomocí serveru www.calsky.com, kam byly zadány souřadnice bodu A a hodnota elevační masky 5°. Aktualizace stránky probíhala vždy přibližně v hodinových intervalech po dobu dvou dní. Naměřené hodnoty DOP představuje tabulka 17.

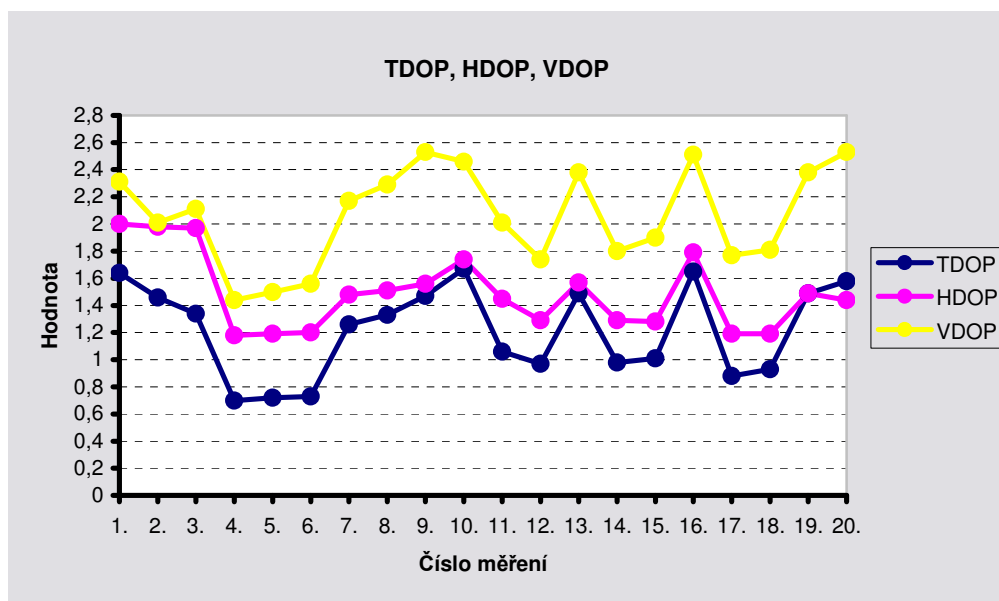
Tabulka 17 - Zaznamenané hodnoty DOP (zdroj: vlastní)

Č.měření	GDOP	PDOP	TDOP	HDOP	VDOP	Družice
1.	3,47	3,06	1,64	2,00	2,31	7
2.	3,18	2,82	1,46	1,98	2,01	8
3.	3,18	2,88	1,34	1,97	2,11	8
4.	1,99	1,86	0,7	1,18	1,44	9
5.	2,04	1,91	0,72	1,19	1,50	9
6.	2,01	1,97	0,73	1,20	1,56	9
7.	2,91	2,63	1,26	1,48	2,17	8
8.	3,05	2,74	1,33	1,51	2,29	8
9.	3,32	2,97	1,47	1,56	2,53	8
10.	3,44	3,01	1,67	1,74	2,46	8
11.	2,69	2,47	1,06	1,45	2,01	9
12.	2,38	2,17	0,97	1,29	1,74	9
13.	3,21	2,85	1,49	1,57	2,38	8
14.	2,42	2,21	0,98	1,29	1,80	9
15.	2,51	2,29	1,01	1,28	1,90	9
16.	3,50	3,08	1,65	1,79	2,51	8
17.	2,31	2,13	0,88	1,19	1,77	9
18.	2,36	2,17	0,93	1,19	1,81	9
19.	3,18	2,81	1,49	1,49	2,38	8
20.	3,31	2,91	1,58	1,44	2,53	8
MIN	1,99	1,86	0,7	1,18	1,44	-
MAX	3,50	3,08	1,67	2,00	2,53	-
Rozdíl	1,51	1,22	0,97	0,82	1,09	-
Průměr	2,82	2,55	1,22	1,49	2,06	-

Pro snadnější vyhodnocení naměřených dat byly vytvořeny dva grafy. Hlavní sledovanou veličinou byly jednotlivé hodnoty DOP v závislosti na počtu družic. Nejprve jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty HDOP, VDOP a TDOP a následně pak z nich vypočítané hodnoty geografického GDOP a polohového PDOP. Obě závislosti představují obrázky 27 a 28. Pro kontrolu správnosti výpočtu GDOP a PDOP byl proveden vlastní výpočet z prvního záznamu tabulky.

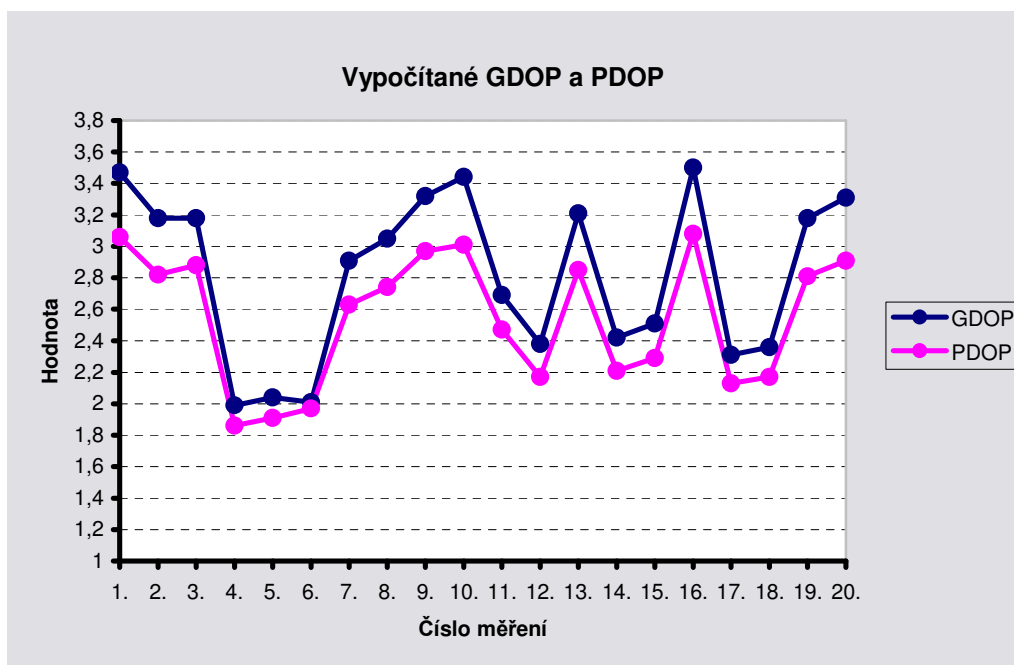
$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2} = \sqrt{2,00^2 + 2,31^2} = \sqrt{4 + 5,3361} = 3,06$$

$$GDOP = \sqrt{TDOP^2 + HDOP^2 + VDOP^2} = \sqrt{1,64^2 + 2,00^2 + 2,31^2} = \sqrt{2,6896 + 4 + 5,3361} = 3,47$$



Obrázek 27 - Závislost TDOP, HDOP, VDOP (zdroj: vlastní)

Podle výše uvedeného obrázku 27 a tabulky 17 je možné vypořizovat, že s klesajícím počtem družic stoupá hodnota všech DOP (klesá přesnost). Největší kolísavost byla zaznamenána u VDOP a naopak nejmenší reakci na změnu počtu družic měla hodnota HDOP. Časová hodnota TDOP se v průběhu testování pohybovala v nejmenších hodnotách. Nejmenší přesnost výpočtu byly zjištěny u vertikálního parametru DOP, který vykazoval nejvyšší hodnoty.



Obrázek 28 - Závislost GDOP a PDOP (zdroj: vlastní)

Vypočítané hodnoty GDOP a PDOP logicky vykazují podobnou závislost na počtu družic jako na obrázku 27, přičemž hodnoty GDOP jsou o něco vyšší než PDOP.

Shrnutí

Jak už bylo řečeno v teoretické části práce, literatura [5] uvádí, že v našich zeměpisných šířkách lze očekávat průměrné hodnoty $DOP = 1,87$, přičemž $VDOP = 1,55$ a $HDOP = 1,05$. Z tabulky 17 však vyplývají podstatně vyšší hodnoty. Ani nejmenší naměřený údaj GDOP (1,99) nedosahuje hodnoty 1,87. Průměr ze všech zaznamenaných hodnot GDOP i PDOP byl vyšší než 2,5. Stejně tak hodnoty parametrů VDOP a HDOP byly zjištěny vyšší než udává teorie. Avšak pokud porovnáme naměřená minima těchto hodnot ($VDOP=1,44$ a $HDOP=1,18$), zjišťujeme, že se k teoretické hodnotě začínáme blížit. Hodnoty VDOP jsou obecně vyšší, což je v daném testu také potvrzeno.

Zmíněná odchylka od teoretických hodnot, které udávají vyšší přesnost, může být způsobena nevhodnou konstelací družic v době testování či méně aktuálním údajem dané literatury. Závěrem lze říci, že po dobu testování se všechny zaznamenané hodnoty všech DOP pohybovaly v intervalu zaručujícím přesný výpočet polohy.

Závěr

První část práce byla zaměřena na teorii globálních navigačních systémů, která měla objasnit k čemu tyto systémy slouží a co je jejich podstatou. Byly zde představeny tři největší projekty moderní satelitní navigace, mezi něž patří systém GPS, ruský GLONASS a evropský Galileo. Přestože jediným plně funkčním systémem je zatím pouze GPS, značná část je věnována také projektu Galileo, kterému je v současnosti soustředěna velká pozornost.

Pochopení základních pojmů a principu činnosti systémů v teoretické části práce mělo sloužit jako podklad pro část hlavní, kde byl proveden rozbor nejrozšířenějšího systému v oblasti satelitní navigace – GPS. Jeho popularita díky jeho stoupající přesnosti a možnostem využití v různých oblastech stále stoupá, to však neznamená, že je tento systém dokonalý a kdykoli stoprocentně přesný. Druhá část práce je tedy zaměřena na funkčnost a otestování tohoto systému.

Hodnocení bylo provedeno pomocí přijímačů signálu, které představovaly auto-navigace a kapesní počítače (PDA) s vestavěným přijímačem a příslušným softwarem. Dále byl použit notebook s připojením na internet a digitální fotoaparát. Všechna měření probíhala na veřejném prostranství s přímou viditelností na oblohu. V budovách, tunelech či hustých lesech nelze ve většině případech přijímat kvalitní signál.

Pomocí přijímačů byly porovnávány souřadnice bodu, nadmořská výška, rychlost, přesnost určení polohy a vzdálenosti, přesnost výpočtu polohy a viditelnost družic. Jednotlivé přijímače se ve výpočtu výše uvedených parametrů mezi sebou výrazně nelišily. Největší rozdíly byly zaznamenány v určení nadmořské výšky a viditelnosti družic, kde zařízení PDA byla více citlivější na změnu polohy družic nad obzorem. Obě auto-navigace byly naopak rychlejší v přepočítávání tras a přesnější v určení vzdálenosti. Porovnáním teoretických hodnot s naměřenými byly zjištěny největší odchylky v určení nadmořské výšky. Přepočet souřadnic byl proveden pomocí volně dostupných programů na internetu. Hodnoty snížení přesnosti DOP udávané v teorii byly porovnávány s údaji aktualizovanými na internetové adrese zabývající se daty systému GPS. Výsledkem byly vyšší naměřené hodnoty DOP než teoretické.

Na závěr můžeme říci, že systém GPS je ve většině případech přesný a spolehlivý. Jeho přesnost s časem neustále roste, což lze díky dané analýze jednoznačně potvrdit. V budoucnu lze očekávat stále dokonalejší technologii připravovaných projektů jako je GPS III či Galileo.

Literatura

- [1] BABČANÍK, Jan. *Jak funguje GPS* [online]. 2006 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1634-Jak-funguje-GPS.html>>.
- [2] BOUMA, Ondřej. *Historie a vývoj satelitních navigačních systémů*. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity [online]. 2003 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xbouma.htm>>.
- [3] Czechspace : *Česká kosmická kancelář* [online]. 2006-2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechspace.cz/>>.
- [4] Palba.cz : vojenský portál : *Družicové navigační systémy*. [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://www.palba.cz/portal.php?topic_id=2213>.
- [5] *Global Positioning System* [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/185654-gps>>.
- [6] *GPS obecně* [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://path.cz/forum/viewforum.php?f=4>>.
- [7] GPS. *GPS World* [online]. 2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.gpsworld.com/>>.
- [8] HOJGR, Radek, STANKOVIČ, Jan. *GPS : Praktická uživatelská příručka*. 1. vyd. Brno : Computer Press, 2007. 221 s. ISBN 978-80-251-1734-7.
- [9] HOUŽVIČKA, Přemysl. *Nová generace navigace – GPS III*. Profit [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.profit.cz/americane-chystaji-novou-generaci-navigace--gps-iii/26228.html>>.
- [10] *Jak funguje GPS*. Svět hardware [online]. 2006 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://www.svethardware.cz/art_doc-7B651FBD154DE90CC12573C500329D3A.html>.
- [11] *Jak GPS funguje ?*: Slovník [online]. 2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.tomtom.com/howdoesitwork/category.php?ID=4&Language=10>>.
- [12] KVAPIL, Jiří. *Kosmický segment GPS a jeho budoucnost*. Aldebaran [online]. 2005, roč. 3 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php>. ISSN 1214-1674.
- [13] MAREČEK, Ivo. *Satelitní navigace*. Digitálně.cz [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://digitalne.centrum.cz/cz/clanky/art_153/satelitni-navigace-valky-budoucnosti-se-povedou-z-vesmiru.aspx>.
- [14] *Navigační systém GPS III*. Letectví [online]. 2007 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.letectvi.cz/letectvi/Article64066.html>>.
- [15] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava : VŠB - TU, 2002. 200 s. Dostupný z WWW: <<http://gis.vsb.cz>>. ISBN 80-248-0124-8.
- [16] SLAVIČEK, Jiří. *Navigační systémy*. Č. Budějovice, 2007. 56 s. Vedoucí absolventské práce Mgr. Jan Černý. Dostupný z WWW: <<http://home.pf.jcu.cz/~pepe/Diplomky/slavicek.pdf>>.

- [17] SNÁŠEL, Jaroslav. Mobilmania : *Jak pracuje navigační systém GPS* [online]. 2005 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://www.mobilmania.cz/default.aspx?section=21&server=1&article=1111127>
- [18] ŠUNKEVIČ, Martin. *Navigační systém Galileo. Aktuální stav vývoje : přednáška* [online]. 2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <materiály zaslány prostřednictvím e-mailu>.
- [19] *Typické příklady použití GPS*. Geoserver [online]. 2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.geoserver.cz/geo/faq.php>>.
- [20] TYRNER, Miroslav, ŠTĚPÁNKOVÁ , Hana. *Družicové polohové systémy*. Kartografie [online]. 1999 [cit. 2008-06-16], s. 26-30. Dostupný z WWW: <www.fbi.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fbi/KARTOGRAFIE.pdf>.
- [21] VEJRAŽKA, František. *Galileo a další družicové navigační systémy*. Sdělovací technika [online]. 2005 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.stech.cz/articles.asp?ida=668&idk=421>>.
- [22] *Wikipedie : Otevřená encyklopedie* [online]. 2008 [cit. 2008-06-16]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana>.
- [23] CalSKY : *Celestial Observer* [online]. 1998-2008 , 2.7.2008 [cit. 2008-07-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.calsky.com/>>.
- [24] KERHAT, Jakub. *Transformace z WGS84 do S-JTSK* [online]. 2005 [cit. 2008-08-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.geospeleos.com/Mapovani/WGS84toSJTSK/WGS84toSJTSK.htm>>.

Seznam použitých zkratek

CS	- Komerční služba projektu Galileo (Commercial Service)
DOP	- Parametr snížení přesnosti (Dilution of Precision)
ERIS	- Regionální složka systému Galileo (External Region Integrity Systems)
ESA	- Evropská kosmická agentura (European Space Agency)
FOC	- Plná operační schopnost (Full Operational Capability)
GDOP	- Geometrický DOP
GNSS	- Globální družicový polohový systém (Global Navigation Satellite System)
GPS	- Globální navigační systém (Global Positioning System)
HDOP	- Horizontální DOP
IOC	- Částečná operační schopnost (Initial Operational Capability)
JPO	- Kosmická divize velitelství systémů vzdušných sil USA (Joint Program Office)
NDS	- Družice systému GPS Bloku I (Navigation Development Satellites)
NTS	- Testovací družice systému GPS (Navigation Technology Satellites)
PDA	- Kapesní počítač (Personal Digital Assistant)
PDOP	- Polohový DOP
PRS	- Veřejně regulovaná služba systému Galileo (Public Regulated Service)
S-42	- Vojenský souřadnicový systém
SA	- Selektivní dostupnost signálu (Selective Availability)
SAR	- Vyhledávací a záchranná služba systému Galileo (Search And Rescue service)
SBAS	- Systém korekce signálu (Satellite Based Augmentation System)
S-JTSK	- Souřadnicový systém používaný v České republice
SoL	- Služba bezpečnosti systému Galileo (Safety of Life service)
TDOP	- Časový DOP
VDOP	- Vertikální DOP
WGS-84	- Souřadnicový systém používaný systémem GPS

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - SEXTANT	8
OBRÁZEK 2 - LOGO NAVSTAR GPS	10
OBRÁZEK 3 - GRAFICKÉ USPOŘÁDÁNÍ SEGMENTŮ	13
OBRÁZEK 4 - ROZMÍSTĚNÍ DRUŽIC A DRAH	13
OBRÁZEK 5 - TYPY OBĚŽNÝCH DRAH	14
OBRÁZEK 6 - DRUŽICE GPS	15
OBRÁZEK 7 - ROZMÍSTĚNÍ STANIC ŘÍDÍCÍHO SEGMENTU	17
OBRÁZEK 8 - MODULACE NOSNÉ VLNY	19
OBRÁZEK 9 - STRUKTURA NAVIGAČNÍ ZPRÁVY	21
OBRÁZEK 10 - STRUKTURA SIGNÁLŮ GPS	22
OBRÁZEK 11 - TRILATERACE VE 2D	23
OBRÁZEK 12 - TRILATERACE VE 3D	24
OBRÁZEK 13 - GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TRILATERACE	24
OBRÁZEK 14 - VÍCECESTNÉ ŠÍŘENÍ SIGNÁLU	27
OBRÁZEK 15 - GEOMETRICKÉ ZNÁZORNĚNÍ DOP	28
OBRÁZEK 16 - PŘEHLED SYSTÉMŮ SBAS	29
OBRÁZEK 17 - POČET DRUŽIC KOSMICKÉHO SEGMENTU V JEDNOTLIVÝCH LETECH	31
OBRÁZEK 18 - RUČNÍ PŘIJÍMAČE	39
OBRÁZEK 19 - UKÁZKA PŘIJÍMAČŮ	41
OBRÁZEK 20 - PŘÍKLAD PŘEPOČTU SOUŘADNIC A NADMOŘSKÝCH VÝŠEK	44
OBRÁZEK 21 - VYHLEDÁVÁNÍ DRUŽIC NA Mio C710	46
OBRÁZEK 22 - VYHLEDÁVÁNÍ DRUŽIC NA Mio C250	46
OBRÁZEK 23 - VYHLEDÁVÁNÍ DRUŽIC NA Mio C250 II.	47
OBRÁZEK 24 - VYHLEDÁVÁNÍ DRUŽIC NA PDA FUJITSU SIEMENS	47
OBRÁZEK 25 - STAV DRUŽIC NA Mio C250	49
OBRÁZEK 26 - AKTUALIZACE STAVU DRUŽIC	49
OBRÁZEK 27 - ZÁVISLOST TDOP, HDOP, VDOP	54
OBRÁZEK 28 - ZÁVISLOST GDOP A PDOP	54

Seznam tabulek

TABULKA 1 - PARAMETRY DRUŽIC	15
TABULKA 2 - PŘEHLED FREKVENCÍ A KÓDŮ GPS	20
TABULKA 3 - PŘESNOST SLUŽEB GALILEO	37
TABULKA 4 - PŘEHLED A PARAMETRY PŘIJÍMAČŮ	40
TABULKA 5 - NAMĚŘENÉ HODNOTY	41
TABULKA 6 - POROVNÁNÍ SOUŘADNIC WGS-84 A S-JTSK	42
TABULKA 7 - ODCHYLKA SOUŘADNIC V ROVINĚ	43
TABULKA 8 - POROVNÁNÍ NADMOŘSKÝCH VÝŠEK SYSTÉMU WGS-84 A S-JTSK	44
TABULKA 9 - NAMĚŘENÁ NADMOŘSKÁ VÝŠKA	44
TABULKA 10 - ODCHYLKA SOUŘADNIC V PROSTORU	45
TABULKA 11 - CITLIVOST ZMĚN POLOHY DRUŽIC DVOU AUTO-NAVIGACÍ	47
TABULKA 12 - CITLIVOST ZMĚN POLOHY AUTO-NAVIGACE A PDA	48
TABULKA 13 - DVA ZPŮSOBY MĚŘENÍ V BODĚ Z	50
TABULKA 14 - DVA ZPŮSOBY MĚŘENÍ V BODĚ A	51
TABULKA 15 - MĚŘENÍ RYCHLOSTI	52
TABULKA 16 - PŘESNOST URČENÍ POLOHY	52
TABULKA 17 - ZAZNAMENANÉ HODNOTY DOP	53

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ A (MĚŘENÍ Č.1).....	63
PŘÍLOHA 2 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ A (MĚŘENÍ Č.2).....	64
PŘÍLOHA 3 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ A (MĚŘENÍ Č.3).....	65
PŘÍLOHA 4 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ A (MĚŘENÍ Č.4).....	66
PŘÍLOHA 5 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ Z (MĚŘENÍ Č.2).....	67
PŘÍLOHA 6 - POLOHA DRUŽIC V BODĚ Z (MĚŘENÍ Č.3).....	68

Příloha 1 - Poloha družic v bodě A (měření č.1)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites:

Input Elevation Mask: 10°

Satellites in view: 9 (SV2 SV4 SV7 SV8 SV10 SV13 SV23 SV25 SV27)

Optimum Constellation: SV4 SV10 SV23 SV27

Solution Accuracy: GDOP=2.74 PDOP=2.45 HDOP=1.49 VDOP=1.94 TDOP=1.24

Tuesday 1 July 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Holohlavy, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m02.5s Lat: +50d18m12.8s Alt: 279m All times in CET or CEST (during summer)
PRN 27/GPS BIIA- (22108 1992-058-A)	Mag=14.6m Aurigae az: 137.1° SE h: 80.0° dist: 20776.1km ra: 6:11.4 de: +42:33
PRN 07/GPS BIIRM (32711 2008-012-A)	Mag=14.4m Aurigae az: 103.2° ESE h: 75.4° dist: 20349.1km ra: 6:55.8 de: +45:02
PRN 25/GPS BIIA- (21890 1992-009-A)	Mag=13.2m Ursae Majoris az: 63.8° ENE h: 57.8° dist: 21242.2km ra: 9:06.7 de: +53:14
PRN 08/GPS BIIA- (25030 1997-067-A)	Mag=13.9m Tauri az: 202.6° SSW h: 53.9° dist: 21337.1km ra: 4:40.0 de: +15:58
PRN 13/GPS BIIR- (24876 1997-035-A)	Mag=13.3m Ursae Majoris az: 77.5° ENE h: 50.2° dist: 21274.1km ra: 9:28.2 de: +42:49
PRN 10/GPS BIIA- (23953 1996-041-A)	Mag=11.9m Cassiopeiae az: 303.8° NW h: 39.8° dist: 21910.4km ra: 0:02.8 de: +49:55
PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=12.2m Arietis az: 250.5° WSW h: 30.4° dist: 22524.0km ra: 1:49.8 de: +11:51
PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=12.6m Eridani az: 216.5° SW h: 19.7° dist: 23925.8km ra: 3:13.9 de: -12:55
PRN 23/GPS BIIR- (28361 2004-023-A)	Mag=12.6m Leonis az: 87.8° E h: 16.8° dist: 23870.4km ra: 10:57.2 de: +14:10

Příloha 2 - Poloha družic v bodě A (měření č.2)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

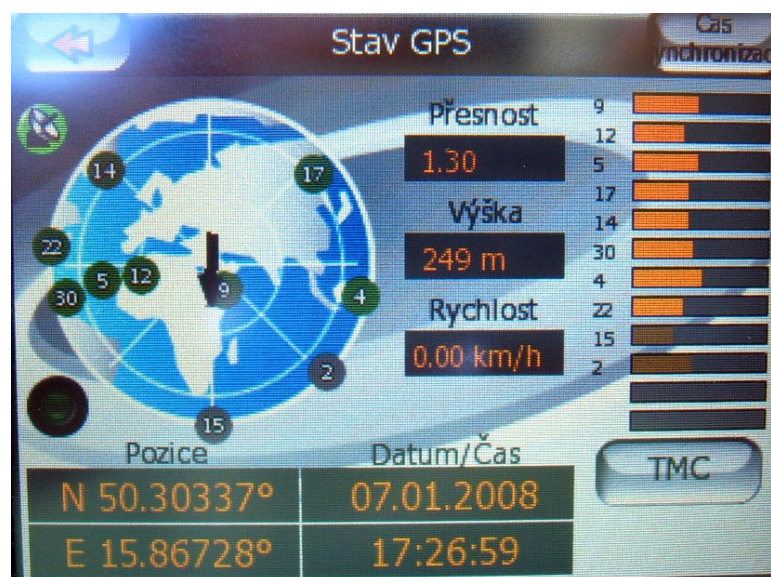
Minimum elevation of satellites:

Input Elevation Mask: 10°
 Satellites in view: 8 (SV2 SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV17 SV30)
 Optimum Constellation: SV2 SV9 SV17 SV30
 Solution Accuracy: GDOP=2.7 PDOP=2.42 HDOP=1.38 VDOP=1.99 TDOP=1.19

Tuesday 1 July 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Holohlavy, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m02.5s Lat: +50d18m12.8s Alt: 279m All times in CET or CEST (during summer)
PRN 12/GPS BIIRM (29601 2006-052-A)	Mag=12.6m Ursae Majoris az: 274.1° W h: 72.0° dist: 20478.4km ra: 10:38.6 de: +48:13
PRN 09/GPS BIIA- (22700 1993-042-A)	Mag=11.6m Canum Venaticorum az: 144.2° SE h: 71.1° dist: 20110.2km ra: 13:22.0 de: +34:02
PRN 05/GPS BIIA- (22779 1993-054-A)	Mag=13.4m Lyncis az: 268.8° W h: 55.1° dist: 20858.8km ra: 9:20.7 de: +38:33
PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=14.3m Aurigae az: 307.6° NW h: 32.0° dist: 22713.9km ra: 6:08.7 de: +47:33
PRN 30/GPS BIIA- (24320 1996-056-A)	Mag=14.8m Cancrī az: 262.9° W h: 30.1° dist: 22582.1km ra: 8:09.7 de: +18:31
PRN 17/GPS BIIRM (28874 2005-038-A)	Mag=11.5m Cygni az: 46.6° NE h: 22.0° dist: 23545.7km ra: 19:51.0 de: +44:03
PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=11.2m Herculis az: 95.2° E h: 21.3° dist: 23364.9km ra: 17:18.2 de: +13:02
PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=11.3m Librae az: 127.9° SE h: 14.0° dist: 24494.0km ra: 15:54.4 de: -11:14

Příloha 3 - Poloha družic v bodě A (měření č.3)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites: 10°

Input Elevation Mask: 10°

Satellites in view: 7 (SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV17 SV30)

Optimum Constellation: SV4 SV9 SV14 SV30

Solution Accuracy: GDOP=2.8 PDOP=2.57 HDOP=1.78 VDOP=1.86 TDOP=1.1

Tuesday 1 July 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Holohlavy, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m02.5s Lat: +50d18m12.8s Alt: 279m All times in CET or CEST (during summer)
PRN 09/GPS BIIA- (22700 1993-042-A)	Mag=11.8m Canum Venaticorum az: 144.6° SE h: 80.4° dist: 19855.5km ra: 12:40.7 de: +42:14
PRN 12/GPS BIIRM (29601 2006-052-A)	Mag=13.0m Leonis Minoris az: 263.1° W h: 64.3° dist: 20710.1km ra: 9:51.1 de: +41:19
PRN 05/GPS BIIA- (22779 1993-054-A)	Mag=14.0m Cancrī az: 262.9° W h: 47.3° dist: 21308.6km ra: 8:44.4 de: +30:47
PRN 17/GPS BIIRM (28874 2005-038-A)	Mag=11.5m Lyrae az: 49.4° NE h: 28.8° dist: 22948.1km ra: 18:55.4 de: +47:15
PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=13.9m Aurigae az: 314.3° NW h: 27.2° dist: 23135.6km ra: 5:05.6 de: +48:27
PRN 30/GPS BIIA- (24320 1996-056-A)	Mag=14.9m Canis Minoris az: 258.1° WSW h: 23.0° dist: 23244.5km ra: 7:45.6 de: +10:22
PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=11.3m Ophiuchi az: 102.2° ESE h: 16.5° dist: 23825.8km ra: 16:51.7 de: +5:07

Příloha 4 - Poloha družic v bodě A (měření č.4)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites: 10°

Input Elevation Mask: 10°
Satellites in view: 8 (SV2 SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV29 SV30)
Optimum Constellation: SV4 SV12 SV14 SV29
Solution Accuracy: GDOP=3.4 PDOP=3.02 HDOP=1.75 VDOP=2.46 TDOP=1.58

Tuesday 1 July 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Holohlavy, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m02.5s Lat: +50d18m12.8s Alt: 279m All times in CET or CEST (during summer)
PRN 12/GPS BIIR- (29601 2006-052-A)	Mag=11.9m Ursae Majoris az: 348.5° NNW h: 83.6° dist: 20293.0km ra: 12:57.0 de: +56:34
PRN 05/GPS BIIR- (22779 1993-054-A)	Mag=12.4m Ursae Majoris az: 284.8° WNW h: 71.2° dist: 20218.4km ra: 11:06.9 de: +51:21
PRN 09/GPS BIIR- (22700 1993-042-A)	Mag=11.4m Bootis az: 148.8° SSE h: 52.2° dist: 21039.1km ra: 14:23.4 de: +15:50
PRN 30/GPS BIIR- (24320 1996-056-A)	Mag=13.6m Lyncis az: 273.2° W h: 45.3° dist: 21399.9km ra: 9:10.6 de: +34:51
PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=14.5m Lyncis az: 288.8° WNW h: 36.9° dist: 22289.7km ra: 8:01.3 de: +38:51
PRN 04/GPS BIIR- (22877 1993-068-A)	Mag=11.3m Herculis az: 78.3° ENE h: 27.8° dist: 22795.9km ra: 18:24.5 de: +28:17
PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=11.2m Herculis az: 116.5° ESE h: 26.4° dist: 23257.2km ra: 16:40.6 de: +5:00
PRN 29/GPS BIIR- (32384 2007-062-A)	Mag=12.2m Crateris az: 211.0° SSW h: 17.6° dist: 23897.7km ra: 11:02.9 de: -16:51

Příloha 5 - Poloha družic v bodě Z (měření č.2)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites:

Input Elevation Mask: 10°
 Satellites in view: 8 (SV2 SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV29 SV30)
 Optimum Constellation: SV4 SV5 SV9 SV14
 Solution Accuracy: GDOP=3.54 PDOP=3.03 HDOP=1.52 VDOP=2.63 TDOP=1.83

Tuesday 24 June 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Cernozice, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m29.0s Lat: +50d19m16.5s Alt: 292m All times in CET or CEST (during summer)
 PRN 05/GPS BIIA- (22779 1993-054-A)	Mag=11.8m Ursae Majoris az: 318.4° NW h: 83.1° dist: 20009.1km ra: 13:05.0 de: +55:13
 PRN 12/GPS BIIRM (29601 2006-052-A)	Mag=11.5m Bootis az: 62.9° ENE h: 76.4° dist: 20412.0km ra: 15:01.7 de: +54:43
 PRN 30/GPS BIIA- (24320 1996-056-A)	Mag=12.5m Ursae Majoris az: 282.2° WNW h: 58.1° dist: 20666.2km ra: 10:22.5 de: +46:26
 PRN 09/GPS BIIA- (22700 1993-042-A)	Mag=11.2m Virginis az: 152.7° SSE h: 37.8° dist: 22105.0km ra: 15:02.0 de: +1:21
 PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=13.4m Cancrī az: 272.1° W h: 35.0° dist: 22411.8km ra: 9:07.9 de: +27:25
 PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=11.2m Herculis az: 103.9° ESE h: 34.7° dist: 22513.2km ra: 17:25.5 de: +18:09
 PRN 29/GPS BIIRM (32384 2007-062-A)	Mag=11.9m Virginis az: 215.0° SW h: 30.5° dist: 22746.7km ra: 11:38.4 de: -3:28
 PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=11.4m Cygni az: 63.2° ENE h: 28.3° dist: 22790.1km ra: 19:37.9 de: +38:11

Příloha 6 - Poloha družic v bodě Z (měření č.3)



To see a GNSS quality chart over time, please select a time interval that is shorter than the duration of the calculation and remove the cross:

Minimum elevation of satellites:

Input Elevation Mask: 10°
 Satellites in view: 9 (SV2 SV4 SV5 SV9 SV12 SV14 SV29 SV30 SV31)
 Optimum Constellation: SV2 SV5 SV29 SV31
 Solution Accuracy: GDOP=2.74 PDOP=2.43 HDOP=1.45 VDOP=1.96 TDOP=1.25

Tuesday 24 June 2008

Object (Link)	Event
Observer Site	Cernozice, Czech Republic WGS84: Lon: +15d52m29.0s Lat: +50d19m16.5s Alt: 292m All times in CET or CEST (during summer)
 PRN 05/GPS BIIA- (22779 1993-054-A)	Mag=11.8m Ursae Majoris az: 321.7° NW h: 83.5° dist: 20006.0km ra: 13:10.0 de: +55:12
 PRN 12/GPS BIIRM (29601 2006-052-A)	Mag=11.5m Bootis az: 64.2° ENE h: 76.0° dist: 20421.5km ra: 15:06.3 de: +54:29
 PRN 30/GPS BIIA- (24320 1996-056-A)	Mag=12.5m Ursae Majoris az: 282.6° WNW h: 58.6° dist: 20642.0km ra: 10:25.9 de: +46:50
 PRN 09/GPS BIIA- (22700 1993-042-A)	Mag=11.2m Virginis az: 152.9° SSE h: 37.3° dist: 22152.0km ra: 15:03.3 de: +0:48
 PRN 14/GPS BIIR- (26605 2000-071-A)	Mag=13.4m Cancrī az: 271.5° W h: 34.8° dist: 22425.0km ra: 9:10.0 de: +26:55
 PRN 02/GPS BIIR- (28474 2004-045-A)	Mag=11.2m Herculis az: 103.4° ESE h: 34.9° dist: 22490.1km ra: 17:27.4 de: +18:39
 PRN 29/GPS BIIRM (32384 2007-062-A)	Mag=11.9m Virginis az: 215.1° SW h: 31.0° dist: 22703.8km ra: 11:39.8 de: -2:56
 PRN 04/GPS BIIA- (22877 1993-068-A)	Mag=11.4m Cygni az: 62.6° ENE h: 28.2° dist: 22798.0km ra: 19:41.1 de: +38:30
 PRN 31/GPS BIIRM (29486 2006-042-A)	Mag=15.9m Aurigae az: 313.1° NW h: 10.3° dist: 24807.5km ra: 5:41.1 de: +34:33