

**Komunikace MOS s externími informačními
systémy**
**Communication between Mobile OS and External
IS**

Bakalářská práce
Lucie Steinocherová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Novák, CSc.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra informatiky

2010

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 15.4.2010

Lucie Steinocherová

Anotace

Hlavním tématem bakalářské práce bude vytvoření aplikace na zpracování signálu GPS pro mobilní zařízení a spojení modulu GPS s mobilním zařízením pomocí Bluetooth. Dále bude provedeno měření přesnosti GPS souřadnic v intravilánu a extravilánu. Teoretická část bude věnována popisu satelitní navigaci GPS a její metody zpřesňování.

Abstract

The main subject of this bachelor paper will be formed application on signal processing GPS for mobile arrangement plus connection modulus GPS with mobile arrangement by the help of Bluetooth. Further will be effected measuring accuracy GPS coordinates in urban area and rural area. Theoretic part will be devoted description satellite navigation GPS and precision of valuation.

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Václavu Novákovi, CSc. za odborné vedení, ochotu a čas, který mi věnoval.

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY (GIS).....	8
2.1.	OBLASTI VYUŽITÍ GIS.....	8
3	SYSTÉM GPS	10
3.1.	HISTORIE AMERICKÝCH DRUŽICOVÝCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ.....	11
3.1.1.	<i>Historie GPS.....</i>	<i>12</i>
3.1.2.	<i>Rozdělení systému.....</i>	<i>14</i>
3.2.	ČASOVÝ A SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM GPS	17
3.2.1.	<i>Časový systém.....</i>	<i>17</i>
3.2.2.	<i>WGS 84.....</i>	<i>18</i>
3.3.	SIGNÁL GPS DRUŽIC.....	18
3.3.1.	<i>Hlavní nosné vlny</i>	<i>20</i>
3.3.2.	<i>Ostatní nosné vlny.....</i>	<i>20</i>
3.3.3.	<i>Základní frekvence.....</i>	<i>21</i>
3.3.4.	<i>Pseudonáhodné kódy</i>	<i>21</i>
3.4.	PRINCIPY MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI.....	23
3.4.1.	<i>Kódové měření.....</i>	<i>23</i>
3.4.2.	<i>Fázová měření</i>	<i>24</i>
3.4.3.	<i>Dopplerovská měření.....</i>	<i>24</i>
3.5.	URČENÍ POZICE POMOCÍ GPS	24
3.6.	CHYBY GPS	29
3.6.1.	<i>Ionosférické zpoždění.....</i>	<i>30</i>
3.6.2.	<i>Troposférické zpoždění.....</i>	<i>31</i>
3.6.3.	<i>Vícecestné šíření signálu</i>	<i>31</i>
3.6.4.	<i>Přesnost hodin satelitu</i>	<i>32</i>
3.6.5.	<i>Chyby přijímače.....</i>	<i>33</i>
3.6.6.	<i>Geometrické uspořádání viditelných družic</i>	<i>33</i>
3.6.7.	<i>Oběžné dráhy satelitů</i>	<i>37</i>
3.6.8.	<i>Selektivní dostupnost (angl. Selective Availability).....</i>	<i>37</i>
3.6.9.	<i>Anti-Spoofing</i>	<i>38</i>
3.6.10.	<i>Platnost efemerid</i>	<i>38</i>
3.6.11.	<i>Relativistické efekty</i>	<i>39</i>
3.7.	ZPŘESŇOVÁNÍ GPS	40

3.7.1.	<i>Průměrování</i>	40
3.7.2.	<i>Diferenční GPS (DGPS)</i>	41
3.7.3.	<i>Wide Area Augmentation System (WAAS)</i>	42
3.7.4.	<i>EGNOS</i>	43
3.7.5.	<i>CZEPOS</i>	44
3.8.	PŘEHLED GPS PŘIJÍMAČŮ	45
3.8.1.	<i>Podle způsobu použití</i>	45
3.8.2.	<i>Podle způsobu měření</i>	47
4	NMEA	48
4.1.	<i>VĚTY ZE STRANY MLUVČÍHO</i>	48
4.2.	<i>VLASTNÍ VĚTY</i>	49
4.3.	<i>DOTAZOVACÍ VĚTY</i>	50
5	PŘESNOST A POROVNÁNÍ METOD GPS	51
5.1.	<i>SAMOTNÝ GPS SIGNÁL</i>	51
5.2.	<i>DGPS</i>	55
5.3.	<i>EGNOS</i>	56
5.4.	<i>WAAS</i>	57
5.5.	<i>CZEPOS</i>	57
5.6.	<i>GALILEO</i>	59
5.7.	<i>CELKOVÉ SROVNÁNÍ</i>	61
6	PRAKTICKÁ ČÁST	63
6.1.	<i>PROGRAM</i>	63
6.2.	<i>METODIKA VLASTNÍHO MĚŘENÍ</i>	66
6.2.1.	<i>Měření u vysoké budovy</i>	67
6.2.2.	<i>Měření v zástavbě</i>	77
6.2.3.	<i>Měření ve volném prostoru</i>	86
6.2.4.	<i>Měření v lese</i>	97
6.3.	<i>SROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH HODNOT</i>	98
7	ZÁVĚR	99
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	102
	PŘÍLOHY	108

1 Úvod

Satelitní navigační systém GPS je velice důležitý jak v běžném životě člověka, tak i v odborném odvětví, jako je letecká a námořní doprava, geodetické práce a mnoho dalších. Používá se tedy pro navigaci dopravních prostředků, vyměřování pozemků, budování sítí, GIS aj. Důležité je zařízení, se kterým bude systém GPS využíván. Pokud nebudeme brát v úvahu profesionální přístroje, rozšiřuje se mezi běžnými uživateli používání GPS systému v mobilním zařízení, bakalářská práce se tedy zaměřuje na spojení externího GPS modulu s mobilním zařízením.

Teoretická část stručně vysvětlí fungování systému GPS, vlivy, které ho ovlivňují a jeho přesnost při určení pozice. Poté budou srovnány všechny dostupné komerční i nekomerční systémy pro podporu GPS, které mají zpřesňovat hodnoty měření se samotným systémem GPS.

V praktické části bude vytvořen software, který bude provozován na mobilním zařízení a bude zajišťovat komunikaci s GPS modulem pomocí technologie Bluetooth. Jako programovací jazyk byl zvolen C#. Poté bude proveden soubor měření v intravilánu a extravilánu. Výsledky jsou zpracovány a vyhodnoceny do grafů. Detailnější vypracování výsledků z každého měření se nachází na přiloženém CD ve složce *Výsledky měření*.

2 Geografické informační systémy (GIS)

Geografický informační systém integruje hardware, software a data pro jejich sběr, analýzu a zobrazování všech forem geografické informace. Umožňuje nám tedy pracovat s daty, které jsou v nějakém geografickém vztahu. Zejména se zabývá zpracováváním dat, které jsou pak prezentované v mapách. Protože systém GIS je velice obsáhlý, seznámíme se s ním pouze povrchově. GIS vytváří modely z části zemského povrchu a ty pak aplikuje pro další využití. Data, se kterými GIS pracuje, se nazývají geodeta a ty se skládají z jednotlivých geoobjektů. Geoobjekt obsahuje prostorové (tvar, poloha) a neprostorové (atributy objektů) informace. [37]

Pro sběr dat je tak velmi efektivní použití GPS systému. GPS lokalizované body mohou být cesty, potrubí a jiné objekty. Tyto data jsou poté porovnávány a analyzovány v počítačových programech nazývaných Geografický informační systém. Ve vojenství můžeme pomocí GPS sledovat vojenské jednotky a přes GIS zobrazit jejich pozici na mapách. Velitelství tak dostává rychlé informace o jejich poloze a může je přesouvat. V zemědělství lze takto např. sbírat data o hnojení a sledovat místa, kde je třeba ještě zahnojit.

2.1. Oblasti využití GIS

Geografické informační systémy mají mnoho využití. Nejvíce jsou používány v inženýrských sítích. GIS shromažďuje a uchovává data o sítích a používá se pro zobrazení map položeného vedení, potrubí. V GISu jsou také uložena demografická a socioekonomická data obyvatel, pokrytí obchodů a mapa jízdních časů, tyto informace se využívají zejména při hledání vhodného umístění například supermarketu a jeho správu. V životním prostředí byl tento systém použit jako první. Jedná se o databázi přírodních zdrojů a také pro modelování přírodních procesů (např. eroze půdy, znečištění) a také při náhlých povodních k modelaci šíření povodňové vlny.

Velice používaný je GIS v dopravě, hlavně při plánování a údržbě dopravní infrastruktury, optimalizace městské hromadné dopravy, plánování přepravy (i nebezpečných nebo nadměrných nákladů). Také se nově objevuje systém navigace umístěný přímo ve vozidle nazývaný AVL systém (angl. Automatic Vehicle Location). Státní správa a samospráva využívá GIS systém při evidenci nemovitostí a jiné evidenci, územním plánování, při organizaci policie, požární služby a záchranné služby a jiné. Velké využití je také v komunikaci, vojenství a v dalších jiných odvětvích, kde zastává nepostradatelnou roli. [37]

K určování polohy se dnes nejčastěji používají rádiové vlny. Navigační systémy fungující na rádiových vlnách jsou buď pozemní radiostanice nebo globální družicové navigační systémy (angl. Global Navigation Satellite Systems, GNSS). V teoretické části se budu dále věnovat pouze jednomu systému GNSS, nazývá se GPS (angl. Global Positioning System) a je nejrozšířenější navigační systém na světě. Pro informaci si můžeme ještě uvést další používané navigační systémy, ruský GLONAS nebo čínský Compass, který mapuje pouze Čínu. Ve fázi příprav je například evropský systém Galileo.

3 Systém GPS

Systém GPS byl vyvinut Ministerstvem obrany Spojených Států Amerických (angl. Department of Defense, DOD). Celé jméno systému je NAVSTAR GPS (angl. Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), ale obvykle se nazývá pouze zkráceně GPS (Globální Poziční Systém).

V dnešní době je aktivních kolem 30 satelitů, kteří obíhají Zemi ve výšce 20 200 kilometrů na střední oběžné dráze (angl. Medium Earth Orbit, MEO). [1] Oběžné dráhy jsou uspořádané tak, že kdykoliv a kdekoliv na Zemi jsou alespoň čtyři satelity viditelné. Protože minimálně čtyři tělesa potřebujeme ke stanovení pozice, z toho jedno těleso je Země a další tři obíhající satelity, další čtvrtý satelit je potřebný k určení nadmořské výšky. Tyto GPS satelity vysílají signály, které umožňují zjistit přesné umístění GPS přijímače, ten tento signál pouze přijímá, nikoliv přeposílá. Přijímač GPS signálu můžeme mít zabudovaný v mobilním telefonu, navigačním přístroji nebo existují i samostatné GPS přijímače. Tento přijímač může být umístěn přímo na povrchu Země, v zemské atmosféře nebo na nízko umístěné orbitě.

V dnešní době je tento systém jediný a plně funkční satelitní navigační systém. Využívá se v letectví, námořnictví a pro navigaci po celém světě. Velmi hojně se také využívá v zeměměřičství, pro tvorbu map, také pro přesné určení času, což je vhodné pro synchronizaci telekomunikačních sítí. GPS signál je přístupný každému, kdo má GPS přijímač bez jakéhokoliv poplatku. A to přesto, že údržba a provoz satelitů stojí ročně přibližně 400 miliónů dolarů [9]. Dohled nad satelitní sítí je řízen padesátým vesmírným oddílem vzdušných sil Spojených Států (angl. 50th Space Wing of the United States Air Force). Jediná podmínka k přijímání signálu je mít volný výhled na satelity, tedy na oblohu Země. Proto se používají převážně venku a nefungují dobře blízko výškových budov nebo v zalesněných plochách. Uvnitř budovy není

možné GPS používat vůbec. Systém je funkční 24 hodin denně bez ohledu na počasí a využívat ho může neomezené množství uživatelů. Satelity oběhnou kolem Země za 12 hodin v 6-ti orbitálních dráhách tzn., že připadaly 4, dnes již 6 satelitů na jednu oběžnou dráhu. Původně byl založený na provozu 24 satelitů, 21 satelitů bylo nezbytných a 3 jako záložní. V dnešní době máme k dispozici 32 satelitů pro určení naší pozice, aktivních je jich 29, ostatní slouží jako testovací a nebo poslouží při výpadku některého z aktivních satelitů. [10]

3.1. Historie amerických družicových navigačních systémů

GPS systém se inspiroval jinými navigačními systémy, jako je například LORAN, který byl používán ve druhé světové válce. V roce 1957 Sovětský Svaz spustil program Sputnik¹ a skupina amerických vědců zkoumala radiové vysílání prvního Sputniku [9]. Skupinu vedl Dr. Richard B. Karshner a vědci zjistili, že frekvence vysílaného signálu ze satelitu byla vyšší, když se přibližoval a nižší, když se vzdaloval. Tento jev byl zajištěn díky Dopplerovu efektu², který popisuje změnu vlnové délky (frekvence) v závislosti na vzájemném pohybu pozorovatele a zdroje vlnění. Vědci tak mohli, díky znalosti jejich pozice na Zemi, určit i polohu Sputniku na jeho oběžné dráze pomocí měření frekvenční změny, pokud znali parametry orbity Sputniku. [9]

Americké námořnictvo v roce 1960 testovalo první navigační systém Transit. Systém byl schopen určit polohu jednou za hodinu a využíval k tomu 6-ti družic. Byl využíván pro navigaci vojenských lodí. Nejdříve byl schopen určit pozici přijímače na 500 metrů a po zdokonalení do 5 metrů.

¹ Sputnik je pojmenování řady kosmických družic, které vypustil Sovětský Svaz.

² Nejběžnější příklad je siréna na vozidle jedoucí okolo stojícího pozorovatele. Pokud se k pozorovateli vozidlo blíží, slyšíme sirénu ve vyšší frekvenci, pokud se od pozorovatele vzdaluje, frekvence poklesne.

31. května 1967 byla do vesmíru vypuštěna družice jménem Timation 1 [9], která měla jako první schopnost informovat o přesném čase (ještě neobsahovala atomové hodiny). Od tohoto roku byl Transit povolen i pro civilní sektor. 30. září 1969 byla vypuštěna druhá družice Timation 2 [11]. Obě posloužily hlavně k testování pro GPS systém. Poslední družice tohoto systému byla vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1988 a v roce 1996 byl tento systém ukončen [2].

3.1.1. Historie GPS

17. 12. 1973 se americká vláda pevně rozhodla o vybudování systému NAVSTAR GPS. Ve stejném roce byl vyvinut pozemní radionavigační systém Omega, založený na systému Transit a Timation, který v letech 1974-1979 testovala [1]. První testy přijímače byly v roce 1977, v testovacím období [1], kdy nebyly ještě satelity na oběžné dráze. Ty nahrazují vysílače, které jsou umístěné na zemském povrchu a nazývají se pseudodružice. Tyto testy byly využity hlavně pro účely vývoje systému GPS. V létě 1974 byla pro účely testování GPS vypuštěna další družice jménem Timotion 3, později přejmenována na NTS-1, která jako první nesla atomové hodiny (dva rubidiové oscilátory). 23. června 1977 byla vyslána druhá družice NTS-2, která započala 1. fázi NAVSTAR GPS [11].

V periodě 1978-1985 bylo vypuštěno celkem 11 družic Bloku I (Block-I GPS). Tedy v únoru 1978 byla poslána na oběžnou dráhu první testovací družice. V roce 1979 bylo rozhodnuto o přepracování celého programu expandování GPS systému. Nejdříve mělo být používáno 18 satelitů, ale později byl počet zvýšený na 24. Blok I byl spuštěn v roce 1980 a první satelit nesl senzor odhalující atomové exploze. USA chtělo kontrolovat Sovětský Svaz, se kterým uzavřelo v roce 1963 dohodu o zdrženlivosti jaderných zkoušek na zemi, pod mořem nebo ve vesmíru. [1] V letech 1980-1982 dopadla na GPS projekt finanční krize a sponzoři nevěřili ve využití tohoto systému.

O rok později se stala velká letecká tragédie, když se korejské civilní letadlo (KAL 007) ztratilo v zakázaném sovětském leteckém prostoru a sestřelil ho sovětský stíhací letoun, všichni na palubě zahynuli [9]. Prezident USA tak rozhodl, že se GPS systém bude používat i v civilním prostředí. Další nehoda v roce 1986, raketoplán Challenger, který měl dopravit další komunikační satelit, explodoval několik sekund po startu [1].

14. února 1989 byla vynesena na oběžnou dráhu první moderní družice Bloku II. Díky válce v zálivu (1990-91) se americká vláda bála zneužití satelitů a byl zaveden systém Selective Availability (SA), který umožnil používání přijímačů pouze pro vojenské účely [1]. V roce 1992 byl zrušen Druhý Vesmírný oddíl (angl. 2nd Space Wing) a celý systém přešel pod řízení Padesátého Vesmírného oddílu (angl. 50th Space Wing). Do konce následujícího roku se stal GPS systém funkčním a 17. ledna 1994 bylo na oběžné dráze 24 satelitů. O dva roky později prezident USA Bill Clinton oficiálně oznámil používání GPS systému i pro civilní využití. Vydal směrnici pro využívání systému a rozdělil ho na dva sektory (civilní a armádní) a byl založen Správní orgán GPS (angl. Interagency GPS Executive Board) [9]. 2. května 2000 [1] byla vypnuta ochrana Selective Availability a i pro civilní použití bylo možné získat plnohodnotný signál. Zpřesnění bylo ze 100 metrů na 20 m. Jako správce systému byl schválen nový orgán, National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Executive Committee. Nejstarší fungující družice je z roku 1990 [9]. Předposlední družice řady IIR-M byla vyslána 24. 3. 2009 raketou Delta II [www.czechspace.cz]. A poslední satelit z této skupiny byl vypuštěn 17. 8. 2009 [38]. V dalších letech se plánuje vypuštění satelitů typu IIF. Vyvíjí se také nový, moderní Blok III.

3.1.2. Rozdělení systému

Systém GPS se dělí na tři hlavní části:

1. Kosmický segment (angl. Space Segment, SS)
2. Řídící segment (angl. Control Segment, CS)
3. Uživatelský segment (angl. User Segment, US)

Kosmický segment se skládá nejméně z 24 satelitů, dnes je jich k dispozici 32. První satelity byly vysílány k oběžné dráze již v roce 1978. Postupem času se satelity zdokonalovaly a dnes známe několik typů – Block I, Block II, Block IIA, Block IIR a Block IIF. Družice obíhají v šesti oběžných rovinách, tyto roviny jsou centrické vzhledem k Zemi a mají přibližný sklon k rovníku 55° . Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° podél rovníku. Družice obíhají ve výšce 20 200 kilometrů a každá oběhne svou dráhu 2x za hvězdný den (oběžná doba je tedy 11 hodin a 58 minut). Takže přeletí nad stejným místem na Zemi jednou za den. Družice se pohybují vždy po stejných trajektoriích. Oběžné dráhy jsou navrženy tak, že alespoň šest satelitů je vždy vidět skoro z jakéhokoliv místa na Zemi. V roce 2007 se v systému GPS využívalo 29 aktivních satelitů, z nich pět satelitů je doplňkových, které slouží k zpřesnění výpočtu přijímačů. [9] Pokud některý satelit selže, díky nadbytečným jednotkám může systém GPS dále spolehlivě fungovat maximálně do dvou dnů. Satelit má odstávku, pokud se upravuje přesnost jeho atomových hodin, to je jednou za dva roky a trvá zhruba 18 hodin [10]. Také je potřeba zkorigovat jeho oběžnou dráhu, zpravidla jednou za rok, protože satelity se ze své dráhy vychylují zejména změnou působením zemské gravitace, oprava trvá 12 hodin [10].

BLOCK I – Od roku 1978-1985 bylo vypuštěno 11 družic. Družice byly vysílány z Kalifornie v USA a každá vážila 845 kg [2]. Jejich délka života byla skoro 10 let, a proto dnes již žádná tato družice nefunguje. Satelitní signály byly užívány i pro civilní potřeby. Každý satelit měl na sobě solární panely,

které sloužily, jako zdroj energie se silou 400 W [2]. Pokud satelit procházel skrz zemský stín, jako rezerva mu sloužily nikl-kadmiové baterie. Satelit měl také pomocné řídicí rakety.

BLOCK II, IIA – Tyto družice váží skoro 2x více než starší družice z bloku I a to 1500 kg. První družice byly vyslány na oběžnou dráhu v roce 1998 z mysu Canaveral. Jejich životnost měla být kolem 7 a půl roku. Do září roku 1996 bylo dohromady vypuštěno 9 satelitů typu Block II a 18 satelitů typu Block IIA. Družice jsou stále používány v různých oběžných dráhách. Označení A znamená pokročilé. Tyto dva typy družic v sobě nesou již zabudované dvojce atomové hodiny³ s časovou stabilitou menší než 10^{-13} . I tyto satelity umí odhalovat jaderné výbuchy. Poslední družice Block IIA byl doposud vypuštěn z mysu Canaveral 30. ledna 2001. Vypuštění jedné družice stojí přibližně 50 milionů dolarů. [2]

BLOC IIR (IIR-M) – V září 2005 byly vyslány tyto první moderní satelity. Mají kapacitu k realizování druhé civilní frekvenci (L_2C) a nového vojenského signálu s novým kódem (M-code na ML_1 a ML_2). Tyto družice váží již 2 tuny a jejich cena je 75 milionů dolarů [2]. Jsou vybaveny již třemi atomovými hodinami. Jejich absolutní přesnost ± 1 sekunda za 1 milion let je nezbytná pro správné fungování GPS systému. Satelity mají opět solární panely s kapacitou vyšší než 750 W [2]. Tyto satelity měly být na oběžnou dráhu přineseny skupinou tří raketoplánů, ale po nehodě jednoho z nich bylo rozhodnuto o vynesení satelitů dvojicí Delta raket. První dvě družice byly nakonec nefunkční, protože raketa po vznesení vykazovala špatné funkce a byla zničena. Poslední satelit typu IIR-M byl vyslán na oběžnou dráhu v srpnu 2009.

³ Pracují na principu rezonanční frekvence atomů cesia, tj. více než 9 miliard. Kmitů atomu za sekundu.

BLOCK IIF – Tato generace satelitů byla plánovaná pro civilní používání na frekvenci L_5 [2], který umožňuje určit pozici dokonce s vyšší přesností. Mohou být vybaveny vodíkovým maserem⁴, který představuje atomové hodiny, které mají ještě menší odchylky. Jejich vypuštění na oběžnou dráhu se plánuje v dalších letech.

Je podepsaná smlouva na nový Block III, ten bude mít větší odolnost proti rušení signálu a také lepší přesnost a spolehlivost.

Díky jejich vysoké frekvenci nemohou GPS signály proniknout kamenem či vodou. Dokonce některé GPS přijímače, hlavně staršího typu, mohou mít problémy s přijímáním signálu v hustém lesním porostu. GPS signál funguje i za husté oblačnosti a problémy by mohl mít pouze za husté sněhové vánice.

Řídící segment se stará o sledování GPS satelitů monitorovacími stanicemi. Nachází se na: Havajské ostrovy, Kwajalein, Ascension, Diego Garcia, Colorado Sprinte, Mys Canaveral a další, které upravují NGA⁵ [4]. Mys Canaveral je záložní monitorovací stanice a jinak slouží pro vysílání družic do vesmíru. Tyto monitorovací stanice jsou po celém světě a zajišťují, že každá družice na oběžné dráze je viděna minimálně ze dvou stanic na Zemi. V blízké budoucnosti bude přidáno dalších 5 stanic a tak bude každý satelit viděn minimálně ze tří monitorovacích stanic. Data, která se sledují, jsou posílány do hlavní řídící stanice (angl. Master Control Station), která je na letecké základně Schriever v Coloradu Springs. Ta posílá každé družici aktualizaci navigačních dat. K tomu využívá pozemních antén na těchto monitorovacích stanicích. Tyto aktualizace synchronizují družicové atomové

⁴ Je to zařízení zesilující a generující mikrovlnné koherentní elektromagnetické záření na základě stimulované emise, na stejném principu jako laser.

⁵ The National Geospatial-Intelligence Agency vyvíjí obrázky a mapové podklady pro americkou národní bezpečnost. Vyvinul tzv. prostorové informace o nějakém místě na Zemi.

hodiny s přesností do jedné mikrosekundy a upravují družicové efemeridy⁶, ty vypočítává na základě sledování drah pozemními stanicemi. Přibližně jednou za hodinu vysílá tyto aktualizace k družicím a ty je poté vysílají ve svých GPS zprávách. Platnost efemerid trvá maximálně 4 hodiny. Satelity typu IIR jsou dokonce schopni posílat si data s ostatními satelity a opravit tak popřípadě svoje data od jiných satelitů. Teoreticky potřebují kontakt s pozemní stanicí pouze každých 180 dnů [4].

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů uživatelů. Přijímače se skládají z antény, procesoru přijímače a ze stabilních hodin. Některé také mají display, který zobrazí údaje o jeho poloze a rychlosti. U GPS zařízení se většinou uvádí počet kanálů, to znamená od kolika satelitů najednou je zařízení schopno přijímat signál. Dříve to bylo 4 až 5 kanálů, ale dnes je toto číslo vyšší, většinou je standard 12 až 20 kanálů. Některá dnešní zařízení dokážou pracovat až se 66 kanály i přesto, že tolik družic není k dispozici [12].

3.2. Časový a souřadnicový systém GPS

3.2.1. Časový systém

Systém GPS využívá časový systém nazývaný GPST – GPS Time a je řízený atomovými hodinami laboratoří USNO (angl. U.S. Naval Observatory). Počátek GPST byl stanoven v 0 hodin 6.1.1980 UTC (angl. Coordinated Universal Time) [16]. UTC je založený na atomových hodinách a je označován jako koordinovaný světový čas, od něj se pak odvádí lokální čas, který bere v úvahu posun časových pásem.

⁶ Obsahují velmi přesná data o poloze dané družice.

3.2.2. WGS 84

WGS 84 (angl. World Geodetic System 1984) je geodetický systém, který používá systém GPS. Je to geocentrický pravoúhlý pravotočivý systém pevně spojený se Zemí. Definování geodetického systému pro určování polohy na Zemi je velmi složité, protože Země není kulatá, její tvar je deformovaný. Označuje se jako geoid, který je ale pro určení geodetického systému také nevhodný a nejlépe se hodí rotační elipsoid. V roce 1984 byly nejpřesnějším měřením získány informace pro výpočet rotačního elipsoidu a byl označen WGS 84. Je standardem NATO (Severoatlantická aliance). Svým tvarem nejlépe vystihuje Zemi. Do středu elipsoidu je umístěn počátek $P[0,0,0]$. Osa x prochází průsečíkem rovníku a nultého (Greenwichského) poledníku, osa y je zvolena tak, aby byl systém pravotočivý a osa z je stejná s osou rotace. [17]

3.3. Signál GPS družic

Signály GPS přenáší informace například o oběžné dráze družice (efemeridy), o jejích hodinách, zda je družice aktivní, nebo odstavená aj. Dvě sinusové nosné vlny jsou L_1 a L_2 s frekvencemi f_1 a f_2 jsou fázově modulovány pseudonáhodnými kódy (C/A, P-kód) a navigační zprávou. Schéma nám ukazuje, že frekvence f_1 je fázově modulována C/A kódem, P(Y)-kódem, navigační zprávou a tvoří signál L_1 . Frekvence f_2 je fázově modulována P(Y)-kódem a navigační zprávou a tvoří signál L_2 . Složky signálu se počítají ze základní frekvence 10,23 MHz.

Výpočet [13]:

$$L_1 = 154 \cdot f_0 = f_1 = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$L_2 = 120 \cdot f_0 = f_2 = 1227,60 \text{ MHz}$$



Obr. 1 – Struktura GPS signálu

Kritéria pro výběr nosné frekvence [6]:

- 1) Musí být pod 2 GHz, protože frekvence nad 2 GHz by vyžadovaly pro příjem signálu směrové antény.
- 2) Obrovská zpoždění signálu při průchodu ionosférou nastávají při frekvenci pod 100 MHz a nad 10 GHz.
- 3) Rychlost šíření elektromagnetických vln v prostředích jako je vzduch se odchyluje od rychlosti světla (ve vakuu) v závislosti na frekvenci. Čím nižší frekvenci přenášíme, tím nižší rychlost potřebujeme. Pro nízké frekvence je doba přenosu zkreslená.
- 4) PRN kód požaduje velkou šířku frekvenčního pásma pro modulaci na nosné frekvenci, proto použijeme rozmezí velké frekvence s velkou šířkou pásma.
- 5) Frekvenci také nemůže ovlivňovat počasí, jako jsou mraky, déšť a sníh.

Byly vybrány dvě hlavní nosné frekvence, poté další dvě, které plní některé jiné funkce a jedna L_5 , která bude teprve používána. Jsou v rozmezí 1000 MHz – 2000 MHz.

3.3.1. Hlavní nosné vlny

L_1 (1575,42 MHz, vlnová délka 19,05 cm) [6] – na této nosné frekvenci je vysílán C/A kód, ten je dostupný pro civilní užití a také vojenský P(Y) kód, který je šifrovaný a přístupný jen pro autorizované uživatele. Družice bloku IIR-M mohou vysílat vojenský M kód. Signály vysílané na této frekvenci se označují jako signály standardní polohové služby (angl. Standard Positioning Service).

L_2 (1227,62 MHz, vlnová délka 24,45 cm) [6] – zde je vysílán vojenský P(Y) kód a družice bloku IIR-M a novější mohou vysílat vojenský M kód a civilní C/A kód. Je používána pro přesnou polohovou službu (angl. Precise Positioning Service).

L_2C – tento signál vysílá kód nazvaný „civil signal“ nebo „CS“ a vznikl přidáním k nosné vlně L_2 . Dvoufrekvenční přijímače tak umožňují přístup ke dvěma původním signálům na L_1 a L_2 , to vede ke zlepšení přesnosti výpočtů. Tento kód vysílají družice typu IIR-M. [6]

3.3.2. Ostatní nosné vlny

L_3 (1381,05 MHz) [6] – obsahují signály na odhalení startu balistických raket a také detekci jaderných výbuchů a jiných vysokoenergetických zdrojů v infračerveném záření.

L_4 (1841,40 MHz) [6] – se používá pro měření ionosférické refrakce, protože se signál při průchodu ionosférou zpožďuje a to se promítá do chyb při určování polohy.

L_5 (1176,45 MHz) [6] – plánuje se jako civilní Safety-of-life signál. Podporovat ho budou družice bloku IIF. Tato frekvence patří do mezinárodně chráněné oblasti letecké navigace. Je zde malé nebo žádné rušení signálu.

3.3.3. Základní frekvence

GPS družice odvozují své frekvence od základní frekvence (angl. fundamental frequency). Označuje se f_0 a její hodnota je $f_0 = 10,23$ MHz [6]. Je odvozována z atomových hodin a její hodnota je taková, že eliminuje efekty způsobené pohybem družic.

3.3.4. Pseudonáhodné kódy

3.3.4.1. C/A kód

Každá družice má svůj vlastní C/A (angl. Coarse acquisition) kód, což je pseudonáhodná posloupnost 1023 jedniček a nul [10]. Tento kód je svým charakterem blízký šumu (PRN kód, z angl. Pseudo Random Noise), ale je jednoznačně určený. Všechny družice tak můžeme identifikovat podle jejich vlastního PRN čísla. C/A kód má frekvenci 1,023 MHz a opakuje se každou milisekundu [6]. Moduluje nosnou frekvenci L_1 . Kód se používá pro civilní navigaci.

3.3.4.2. P-kód

P-kód má frekvenci 10,23 MHz a je to také PRN kód. Moduluje obě nosné frekvence, L_1 a L_2 . Celková délka P-kódu je 266 dnů [10] a je rozčleněn na sedmidenní kusy a každá družice dostane jeden kus. Kód se tedy opakuje každých sedm dní. Tento kód je přesnější, protože můžeme měřit na obou nosných frekvencích (to velmi eliminuje chyby vlivem ionosféry) a délkou kódu. P-kód je možné zašifrovat a vznikne tzv. Y-kód, který je možné použít

pouze pro autorizované uživatele (např. vojenské účely). Zašifrovaný P-kód se vysílá téměř pořád a tak není přístupný pro civilní použití.

Autorizovaní uživatelé, vojenský sektor USA a vybrané spojenecké armády USA, mají k dispozici dekódovací klíče k P(Y) kódu na frekvencích L_1 a L_2 . Jejich systém vykazuje vyšší přesnost. Ostatní uživatelé mají k dispozici C/A kód na frekvenci L_1 . Přijímače musejí mít omezení určování výšky do 18 km a rychlosti 515 m/s, aby nedošlo k zneužití systému k vojenskému útoku (např. balistické střely).

3.3.4.3. Navigační zpráva

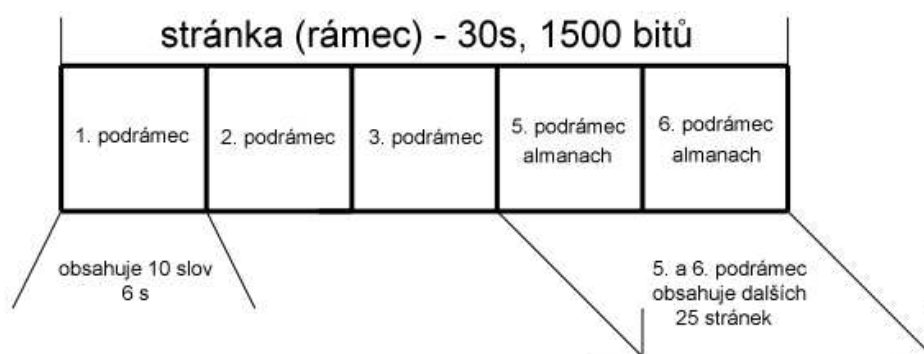
Navigační zprávu vysílá každá družice. Tato zpráva obsahuje 1 500 bitů a je vysílána rychlostí 50 bitů za sekundu [13]. Navigační zpráva obsahuje data družice, která zprávu posílá a také některé informace o ostatních družicích, např. čas odvysílané zprávy, efemeridy, technický stav družic, model ionosféry, korekce hodin, almanach a další. Data jsou platná 4 hodiny. Z navigační zprávy tedy přijímač vypočítá přesný čas, polohu družice a také přibližné korekce ionosférické chyby, pokud neprobíhá dvoufrekvenční měření.

Almanach obsahuje méně přesnější pozice o oběžných drahách ostatních družic a o jejich stavech. Díky znalosti aktuálního almanachu může přijímač v aktuální okamžik vyhledávat viditelné družice a tak sníží dobu nastartování přijímače a získání signálu.

Kompletní zpráva obsahuje 25 rámců (angl. frame). Každý rámec obsahuje 1 500 bitů, trvá 30 sekund a je rozdělen na pět 300 bitových podrámců (angl. subframe). Každý podrámec trvá 6 sekund a obsahuje deset 30 bitových slov (angl. word). Jedno slovo trvá 0,6 sekund. Doba vysílání celé navigační zprávy je tedy 12,5 minut. [13]

Na obrázku Obr. 2 je znázorněn jeden rámec s 5 podrámcí. První tři podrámcí mají jen jednu stránku a v každém rámcí se opakuje stejná hodnota každých

30 sekund. Podrámcí 4 a 5 obsahují stránek 25 (25 různých významů) a údaje každé stránky se opakují každých 12,5 minuty [10].



Obr. 2 – Struktura navigační zprávy

3.4. Principy měření vzdálenosti

3.4.1. Kódové měření

Používá se k měření vzdálenosti mezi přijímačem a družicemi pomocí dálkoměrného kódu (pseudonáhodné kódy, viz. výše). Signál z družice je přijat přijímačem pomocí antény, podle dálkoměrného kódu (většinou pomocí C/A kódu, protože P(Y)- kód je uzavřený pro civilní použití) pozná, která družice signál vyslala. Vzdálenost vypočítá ze sekvence tohoto kódu tak, že z něj zjistí kdy byla zpráva poslána a sám si pamatuje, kdy tuto zprávu přijal. Určená vzdálenost je zatížena chybou nepřesných hodin přijímače a proto mluvíme o tzv. pseudovzdálenosti, kterou je potřeba ještě opravit (viz. níže). Vzdálenost vypočte podle jednoduchého vztahu:

$$d_i = \Delta t_i \cdot c,$$

kde Δt_i vzdálenost mezi přijímačem a družicí (rozdíl mezi časem vyslané zprávy a časem přijetí), c je rychlost šíření signálu.

3.4.2. Fázová měření

Nepracují s dálkoměrnými kódy, ale zpracovávají nosné vlny. Počítáme počet vlnových délek mezi družicí a přijímačem. Počet se skládá z celočíselného násobku nosných vln a desetinné části. Fázová měření vykazují nejednoznačnost (angl. ambiguity), protože zatímco desetinnou část je přijímač schopen určit přesně, celočíselný násobek určuje těžko. Nejednoznačnost je tedy počet vlnových délek. Pro její určení známe mnoho postupů.

Přijímač určí na počátku nejednoznačnost a poté je schopen určovat svoji pozici tak, že k ní přičte celý počet vlnových délek, o které se změnila vzdálenost mezi přijímačem a družicí od počátku měření a dále desetinnou část vlnové délky. Pokud dojde ke ztrátě GPS signálu, přijímač musí fázová měření provést od začátku. [10]

3.4.3. Dopplerovská měření

Využívají dopplerova posunu. Ten využívá změny frekvence signálu vysílané pohybujícím se objektem. Toto měření se ale většinou používá k určení rychlosti, jakou se přijímač pohybuje.

3.5. Určení pozice pomocí GPS

Každý satelit informuje o svém jméně, pozici, čase a kdy tuto informaci vyslal. Také posílá informace o pozicích ostatních satelitů. Přijímač si tyto data pamatuje a použije je poté pro další výpočty.

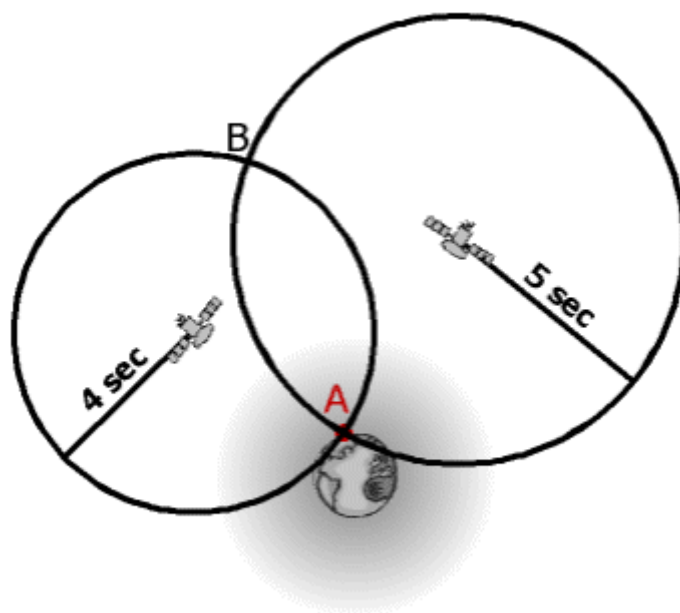
GPS přijímač porovná čas, kdy byl signál vyslán satelitem a čas, kdy signál přijal sám. Z tohoto rozdílu může vypočítat vzdálenost mezi přijímačem a satelitem. Protože při výpočtu pracujeme i s daty z jiných satelitů, aktuální pozice se počítá pomocí trilaterace (tzn. stanovení vzdálenosti pomocí tří bodů). Potřebujeme alespoň tři satelity k určení pozice přijímače na Zemi. Tento výpočet se provádí v dvojrozměrné dimenzi, protože přijímač předpokládá, že je umístěn na zemském povrchu (nebo ve 2D povrchu letadla).

Při čtyřech nebo více satelitech můžeme stanovit pozici v trojrozměrném prostoru (3D), zjistíme výšku nad zemským povrchem.

Zjednodušený příklad pro zjištění vzdáleností je například při určování vzdálenosti bouřky. Změříme čas mezi bleskem a následujícím hromem, rychlost světla je 299 792 458 m/s, takže můžeme zanedbat čas mezi tím, než blesk narazí na zem a kdy jsme ho viděli. Rychlost zvuku v atmosféře je přibližně 340 m/s. Takže při rozdílu 3 sekund mezi bleskem a hromem odpovídá zhruba 1 km vzdálenosti bouřky. [5]

My ale potřebujeme zjistit svoji pozici, ne vzdálenost. Podívám se tedy na to, jak určování pozice pomocí GPS funguje. Pro zjednodušení bereme v úvahu, že Země je dvourozměrný disk (Obr. 3). Princip se pak snadno převede do 3D.

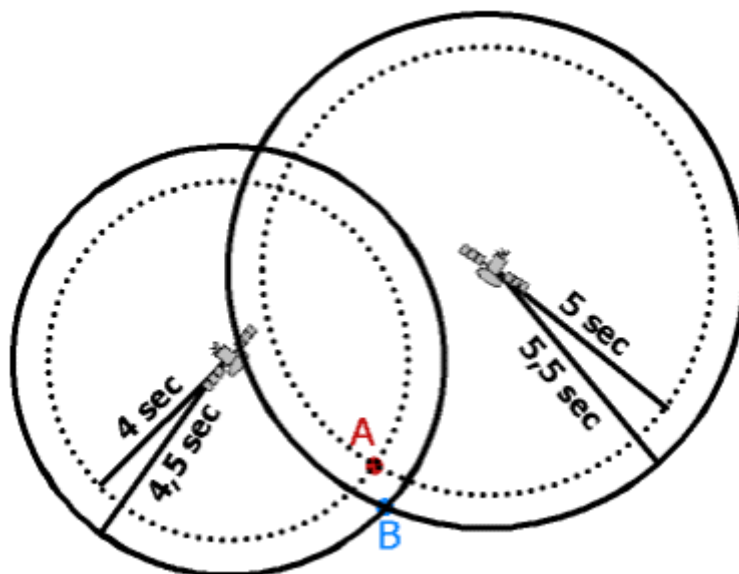
Z obrázku č. 3 víme, že doba než se signál z prvního satelitu dostane do přijímače na Zemi je 4 sekundy a z druhého 5 sekund. Tyto hodnoty jsou pro náš příklad pouze ilustrační, protože ve skutečnosti je tato hodnota o hodně menší. Zhruba 0,07 sekund [5] při rychlosti světla. Můžeme tedy říci, že GPS přijímač se nachází někde na kružnici kolem prvního satelitu s poloměrem, který vypočítáme tak, že rychlost světla vynásobíme časem cestování signálu. Stejný postup použijeme i pro druhý satelit a tam kde se nám obě kružnice protnou, získáme dva průsečíky. Potřebujeme ještě třetí satelit, protože se jedná o trilateraci. Ten nám nahradí sama Země, protože uvažujeme, že přijímač je někde na zemském povrchu a tak bereme v úvahu pouze bod A. Šedý stín kolem Země teoreticky znázorňuje ještě možné umístění přijímače. Ostatní body vně, tedy i bod B nebereme v úvahu, protože leží daleko ve vesmíru. [5]



Obr. 3 – Určení pozice pomocí 2 satelitů (ve 2D světě). Zdroj: [5]

Problém ale nastává při stanovení přesného času, tedy rozdíl mezi vysláním signálu satelitem a jeho přijetím GPS přijímačem. Satelit obsahuje atomové hodiny, které jsou velmi přesné, a tento čas pošle společně s ostatními údaji ve vysílaném signálu. Takové hodiny ale neobsahuje přijímač, protože atomové hodiny jsou velmi nákladné. Obsahuje pouze krystalem řízené hodiny a ty jsou nepřesné. Jak tyto nepřesnosti ovlivní určení pozice přijímače je znázorněno na obrázku č. 4.

Hodiny v přijímači mají v našem příkladě, oproti satelitním hodinám, odchylku 0,5 sekund. To znamená, že doba přenosu signálu je o 0,5 sekund delší, než ve skutečnosti. Ve výsledku se posuneme v určování pozice z bodu A do bodu B. Kružnice, které se protínají v bodě B, nazýváme pseudokružnice. [5]

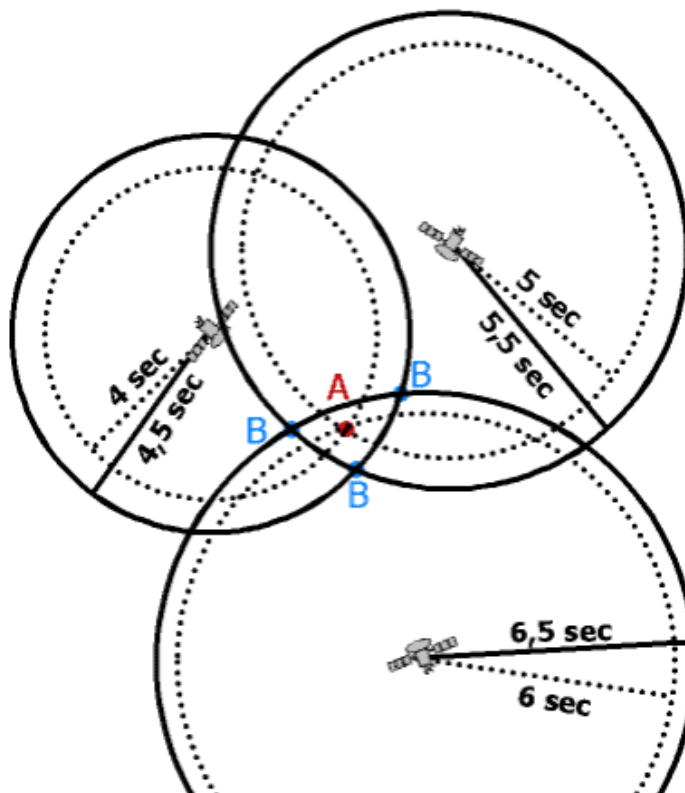


Obr. 4 – Určení pozice pomocí 2 satelitů s časovou chybou. Zdroj: [5]

Je potřeba vykonat opravu. Přesnost hodin přijímače velmi ovlivňuje velikost chyby při určování pozice. Například chyba hodin 0,01 sekund, která je běžná v automobilových či jiných závodech, není u GPS přípustná. Způsobila by určení pozice mylně přibližně o 3000 km. Pro dosažení určení pozice s přesností 10 metrů musí být čas přesný na 0,00000003 sekund. [5]

Pro získání správné pozice při časové chybě potřebujeme signál z dalšího, v pořadí třetího, satelitu (Obr. 5). Zjistíme jeho vzdálenost od přijímače a takto nám vznikne další kružnice. Ta nám protne v dalších dvou bodech ostatní kružnice ostatních dvou družic.

Pokud by byly hodiny absolutně přesné, protnou se všechny tři kruhy v průsečíku A, takto určí přímo naši pozici. Přesné ale nejsou a tak nedostaneme bod, ale trojúhelník. Jelikož víme časový posun, můžeme ho přepočítat na vzdálenost.



Obr. 5 – Určení pozice pomocí 3 satelitů s časovou chybou. Zdroj: [5]

V předešlých příkladech, ve dvourozměrném plochém světě, nám stačí k určení pozice tři satelity. Ve skutečném světě se ale pohybujeme v trojrozměrné dimenzi a k určení nadmořské výšky potřebujeme další satelit. Lze tedy určit hodnotu i se třemi satelity, ale přijímač nepočítá nadmořskou výšku a myslí si, že se nacházíme někde na zemském povrchu a jako čtvrtý satelit použije Zemi (poloměr Země je 6360 km) [5]. Sice tedy získáme nezbytnou čtvrtou informaci, ale výpočet je omezený, protože zemský povrch není jednotný. Pokud je tedy přijímač umístěný někde ve výšce (neodpovídající mořské hladině), určení pozice je opět nepřesné. V praxi se využívá čtyř a více družic pro přesné určení pozice.

Při určování aktuální pozice v trojrozměrném světě mluvíme o tzv. kulových plochách (sférách). Středů těchto kulových sfér jsou samotné satelity, nahrazují tedy ve výše uvedených příkladech kružnice.

Nejdříve zjistíme vzdálenost prvního satelitu od GPS přijímače a vznikne první kulová sféra. Poté se vypočte vzdálenost druhého satelitu a druhá kulová sféra se protne s první. Tam kde se protnou, vytvoří kruh a můžeme tak říci, že se naše pozice nachází někde na tomto kruhu. V této chvíli se přidává třetí satelit a stejným postupem dospějeme ke dvěma určitým bodům. Zjistit, který bod, je naše pozice můžeme dalším, čtvrtým, satelitem. Většinou je ale jeden z bodů v nesmyslné pozici, např. daleko ve vesmíru.

Pokud použijeme ke kontrolnímu měření čtvrtý satelit, může se stát, že se nebude protínat s prvními třemi kulovými sférami. To způsobují nepřesné hodiny v přijímači. S tímto problémem jsme se již seznámili. Toto řeší extra měření, které vyrovná časové nesrovnalosti. Přijímač se snaží najít jednotlivý opravný faktor, který může odečíst od jeho změřeného času, aby způsobil, že se všechny kulové plochy protnou v jednom bodě. Každý GPS přijímač tedy musí dokázat minimálně čtyři měření současně (dnes již GPS přijímači pracují na více kanálech).

3.6. Chyby GPS

Signál GPS se nešíří ve vakuu a tak nastávají různé chyby a nepřesnosti. Musí projít přes nabitě částice ionosféry a poté skrz vodní páry troposféry. Signál se může zpomalit a dochází poté ke stejné chybě jako při špatném vyhodnocení přesného času letu signálu od satelitu k přijímači.

Nejdůležitější faktory ovlivňující přesnost GPS signálu:

- ionosféra
- troposféra
- vícecestné šíření signálu
- geometrické uspořádání viditelných družic
- počet viditelných družic
- oběžné dráhy satelitů
- typ přijímače
- relativistické efekty

3.6.1. Ionosférické zpoždění

Ionosféra je vrstva atmosféry začínající od 50 km do výšky 1 000 km [14]. Obsahuje množství volných elektricky nabitých částic (elektronů a iontů), nejvíce jich je v 80 – 400 km [7]. Elektrony a ionty jsou v ionosféře koncentrované ve čtyřech vodivých vrstvách – D, E, F1 a F2 [7]. Tyto vrstvy lámou elektromagnetické vlny z družic.

Při průchodu ionosférou nastává zpoždění signálu, které je závislé na počtu volných elektronů. Ty představují tzv. index lomu. Ten je definován jako poměr rychlosti světla ve vakuu a skutečná rychlost signálu v ionosféře. Počet volných elektronů ovlivňuje sluneční aktivita. Dá se tedy říci, že signál má větší zpoždění ve dne. Tyto chyby jsou většinou opraveny výpočtem přijímače. Typické změny střídání rychlosti při průchodu ionosférou jsou dané podmínkami, které jsou známé. Tyto změny jsou brány v úvahu při výpočtu pozice. Můžeme tedy předem odhadnout, jaké zpoždění signálu bude v nějaký typický den. Ne vždy jsou ale podmínky typické a přijímač nedokáže reagovat na nepředvídatelné změny v ionosféře (např. silné sluneční větry) a vznikají tak další nepřesnosti. Koeficienty dostává přijímač z navigační zprávy. Vliv

ionosféry snižujeme při využití signálu L_1 nebo L_2 , které jsme si popsali dříve. Nepřesnost určení naší pozice pak bude zhruba 5 metrů [7]. Elektromagnetické vlny s nižší frekvencí jsou zpomalovány více, než elektromagnetické vlny s vyšší frekvencí. Další zajímavý postup odhalování této chyby je srovnat relativní rychlost obou signálů (L_1 a L_2). Toto měření je ale velmi náročné a schopni ho provádět jsou pouze moderní přijímače používaná například pro vojenské účely. Ve dne zpoždění signálu může způsobit nepřesnost měření zhruba o 40 až 50 metrů, v nočních hodinách o 6 až 12 metrů [7].

3.6.2. Troposférické zpoždění

Troposféra je další vrstva atmosféry, která je od zemského povrchu do výšky 11 km [14]. Zde se nenachází žádné volné ionty, nebo pouze jejich malé množství, které signál neovlivňuje. Zpoždění signálu je tedy ovlivněno hustotou atmosféry a to závisí na teplotě, tlaku a vlhkosti vzduchu. Opět zde existují modely troposféry, které používáme pro výpočet zpoždění.

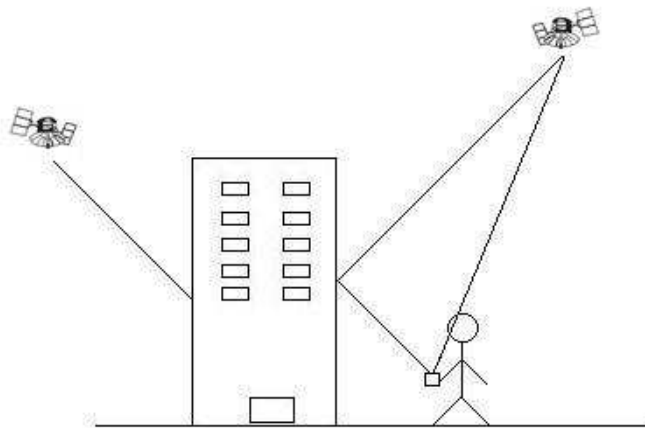
V současnosti existuje více modelů:

- Saastamoinenův model
- Hopfieldové
- zjednodušený Hopfieldové
- diferenciální refrakční model (Essen a Fromme) a další

3.6.3. Vícecestné šíření signálu

Jak je již z názvu patrné, signál se k přijímači šíří více cestami. Toto je způsobeno odrazem signálu od zemského povrchu, nebo jiných předmětů, např. budov. Signál se tak šíří přímou a ještě jinou cestou, které jsou od sebe různé v závislosti na délce cesty. Není možné aplikovat nějaký model, protože odrazy jsou závislé na mnoha faktorech. Tento problém má za následek špatné určení vzdálenosti přijímače od satelitu. Pro eliminaci je vhodné vynechat

signály z družic, které jsou níže než 15° nad obzorem [10]. Odražením signálu od zemského povrchu můžeme zabránit správnou konstrukcí antény, a také aby se signál nešířil více cestami je dobré změnit svoji polohu na vhodnější.



Obr. 6 – Vícecestné šíření signálu

3.6.4. Přesnost hodin satelitu

V satelitu najdeme velmi přesné atomové hodiny, které se ovšem za určitý čas zpožďují. Při použití přesné polohové služby by chyba neměla přesáhnout 6,5 m při 95% použití GPS [14]. Tento signál je ale dostupný pouze certifikovaným osobám. Při použití standardní polohové služby se tato chyba zvětšuje. Důležitý je také rozdíl mezi hodinami přijímačem a družice, pouhá odchylka jedné mikrosekundy vytvoří špatně určení polohy až o 300 m [14].

Vypočteme podle vzorce [14]:

$$R_E = T_o \cdot c,$$

kde R_E je rozsah chyby, T_o je časová odchylka a c rychlost světla (299 792 458 m/s). $T_o = 1$ mikrosekunda 10^{-6} s

$$R_E = 10^{-6} \cdot 299792458 = 299,79 \approx 300m$$

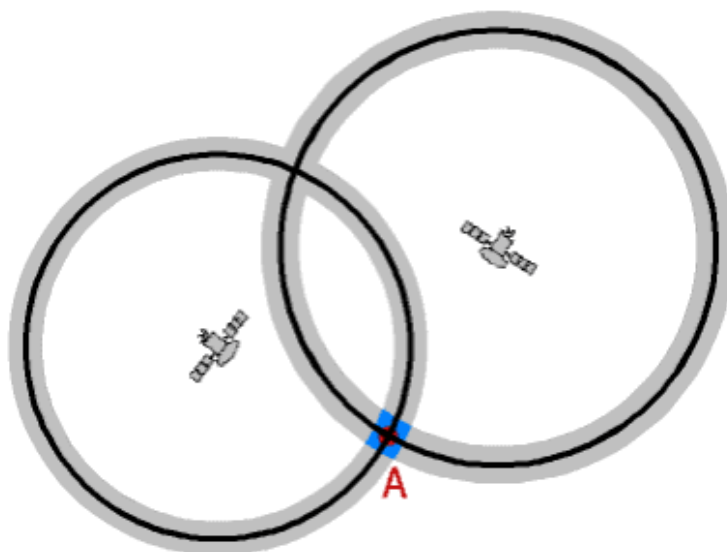
3.6.5. Chyby přijímače

I přijímač signálu GPS může selhat a jeho chyba se pak projeví v nesprávném měření. Nejčastěji špatně zpracuje přijatý signál, objevují se také časové chyby, vnitřní šum, rozlišení displeje aj. Hodiny přijímače nejsou tak kvalitní jako u družic a proto se k určení pozice přijímá signál od 4 družic.

3.6.6. Geometrické uspořádání viditelných družic

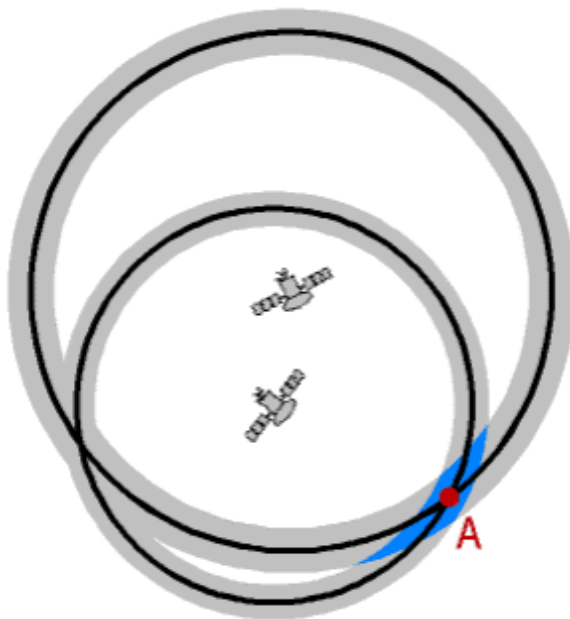
Pozice družic, které použijeme při určení polohy přijímače, jsou ideální, pokud jsou rozprostřeny po celé obloze. Pokud tedy použijeme 4 satelity nacházející se například na severovýchodě, výsledek nebude přesný, mluvíme tak o špatné geometrii. Může dojít k nepřesnému určení o 100 – 150 metrů [7], nebo v nejhorším případě pozice nebude určena vůbec (pokud budou družice všechny v jednom směru). O dobré geometrii mluvíme, pokud jsou družice rozprostřeny do všech směrů (na jihu, západě, východě a severu) po 90°. Pro vysvětlení si ukážeme příklady s dvěmi družicemi, ale obdobně toto lze aplikovat i na prostor [7].

Obrázek č. 7 znázorňuje družice, které mají dobrou pozici tzn., že jsou od přijímače zhruba v úhlu 90°. Všechny možné vypočítané pozice jsou určeny šedými kruhy a jejich protnutím získám bod A, takto přesně ale pozici nezískáme, kolem bodu vzniká ze šedých kousků modré pole a uvnitř něj bude pozice přijímače. Dostáváme více méně přesný výsledek.



Obr. 7 – Dobrá geometrie. Zdroj: [7]

Na dalším obrázku (Obr. 8) je zobrazena špatná pozice satelitů tzn., že jsou vedle sebe velmi blízko a v pohledu od přijímače je vidíme skoro v jedné lince. Vzniklá (modrá) plocha je větší a podlouhlejší. Určení pozice je tak nepřesné.



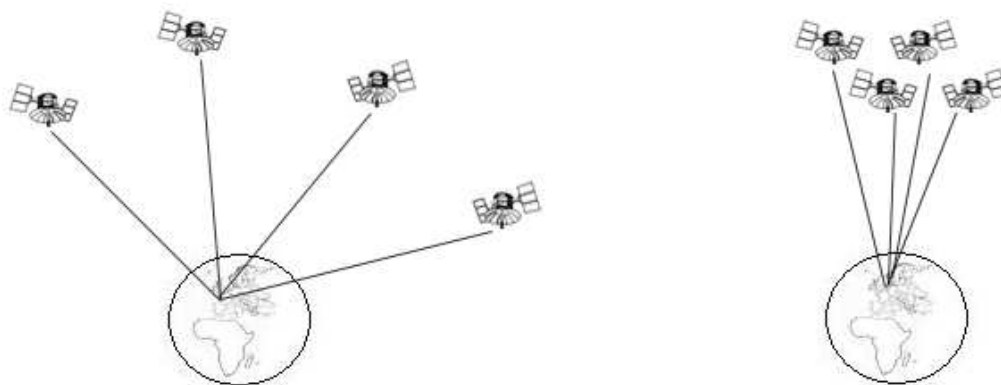
Obr. 8 – Špatná geometrie. Zdroj: [7]

Většina GPS přijímačů signalizuje nejen počet družic, od kterých přijala signál, ale také jaké je jejich postavení na obloze. Uživatel se tak sám může rozhodnout zda není lepší změnit svoji pozici pro lepší a přesnější výsledek. Kvalitu geometrie družic můžeme matematicky ohodnotit parametrem, který se nazývá snížení přesnosti – DOP (angl. dilution of precision). Bere v úvahu relativní polohu družice k ostatním družicím. Při jeho výpočtu předpovíme přesnost pozice. Malá hodnota DOP určuje, že určení pozice a času bude s velkou přesností. Obráceně vyšší hodnota DOP určuje, že postavení družic je špatné a dostaneme nepřesný výsledek.

Faktory, které používáme pro výpočet DOP hodnot:

- GDOP (Geometric Dilution Of Precision) – celkové měření všech 4 veličin (poloha v prostoru a čas)
- PDOP (Positional Dilution Of Precision) – měření pozice v prostoru
- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) – horizontální měření (2D souřadnice)
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision) – vertikální faktor, měření výšky
- TDOP (Time Dilution Of Precision) – časový faktor, přesnost hodin

Pro dosažení vysoké přesnosti určení polohy je nezbytné využít co největšího počtu viditelných družic, které jsou od sebe v co největší vzdálenosti. Také je důležité dosáhnout malé hodnoty chyby měření vzdálenosti družic. To znamená, dosáhnout co nejmenší hodnoty DOP. HDOP nabývající hodnot 4 a menší znamená dobré uspořádání družic a získáme tak přesnou pozici. Hodnoty od 5 do 7 jsou přijatelné a hodnota nad 8 je nepřijatelná a získali by jsme nepřesný výsledek [7]. HDOP hodnoty se zhoršují, pokud jsou družice vysoko na obloze. Naopak, VDOP hodnoty se zhoršují, pokud se družice blíží k obzoru. PDOP hodnoty jsou nejlepší, pokud je jedna družice vertikálně nahoře a tři další jsou rovnoměrně rozdělené blízko obzoru (viz. Obr. 9).



Obr. 9 – Ukázka dobrého (vlevo) a špatného (vpravo) uspořádání družic

Pro přesné určení pozice by hodnota GDOP neměla být menší než 5 [7]. PDOP, HDOP a VDOP hodnoty jsou část NMEA dat v souvětí \$GPGSA. Satelitní geometrie vlastně nezpůsobí nepřesnosti v určování pozice, které je v řádech metrů, ale DOP hodnoty zesilují jiné nepřesnosti.

3.6.7. Oběžné dráhy satelitů

Družice obíhají kolem Země ve velmi přesných oběžných dráhách, které jsou ovlivňovány gravitačními silami (Slunce a Měsíc mají také slabý vliv). Družice se tak můžou nepatrně vychylovat ze svých drah. Tyto nepřesnosti jsou ale napravovány pravidelným řízením z hlavní řídicí stanice. Data ohledně oběžných drah jsou posílány k družicím v opravném paketu efemerid dat. Vliv na správné určení pozice je pouze nepatrný (ne více jak 2 m) [7]. Aktuální konstelaci družic je možné sledovat na internetové stránce <http://www.kowoma.de/gps/gpsstatus/index.php>.

3.6.8. Selektivní dostupnost (angl. Selective Availability)

Do efemerid družic byly dodatečně zaváděny chyby, které snižovaly přesnost tzn., že pozice satelitů nevyhovují aktuálním pozicím. Druhou možností bylo zavádění fluktuací frekvence hodin družic. Tímto způsobem mohla být nepřesnost pozice o 50 – 150 metrů [7] poté dosažena až za několik

hodin. Více se využívala druhá možnost, a to falšování nastavení hodin v nosné vlně L_1 .

Důvod, proč se tyto omezení zaváděly byl hlavně bezpečnost. Americká vláda se bála zneužití GPS systému teroristy a nepřáteli USA. Paradoxně ale musel být vliv SA ve válce v zálivu minimalizován, protože americká vláda neměla dostatek vojenských přijímačů a musely být použity i civilní. S plně zapnutou SA by nebyly schopni určit přesnou pozici vojenských jednotek.

Přístup k zašifrovanému GPS signálu, který nebyl ovlivněn uměle vytvořenými chybami, měl jen autorizovaný uživatel. Tito uživatelé mohou i přijímat Y-kód, který souvisí s anti-spoofingem. Selektivní dostupnost byla vypnuta 2. května 2000 [7].

3.6.9. Anti-Spoofing

Slovo spoofing znamená, že by mohl nepřítel, např. během války, vysílat klamavý kód podobný GPS. Tento signál by vysílal špatná data a mohl by být brán jako pravý signál GPS. To by způsobilo velké problémy. Anti-Spoofing znamená, že je vysílán šifrovaný kód, ke kterému mají přístup pouze autorizovaní uživatelé. Šifruje se P-kód, který se poté nazývá Y-kód. Tato služba byla aktivována v roce 1994 [10] a od té doby je P-kód pro civilní uživatele nepřístupný.

3.6.10. Platnost efemerid

Efemeridy informují o přesné poloze družice a získáme je také z GPS zprávy. Platnost efemerid je maximálně 4 hodiny [10]. Pokud se jedná o almanach (přibližné efemeridy ostatních družic) tyto informace jsou platné přibližně 3 měsíce od data přijetí. Pokud se nemění konstelace družic, některá je mimo provoz, nebo změnila svoji oběžnou dráhu. Každá družice se pravidelně vychyluje ze své oběžné dráhy, korekcí drah se zabývá hlavní

řídící středisko. Družice tedy vysílají data o své poloze pořád stejné, dokud nedostanou k dispozici nová data a to může ovlivňovat měření GPS přijímače.

3.6.11. Relativistické efekty

Teorie relativity říká, že čas běží pomaleji při velmi rychlých pohybech (speciální teorie relativity). Satelity se pohybují rychlostí 3874 m/s [7], pokud se díváme ze Země čas tak běží pomaleji. Tato dilatace času způsobí nepřesnost v hodinách přibližně 7,2 mikrosekund za jeden den.

Dilatace času také vzniká, když jsou objekty v silnějším gravitačním poli (obecná teorie relativity). Na družice ve vesmíru působí slabší gravitační pole, než na přijímač na Zemi. Proto čas přijímače běží pomaleji, než hodiny na palubě družice. Tento efekt působí větším vlivem, než zpomalení času z důvodů rychlosti pohybu. Posun času na Zemi se bude jevit o 38 milisekund za jeden den a to by způsobilo celkovou chybu přibližně 10 km. Aby se chyba nemusela stále opravovat, hodiny družice byly nastaveny na frekvenci 10,229999995453 MHz [15]. Pracuje se s nimi, ale jako kdyby byly nastaveny na základní frekvenci 10,23 MHz. [7]

Vzniká ještě jeden relativistický efekt, Země se totiž pohybuje až rychlostí 500 m/s (na rovníku) a to znamená, že i pozorovatel je v pohybu. Vliv na určení pozice je velmi malý a výpočet této chyby je složitý. Proto se bere do úvahy jeho působení pouze ve výjimečných případech.

V následující tabulce (tab. č. 1) jsou shrnuty všechny chyby GPS. Následující hodnoty nejsou konstanty, ale mění se. Jsou to přibližné hodnoty [7].

Zdroj chyb	± metrů
Ionosféra	5 m
Troposféra	0,5 m
Chyba efemerid	2,5 m
Chyba hodin družice	2 m
Vícecestný signál	1 m
Výpočetní chyby	1 m

Tabulka 1 – Chyby GPS

Dohromady tyto chyby míří k nepřesnosti ± 15 metrů. Pokud by byla zapnutá selektivní dostupnost, chyba by byla v rozmezí ± 100 metrů. Pokud použijeme korekční systémy, chyba se sníží na $\pm 3-5$ m [7].

3.7. Zpřesňování GPS

GPS systém je při chybě několik metrů stále velmi nepřesný. Pro využití v některých oborech je většinou potřeba minimalizovat chyby GPS. Přijatý signál se zpřesňuje využitím dalšího technického vybavení, nebo dalšími výpočetními metodami. Z první kategorie je používané diferenční GPS a z druhé například metoda průměrování.

3.7.1. Průměrování

Metoda je založená na sběru dat z mnoha měření na jednom místě po dobu několika hodin. Z těchto měření určení polohy tak uděláme průměr a získáme přesnou polohu. Nevýhoda je, že přístroj musí být několik hodin na jednom

místě. Výhoda této metody je, že je nenáročná a zvládnou ji i jednoduché přijímače, k měření stačí jeden přístroj.

3.7.2. Diferenční GPS (angl. Differential GPS (DGPS))

Tento systém je založený na umístění statického přijímače na známou pozici. Tímto vytvoříme tzv. referenční stanici. Ta provádí měření pseudovzdáleností k viditelným družicím, vypočítává diferenční korekce, a porovnává je s vypočtenými předpokládanými hodnotami. Rozdíl mezi nimi posílá k přijímačům, které jsou kolem a ty pomocí této korekce opraví svoje naměřené hodnoty. Referenční přijímač tedy vypočítává chybu přijímačem určené polohy od polohy skutečné. Dnes lze tento postup provádět v reálném čase nebo v následném zpracování.

2 typy diferenčních korekcí:

- Korekce polohy – referenční stanice počítá z GPS signálu svoji polohu a porovnává ji se svou správnou polohou, z toho poté počítá korekce. Tyto korekce přičteme k aktuální poloze druhého přijímače získané z GPS signálu a získáme jeho přesnější pozici. Podmínkou je, že poloha mobilního přijímače i měření referenční stanice musí proběhnout od stejných družic ve stejné době. Toto je prakticky nemožné, protože referenční stanice by musela vytvářet korekce pro všechny 4 viditelné družice potřebné k určení pozice a těch může být až 11 [10].
- Korekce pseudovzdáleností – Referenční stanice nejdříve počítá skutečnou vzdálenost k družici. Vzdálenost družice získá z efemerid a poloha referenční stanice je přesně daná. Z přijatého signálu od družice zjistí pseudovzdálenost, ale nejdříve vypočítá korekci pro odchylku hodin přijímače. Tato korekce je nejnáročnější. Poté vypočte korekci pro určení přesné pozice přijímače a předá ji přijímači. Některé referenční stanice mají atomové hodiny.

3.7.2.1. Následné zpracování (angl. postprocessing)

Korekce nebylo potřeba v reálném čase. Stačí být tedy spojen s referenční stanicí přes internet, nebo po telefonu a každý uživatel tak může získat potřebné korekce, které použije pro svoje měření v měřeném čase.

3.7.2.2. Zpracování v reálném čase

Potřebujeme být připojeni přímo na referenční stanici přes komunikační kanál (např. RTCM SC-104). Korekce má uživatel k dispozici přímo při měření.

3.7.3. Wide Area Augmentation System (WAAS)

Tento systém je v USA obsluhovaný od roku 1999 a o dva roky později, tedy v roce 2001, se stal použitelný i pro přenosné GPS přijímače. Systém se skládá z přibližně 25 GPS pozemních stanic a dvou referenčních, které sbírají data od pozemních stanic a vypočítávají korekce. Tyto data obsahují korekce pro oběžné dráhy satelitů, odchylky hodin a zpoždění signálu vlivem ionosféry a troposféry. Jedná se tedy o geostacionární satelity, podporující diferenční GPS. Data jsou poté poslána komunikační družici, která je předá uživatelům. K příjmu signálu WAAS nepotřebujeme žádné další přijímače, jako u DGPS a také nabízí větší pokrytí na zemi i na moři. GPS přijímač musí mít v sobě pouze nainstalovaný software, který podporuje příjem WAAS. [8]

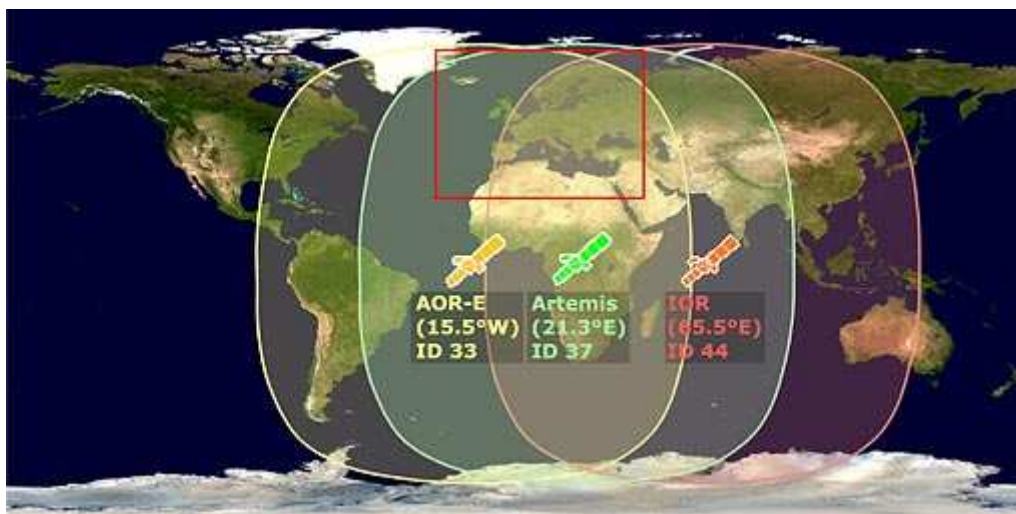
Při vypnuté SA bývá u civilních přijímačů udávaná přesnost určení pozice kolem 15 km. Při použití zpřesňujícího diferenčního měření se přesnost snižuje na 3-5 metrů. Pokud použijeme další metodu pomocí systému WAAS (EGNOS) přesnost určení pozice se sníží až na 1-3 metry. Vojenské přijímače dokáží určit pozici s přesností na centimetry. [8]

Evropa má také stejný systém nazývaný EGNOS (angl. Euro Geostationary Navigation Overlay Service), Asie a Japonsko systém MSAS

(angl. MultiFunctional Satellite Augmentation System) a Indie GOGAN. Tyto systémy se nazývají SBAS, (angl. Satellite-Based Augmentation Systems).

3.7.4. EGNOS

Evropský systém EGNOS se skládá z 34 pozemních referenčních a integritních monitorovacích stanic (angl. Ranging and Integrity Monitor Stations, RIMS), 4 řídicích center (angl. Mission Control Center, MSC), ze 6 navigačních pozemních stanic (angl. Navigation Land Earth Stations, NLES) a dalších příslušenství. Monitorovací stanice přijímají signály od všech viditelných družic, tyto data jsou poté poslána do řídicích center a ty vypočítají korekce. Opravená data dále putují do pozemních navigačních stanic, která je vyšlou ke třem geostacionárním družicím, ty vysílají opravená data ke všem přijímačům, kteří jsou schopní signál zachytit a zpracovat. Geostacionární družice mají oběžnou dráhu nad rovníkem.



Obr. 10 – Geostacionární satelity EGNOS. Zdroj: [18]

Signál EGNOS jde zachytit i mimo Evropu, ale jeho přesnost a spolehlivost je značně snižena. EGNOS přijímač umí zachytit i signál WAAS a pokud má WAAS přijímač označení WAAS-enabled, dokáže přijímat i evropský

EGNOS signál. [19]

3.7.5. CZEPOS

Je to síť pozemních referenčních stanic, které spravuje Zeměměřický úřad. Poskytují korekční data pro přesnější určování pozice v České Republice. Tyto referenční stanice poskytují data jak v reálném čase, tak i po případný postprocessing. Data potřebná okamžitě se posílají pomocí Internetu, stačí mít k dispozici mobilní internetové připojení. Produkt virtuální RINEX zajišťuje přístupná data pro následné zpracování, dostupná jsou na webových stránkách CZEPOSu. Tento systém je využívám pro navigaci v dopravě, GIS a geodetických službách aj. CZEPOS ale není dostupný každému civilnímu uživateli, tato služba je zpoplatněná a poskytována jen registrovaným zákazníkům. Poskytnuté korekce zpřesní určení pozice na centimetry nebo až milimetry. [20]



Obr. 11 – Rozložení pevných referenčních stanic CZEPOSu v ČR. Zdroj: [20]

3.8. Přehled GPS přijímačů

3.8.1. Podle způsobu použití

- pro leteckou navigaci
- pro lodní navigaci
- turistické GPS přijímače (ruční)
 - o PDA s GPS přijímačem
 - o různá mobilní zařízení s vestavěným přijímačem
 - o GPS do automobilů
- GIS přijímače
- aplikační přístroje

- speciální GPS přijímače (referenční stanice, karty do počítače, přijímače přesného času)

V turistických přijímačích můžeme zanášet svoje vlastní body (angl. waypointy) a popsat je (název, souřadnice). Pomocí těchto bodů vytvářet navigační trasu a také navigovat po již uskutečněné trase zpět. Informují nás také o naší rychlosti, vzdálenosti do cíle a času, který zbývá do cíle (hojně využíváno u navigací do automobilů). Dále nás informují o aktuálním čase a datumu, směru pohybu, mají počítadlo prošlé trasy a jiné statistiky. Ukazují také informace o GPS signálu a jeho kvalitě. Je možné je připojit k počítači a nahrát data pomocí softwaru, nebo vložit data z počítače do přístroje. Lze je připojit do externí sítě napájení, obsahují také baterii. Umožňují nám také zvolit si různá nastavení ohledně GPS systému. V dnešní době se využívají přístroje, které umí zobrazit podkladovou mapu (vyrábějí se i nemapové).

Přijímače, které se používají v GIS oboru (nebo pro geodetické práce) jsou používány hlavně pro mapování prostředí. Jejich určení polohy je velmi přesné.

Aplikační přijímače slouží pouze jako zprostředkovatel GPS dat a předávají je jiným zařízením. To znamená, že nemají display a nezobrazují tak žádné informace. Některé PDA zařízení mají již vestavěný GPS přijímač, ale pokud ho nemají, je potřeba ještě využít aplikační přístroj. Ty se rozdělují na Bluetooth přijímače, Compact Flash GPS moduly a přístroje do sériových portů (např. USB). Bluetooth aplikační přijímače mají výhodu v tom, že komunikují s ostatními zařízeními pomocí bezdrátové technologie. Zbylé dva druhy přijímačů nemají vlastní zdroj energie a musejí být zapojeny do zařízení pomocí datového kabelu nebo přes slot napevno. Komunikace probíhá pomocí NMEA vět (viz níže).

3.8.2. Podle způsobu měření

- kódová měření – Přístroje, která používají kódová měření, se využívají hlavně k navigaci.
- fázová měření – Přístroje se využívají pro měření například v terénu. Dosahují velké přesnosti určení pozice. Vhodné jsou k využití v GIS oboru.

Dále známe jednofrekvenční přístroje, které používají pouze frekvenci L_1 , nebo dvoufrekvenční, které používají frekvence L_1 i L_2 . Mohou využívat oba dva způsoby měření.

4 NMEA

Asociace NMEA (angl. National Marine Electronics Association) vytvořila protokol NMEA 0183. Tento standard je určen k jednosměrnému sériovému přenosu dat, od jednotlivého mluvčího k jednomu nebo více posluchačům. Data jsou v jednoduché ASCII formě a mohou zahrnovat informace o pozici, rychlosti, hloubce, kmitočtové alokaci a jiné. Tento komunikační protokol podléhá copyrightu a pokud chceme nahlédnout do dokumentu, musíme si ho od společnosti NMEA koupit. Cena se pohybuje kolem několika stovek dolarů. Proto další informace o tomto standardu jsem získala z neoficiálních zdrojů. Společnost NMEA na svých oficiálních stránkách dokonce uvádí, že jiné zdroje jsou zastaralé a nepřesné (např. chybně uváděné komunikační věty) a můžou i porušovat autorská práva. [21]

V lednu 2002 byl vydán protokol NMEA 0183 verze 3.01, tu dnes nahrazuje nová verze 4.00. Nová verze byl kompletně přepracovaná, zahrnuje dalších 59 nových vět pro komunikaci, také vznikla nová metodika spojující odlišné formáty vět do mnohonásobných vět, nazývaných TAG Blocks. Nazpět je kompatibilní s verzí 2.0. Tato nová verze stojí v elektronické podobě \$300 a v papírové verzi \$385 pro nečleny (členové mají slevu na \$235 a \$310). [21]

Komunikace probíhá pomocí NMEA vět. Jako zvláštní znaky jsou povolené pouze nový řádek - CR (angl. carriage return) a posuv o řádek LF (angl. line feed). Každá věta začíná znakem "\$" a končí <CR><LF>. Známe tři základní druhy vět: věty od mluvčího, vlastní a dotazovací věty. [22]

4.1. Věty ze strany mluvčího

Obecný formát: \$ttsss,d1,d2,...<CR><LF>

První dva znaky *tt* identifikují mluvčího, další tři znaky *sss* identifikují typ věty. Poté následují datové položky s informacemi, oddělené čárkou. Na konci věty je dobrovolný kontrolní součet a znaky ukončení řádku. Podle typu věty

se liší různé datové položky, pokud nějaké datová položka chybí, místo zůstane prázdné, bez mezery s čárkami (Př. d1,,d3). Kontrolní součet začíná znakem "*" a dvě hexadecimální čísla představující logickou operaci XOR (výlučný logický součet, nonekvivalence) ze všech znaků od znaku dolar po hvězdičku (bez těchto znaků). Každá věta může obsahovat maximálně 80 znaků plus speciální znaky (" \$" a CR/LF), tzn. dohromady 83 bitů. [22]

Příklad věty: \$HCHDM, 238, M<CR><LF>

- *HC* – představuje mluvčího, magnetický kompas
- *HDM* – typ věty, specifikuje magnetickou větu
- *data* – hodnota 238 je hlavní hodnota a *M* znamená magnetický

4.2. Vlastní věty

Tento standard dovoluje výrobcům definovat svoje vlastní věty. Začínají znaky "\$P" a další tři znaky identifikují daného výrobce. Dále jsou následující data, které si zvolí výrobce. [22]

Příklad věty od společnosti GARMIN: \$PGRMM, c - - - c * hh

- věta žádá o aktuální datum, následuje kontrolní součet (*hh*)

4.3. Dotazovací věty

Tyto věty dovolují zažádat mluvčího o zaslání nějaké konkrétní věty. První dva znaky *tt* identifikují žadatele, druhé dva znaky *ll* označují toho, komu je dotaz poslán. Pátý znak je vždy *Q* (angl query), které značí, že jde o dotazovací větu. Poslední sekvence *sss* udává o jaký typ věty je žádáno. [22]

Obecný formát je: \$*ttllQ, sss* <CR><LF>

Příklad věty: \$CCGPQ, GGA<CR><LF>

- *CC* – představuje zařízení, které žádá, zde počítač
- *GP* – žádáme GPS přijímač
- *GGA* – chceme zaslat větu typu GGA

5 Přesnost a porovnání metod GPS

Jak vyjádřit přesnost u signálu GPS je velmi mnoho. Signál je totiž časově a prostorově proměnný a závisí na mnoha faktorech. Nejčastěji se udává mezní hodnota odchylky, kterou lze s nějakou přesností dosáhnout. Nejčastějším ukazatelem je 50%, 95% a 99% chyba. Například 50% chyba 10 metrů znamená, že 50% všech měření spadá pod 10 metrů a tuto hranici nepřesáhne.

5.1. Samotný GPS signál

Na signál GPS působí různé vlivy, z nichž nejvíce ovlivňující přesnost při měření jsou atmosférické vlivy, chyba hodin družice, vícecestný signál, chyby ve vysílání signálu, ale také málo viditelných družic a jejich poloha. Vliv polohy satelitů ovlivňuje naše měření ze dvou hledisek. Pokud disponuje přijímač volným výhledem na oblohu, problémy může dělat konstelace satelitů. Pokud jsou například dva satelity blízko sebe přímo nad pozorovatelem, výrazně se projevuje chyba v pseudovzdálenosti a to se promítne v chybě určení vodorovné polohy. Poloha satelitů blízko nad obzorem ovlivní chybově určení nadmořské výšky. Pro chybu v určení pozice, které ovlivňuje postavení družic je zaveden pojem DOP. Jak bylo již vysvětleno, známe několik DOP faktorů, z nichž nejsledovanější jsou PDOP, HDOP a VDOP.

Pro chybu v určení polohy σ a pseudovzdálenosti platí σ_r [23]:

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_r$$

Důležitý je také kvalitní GPS přijímač. Jednofrekvenční přijímač vykazuje horší přesnost, než dvoufrekvenční, ten dokáže přijímat a zpracovávat dva signály (např. L_1 a L_2C) najednou a vypočítat tak přesnější polohu. Přesnost GPS signálu při civilním použití je ve vertikálním směru mezi 5 – 16 metry a horizontálním směru 3 – 8 metrů. K maximálním hodnotám odchylek dochází při špatných podmínkách několika vlivů najednou (např. špatný výhled

na oblohu, špatná konstelace satelitů, nevhodné atmosférické vlivy a jiné). Přijímání signálu GPS uvnitř budov, v tunelech a podobných prostředích je velmi obtížné, s civilními přijímači většinou nemožné. Signál GPS pro vojenské účely, který je kódovaný a civilním uživatelům nepřístupný, dosahuje v přesnosti polohy ve vertikálním směru 1 – 4 metry a v horizontálním směru 1 – 3 metry. Chyby pozice se samozřejmě dále zpřesňují, což je možné i u civilního signálu. Velkých přesností dosahují profesionální geodetické přístroje, kde se chyba při dalším zpřesnění pohybuje v rozmezí milimetrů.

Při kódovém měření je přesnost GPS mezi 6 – 11 m, při geodetickém měření se ale více používá fázové měření. Na principu tohoto měření probíhá i RTK měření (kinematická metoda v reálném čase). Jedná se o metodu, kdy signál přijímá z družice pevná referenční stanice a po jeho zpracování vysílá korekce do GPS přijímače. Ten je dále zpracovává a porovnává se svými vypočtenými korekcemi. Pro tuto metodu je nutné mít speciální přístroje i software na zpracování dat. Vše probíhá v reálném čase. Pokud bude přijímač vzdálen od používané referenční stanice do 10 km, měla by být přesnost do 2 cm. Poté, co byl spuštěn také druhý kmitočet, označovaný L_2 , se přesnost snížila na 3 – 5 m. Tyto hodnoty platí pro civilní C/A kód. Další plánovaný kmitočet L_5 by měl mít, při kódovém měření, přesnost 13 m, jeho přednost je při RTK měření, protože do 100 km od základny je přesnost do 2 cm. [24]

V následující tabulce je shrnuto každodenní měření GPS signálu po dobu jednoho měsíce. GPS přijímač značky Garmin model GP-29 Marine-Antena je umístění na střeše rodinného domu ve městě Mattsies v Německu. Pravidelné měření probíhá každý den od roku 2005 a anténa již provedla přes 1,5 miliónu měření. Přijímač je nakonfigurovaný tak, aby nevyhodnocoval SBAS data (EGNOS/WAAS), tak nedochází k zpřesňování GPS signálu.

Hodnoty odchylek jsou vyhodnocovány pro vertikální i horizontální směr. Jsou rozděleny do odchylek mezních hodnot 50%, 95%, 99% a 100% ze všech

měření. To znamená, že 95% všech měření za jeden den nepřesahuje naměřenou odchylku v metrech. Z celkového výpočtu, který je proveden jednoduchým průměrem je vidět, že pro horizontální směr 50% všech měření v jednom měsíci nepřesáhne odchylku 1,59 metrů. Zhruba o polovinu větší odchylky má 95% všech měření 3,48 metrů. 99% výsledků má odchylku 4,48 metrů a prakticky se nedostane pod 4 metry. Všechna měření přesáhnou odchylku 6,63 metrů. Ve vertikálním směru je určení pozice vždy o něco více nepřesné. 50% měření se blíží odchylce dvou metrů, přesněji 1,95 m. To je o půl metru více, než horizontálně. V 95% mezní odchylce se nepřesnost vertikálního určení zhoršuje na 5,48 metrů, 99% na 7,31 a všechna měření nepřesáhnou odchylku 10,02 metrů.

Z tohoto měření tedy vyplývá, že GPS systém je schopný poskytnout aktuální pozici v odchylce od přesné pozice v průměru 3 – 4 metry ve vertikálním směru a 5 – 7 metrů ve určení nadmořské výšky. Veškerá data poskytla a vyhodnotila společnost Kowoma. [27]

Datum	Horizontálně				Vertikálně (výška)			
	50%	95%	99%	100%	50%	95%	99%	100%
1.1.2010	1,44	3,13	3,87	5,33	1,83	4,97	6,43	9,03
2.1.2010	1,67	3,93	5,29	8,09	1,86	5,54	7,14	9,94
3.1.2010	1,56	3,28	4,04	5,68	1,84	5,46	7,34	9,96
4.1.2010	1,45	3,27	4,16	5,73	2,09	5,61	7,31	9,99
5.1.2010	1,47	3,27	4,11	6,49	1,51	4,29	6,09	8,99
6.1.2010	1,48	3,32	4,31	6,24	1,91	5,39	7,09	9,49
7.1.2010	1,55	3,45	4,28	6,05	1,84	5,54	7,66	10,76
8.1.2010	1,45	3,17	4,05	5,54	1,77	5,23	6,93	9,27
9.1.2010	1,63	3,8	5,09	7,23	1,92	5,72	7,38	9,82
10.1.2010	1,57	3,3	4,16	5,66	1,97	5,43	7,03	8,87
11.1.2010	1,68	3,36	4,12	7,26	1,87	5,43	7,47	10,43
12.1.2010	1,47	3,15	4,11	5,29	1,81	5,51	7,11	9,39
13.1.2010	1,56	3,35	4,27	5,8	2,45	5,95	7,85	9,55
14.1.2010	1,57	3,4	4,6	6,54	2,16	6,06	8,06	10,04
15.1.2010	1,65	3,51	4,37	6,32	2,41	6,41	8,29	11,39
16.1.2010	1,55	3,31	4,25	6,08	1,9	5,4	7,2	11,1
17.1.2010	1,64	3,39	4,24	7,54	1,93	5,03	6,47	9,47
18.1.2010	1,65	3,72	4,81	8,08	1,76	5,14	7,34	9,56
19.1.2010	1,6	3,62	4,72	6,68	1,85	5,05	6,95	9,45
20.1.2010	1,57	3,49	4,36	6,15	1,99	5,91	7,69	9,81
21.1.2010	1,37	3,29	4,24	5,97	1,87	5,53	7,33	9,43
22.1.2010	1,55	3,2	4,22	6,92	2,03	5,03	6,87	8,97
23.1.2010	1,45	3,32	4,37	7,01	1,79	5,11	6,99	10,29
24.1.2010	1,43	3,24	4,47	7,16	1,77	4,73	6,17	9,97
25.1.2010	1,38	3,1	3,94	6,08	1,61	4,89	7,11	10,99
26.1.2010	1,58	3,25	4,23	6,72	1,6	4,9	6,3	9,4
27.1.2010	1,71	3,68	4,59	6,39	1,76	4,84	6,54	8,74
28.1.2010	1,52	3,52	4,66	7,69	1,69	4,81	6,99	9,11
29.1.2010	1,55	3,31	4,39	6,27	1,75	5,45	7,25	10,35
30.1.2010	1,49	3,09	4,01	5,09	1,81	4,79	6,29	8,51
31.1.2010	1,46	3,27	4,09	5,71	2,05	5,25	6,75	8,65
Celkem	1,59	3,48	4,48	6,63	1,95	5,48	7,31	10,02

Tabulka 2 – Měsíční měření odchylek GPS přesnosti. Zdroj: [27]

5.2. DGPS

Standardní GPS signál nám dává přesnost v určení pozice 3 – 15 m. Záleží na přijímači, podmínkách měření, způsobu měření (nebereme v úvahu RTK měření) a také na jednofrekvenčním nebo dvoufrekvenčním měření. DGPS (diferenční GPS) pracuje s referenční stanicí, známe její přesnou pozici, která vypočítává korekce a posílá je GPS přijímači (viz. kapitola 2.8.2). GPS signál doplněný o diferenční korekce snižuje přesnost na 1 – 3 metry [25].

Na státní univerzitě ve městě Kent v Ohiu pracuje pan profesor David L. Wilson, který se zabývá globálními pozičními systémy. Sám provádí autorské testy přesnosti GPS a výsledky uveřejňuje na své webové stránky. Údaje o přesnosti nejsou profesionálního charakteru a slouží hlavně pro obecný pohled na přibližnou přesnost daných metod zpřesňování GPS. Jedno měření trvá přibližně 2-4 dny a zaznamenává data každé dvě sekundy. Následující tabulka ukazuje, že bez použití korekcí DGPS se 50%⁷ všech měření vejde do 3,49 m chyby v určení pozice, skoro všechna měření (95%) nepřesáhnou odchylku 8,94 metrů. Pokud přijímač přijme i DGPS korekce, jeho přesnost se snižuje do intervalu 1 – 3 metry v 50% měření a 2 – 9 metrů v 95% měření. K maximálním hodnotám DGPS ale většinou nedochází, přesnost se tak pohybuje mezi 1 – 3 metry. V tabulce jsou ještě hodnoty HDOP a VDOP. Vidíme tedy, jak přibližně ovlivňují tyto vlivy přesnost GPS signálu.

	HDOP	VDOP	DGPS	bez DGPS
50%	3-4 m	3-4 m	0,8 - 3 m	3,49 m
95%	7-9 m	<20 m	2 - 9 m	8,94 m

Tabulka 3 – Vliv DGPS

⁷ Circular Error Probable (CEP) – Střední kvadratická chyba, chyba 50%. Chyba je definován kruhem o poloměru, kam zapadá 50% všech jednotlivých měření GPS přijímače. Často je používána výrobci GPS systémů k prezentaci dosahovaných přesností u jednotlivých přijímačů. [26]

5.3. EGNOS

Patří do sdružení systémů, které se nazývá SBAS (angl. Satellite Based Augmentation System). Jedná se o geostacionární satelity podporující diferenční GPS. EGNOS slouží pro potřeby evropského kontinentu. Jedná se tedy o systém, který slouží k zpřesnění satelitních systémů (více na str. 43).

Zdroje chyb	Velikost chyby v metrech
Nejhorší možná pozice uživatele GPS	2,3
Model ionosféry (vertikální pozice)	0,5
Model troposféry (vertikální pozice)	0,1
Vícecestné šíření signálu (45° elevace)	0,2
Šum GPS přijímače	0,5
GPS UERE 5° elevace	4,2
GPS UERE 90° elevace	2,4

Tabulka 4 – Zdroje chyb a jejich působení na EGNOS systém. Zdroj: [28]

Hodnoty v tabulce jsou předpokládány při dobrém výhledu na oblohu a kvalitním GPS přijímači. UERE (angl. User Equivalent Range Error) je souhrn všech chyb ovlivňující určení pseudovzdálenosti (není to vzdálenost v geometrickém smyslu slova), vzdálenost mezi satelitem a GPS přijímačem.

V propagační brožuře [28] jsou uvedeny hodnoty minimální přesnosti systému EGNOS při nejhorší pozici uživatele 3 metry horizontálně a 4 metry vertikálně. Systém ale dosahuje mnohem lepších výsledků. V roce 2009 bylo provedeno měření v délce 6 měsíců na 19 stanicích, které vykazalo průměrné hodnoty ve vertikálním směru mezi 1 – 2 metry a v horizontálním směru přibližně 1 metr. [28]

Veřejná služba systému EGNOS tedy poskytuje uživatelům zpřesnění pozice ve vertikálním směru 1 – 3 metry a v horizontálním směru 2 – 4 metry [29]. Pro agrární odvětví nebo letectví je možné zachytit komerční službu, která by měla poskytovat přesnost i do 2 cm [30].

5.4. WAAS

Systém WAAS pracuje na stejném principu jako evropský EGNOS (více na str. 42), ale operuje nad Severní Amerikou.

	WAAS		bez WAAS		DGPS	
	V	H	V	H	V	H
50%	2,2 m	1,4 m	3 m	2,4 m	1,7 m	1,4 m
95%	6 m	3,2 m	8,9 m	5,3 m	5,9 m	3,2 m

Tabulka 5 – Porovnání přesností (V-vertikální poloha, H-horizontální poloha). Zdroj: [31]

5.5. CZEPOS

CZEPOS je český systém referenčních stanic, které výrazně zvyšují přesnost GPS signálu (popsáno v kapitole 3.7.5 na straně 44). Tato služba je komerční, tedy placená.

Služby, které systém poskytuje [33]:

1. DGPS (diferenční GPS) – stačí levnější přijímač. Korekce jsou poskytovány v reálném čase z předem určené stanice CZEPOS. Přesnost je do 10 cm.
2. RTK (Real Time Kinematic) – tato služba je poskytována v reálném čase z předem určené stanice CZEPOS (známe její souřadnice). Je potřeba mít dvoufrekvenční přístroj, aby mohl přijímat korekce RTK. A mobilní internetové připojení GPRS. Vzdálenost od stanice je většinou kolem desítek km, záleží na přijímači. S rostoucí vzdáleností se může přesnost snižovat. Zaměření pozice je do několika centimetrů.
3. VRS (virtuální korekční stanice) – využívají k výpočtu korekcí více referenčních stanic CZEPOS – síťové řešení. Výpočet je počítán pro virtuální referenční stanici, kterou systém automaticky umísťuje

do lokality, kde je uživatel. Je potřeba dvoufrekvenční GPS přijímač a GPRS připojení. Přesnost je opět centimetrová.

4. Produkty CZEPOS – Všechny předchozí měření a určování pozice probíhaly v reálném čase, tato služba se zaměřuje na určování pozice až po skončení měření. Přesnost je centimetrová až milimetrová.

Veškeré naměřené informace byly zjištěné z diplomové práce napsané na univerzitě ČVUT, která se zabývala testováním sítě CZEPOS, zde také naleznete další informace o výpočtech středních chyb v poloze a ve výšce [32].

1. Porovnání souřadnic ve dvojicích měření – Vypočteno z přibližně 150 nezávislých dvojic souřadnic X, Y, Z , měřených na přibližně 150 testovacích bodech. m_{xy} – střední chyba v poloze, m_h – střední chyba ve výšce

Metoda	V poloze (m_{xy})	Ve výšce (m_h)
DGPS	18 cm	43 cm
RTK	1,1 cm	3,2 cm
RTK-PRS	1 cm	3 cm
RTK-FKP	1 cm	3,1 cm

Tabulka 6 – Střední chyba jednoho měření ve dvojici. Zdroj: [32]

2. Porovnání zaměřených souřadnic se souřadnicemi danými (v ETRS89) – Získáno z cca. 300 nezávislých měření souřadnic X, Y, Z , které bylo možné porovnat s danými souřadnicemi testovacích bodů v ETRS89. Z příslušných souřadnicových rozdílů byly vypočteny střední souřadnicové chyby: m_{xy} a střední chyby výšek m_h odpovídající jednomu měření.

Metoda	V poloze (mxy)	Ve výšce (mh)
DGPS	23 cm	45 cm
RTK	1,4 cm	4,5 cm
RTK-PRS	1,3 cm	4,4 cm
RTK-FKP	1,3 cm	4,3 cm

Tabulka 7 – Střední chyby jednoho měření vypočtené z rozdílů měřených
a daných souřadnic. Zdroj: [32]

Pokud se uživatel nachází ve větší vzdálenosti od permanentní stanice, ze které přijímá signál, může to ovlivnit přesnost jeho měření. Na metodu DGPS mají vliv hodnoty PDOP ve vertikálním i horizontálním směru. Pokud je PDOP rovno nebo větší než 6, ve výšce způsobuje k naměřené odchylce navýšení o 0,5 metru. Horizontální přesnost také ovlivňuje počet viditelných družic u metod DGPS, RTK-PRS a RTK-FKP. [32]

5.6. Galileo

Systém Galileo je evropský navigační systém, který teprve bude spuštěn. Tento systém bude nezávisle zajišťovat navigaci, ale také vyhledávací a záchranné služby - SAR (angl. Search And Rescue Services).

Systém Galileo bude poskytovat tyto služby [34]:

1. Základní služba (angl. Open Service - OS) – Je pro širokou veřejnost, poskytuje informace o poloze a času. Aplikace v přijímači, která bude využívat tuto základní službu by měla využít i signál GPS. Tak dojde k zpřesnění výsledků, hlavně v problémových lokalitách. Tato služba je zdarma a společnost provozující systém Galileo neručí za vypočítané údaje.
2. Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (angl. Safety of Life Service - SoL) – Tato služba bude dostupná na frekvenčních pásmech vyhrazených pro Aeronautické Radio-navigační Služby (L_1 a E_5), tak bude zajištěna její bezpečná úroveň. Je to vylepšená verze základní služby a bude přístupna certifikovaným uživatelům s dvoufrekvenčním

přijímačem. Poskytuje varování, pokud jsou překročeny určité limity přesnosti polohy (integrita). Měla by být poskytována záruka.

3. Komerční služba (angl. Commercial Service - CS) – Nabízí větší přesnost, než základní služba, využívá další dva signály. Ty jsou kódované a tato služba je tedy placená. Uživatel po registraci získá přesnější výsledky v určení polohy a času, výsledky služby jsou ručené. Další výhodou komerční služby je poskytování ionosférických modelů, lokální diferenciální korekce pro velmi přesné určení polohy a další služby.
4. Veřejně regulovaná služba (angl. Public Regulated Service - PRS) – Tato služba bude sloužit výhradně státním institucím, jako je policie, pobřežní hlídka a jiné. Signál tedy bude kódovaný. Služba by měla být nepřetržitě přístupná a to i v době kolapsu jiných komunikačních prostředků nebo jiné krizi. PRS signál se nedá rušit a je odolný proti falešným signálům.
5. Vyhledávací a záchranná služba (angl. Search And Rescue Service - SAR) – Systém Galileo se bude účastnit COSPAS-SARSAT systému, který slouží k vyhledávání a záchraně ztraceného letadla, lodi nebo i člověka a také je navigovat do nejbližšího záchranného centra. Galileo tak přispěje ke zlepšení této záchranné služby. Například bude družice systému Galileo jako jediná umět zpětnou odpověď vysílati.

	OS	SoL	CS		PRS	
Pokrytí	Globální	Globální	Glob.	Lok.	Glob.	Lok.
Poloha	4 m (dvoufr.) 15 m (jednofr.)	4 – 6 m (dvoufr.)	< 1 m (dvoufr.)	< 10 cm	6,5 m	1 m
Výška	8 m (dvoufr.) 35 m (jednofr.)				12 m	

Tabulka 8 – Přesnost služeb. Zdroj: [34]

Globální pokrytí znamená použití celého satelitního systému a jeho pozemních řídicích stanic. Lokální pokrytí bude sloužit pro zpřesnění signálu,

nebo jeho nahrazení v místech, kde nebude možné zachytit signál z družic. Běžného uživatele bude zajímat Základní (OS) a Komerční služba (CS). OS služba bude dostupná pro veřejnost a přístupná bez poplatků, s dvoufrekvenčním přijímačem bude poskytovat přesnost do 4 metrů horizontálně a 8 metrů vertikálně. Pokud bude měření prováděno s jednofrekvenčním přijímačem, přesnost se zhruba čtyřnásobně zhoršuje. CS služba poskytuje určení pozice s přesností menší než 1 metr. Pokud uživatel využije i služeb lokálních stanic dosáhne přesnosti menší než 10 centimetrů.

5.7. Celkové srovnání

Celkové srovnání zahrnuje volně přístupné systémy. Záleží pouze na GPS přijímači, zda dokáže určitý signál zachytit a zpracovat. Obecně se uvádí přesnost samotného GPS signálu mezi 3 – 10 metry. Záleží hlavně na dobrých podmínkách pro měření, poté se můžeme přiblížit k přesnosti 2 metry. V tabulce je zřejmé, že 95% všech měření spadá do intervalu 3 – 6 m. První způsob zlepšení signálu GPS je DGPS. Zlepšení přesnosti, které se udává je mezi 1 – 3 metry, při špatných podmínkách klesá přesnost nad 3 metry v obou směrech. Chyba 9 metrů v tabulce č. 9 je maximální naměřená hodnota, kterou mohlo způsobit i jen jedno měření v 95%. Evropský systém EGNOS zpřesňuje signál na stejnou úroveň, jako DGPS, obecně se uvádí přesnost 2 metry. V tabulce je zahrnutý i americký systém, který funguje na stejném principu jako EGNOS. WAAS opět zpřesňuje polohu na 1 – 3 metry.

	GPS		DGPS	EGNOS		WAAS	
	H	V		H	V	H	V
50%	1,6 m	2 m	1 - 3 m	2 - 4 m	1 - 3 m	1,4 m	2 m
95%	3,5 m	5,5 m	2 - 9 m			3 m	6 m

Tabulka 9 – Celkové srovnání (H – horizontální, V - vertikální)

Galileo		
OS		CS
H	V	
4 – 15 m	8 - 35 m	< 1 m

Tabulka 10 – Galileo (H – horizontální, V - vertikální)

Samostatně v tabulce č. 11 je zahrnuta placená služba CZEPOS, která je poskytována na území České Republiky. Podle zvolené služby můžeme dosáhnout přesnosti na centimetry až milimetry.

CZEPOS	DGPS	RTK	VRS	Post processing
Horizontálně	do 10 cm	< 1 cm	1 - 1,5 cm	cm až mm
Vertikálně		3 - 4,5 cm	3 - 4,5 cm	

Tabulka 11 – Přesnost komerční služby CZEPOS

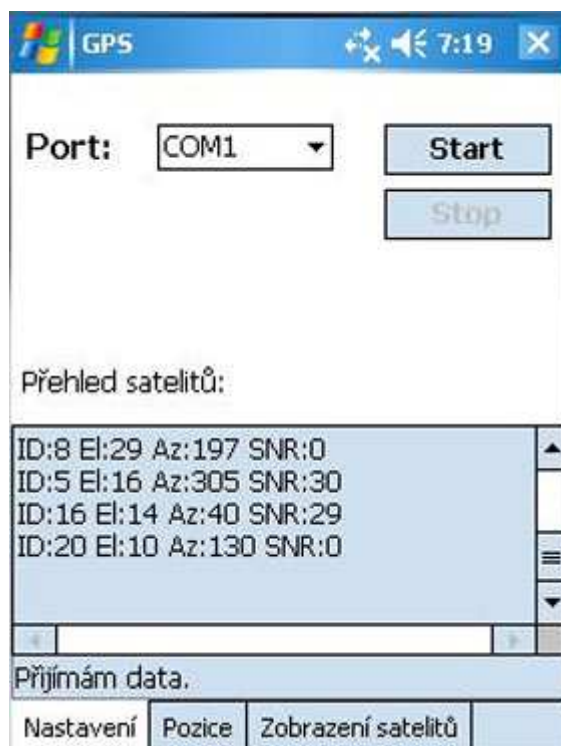
K běžnému užívání GPS přijímačů postačí přesnost, kterou nám nabízí systém EGNOS nebo WAAS. Přijímač ovšem musí mít vlastnost pracovat se signály SBAS. V celkové tabulce č. 9 není zahrnutý plánovaný evropský navigační systém Galileo, protože není stále v provozu. Jeho přesnost je popsána v tabulce č. 8 (str. 60), krátké shrnutí pro představu je v tabulce č. 10, jedná se pouze o globální službu. Základní služba bude poskytovat stejné hodnoty, jako GPS signál. Komerční služba bude dosahovat přesnosti menší než 1 metr, pokud se bude jednat o lokální zpřesnění, odchylka bude zhruba 10 centimetrů.

6 Praktická část

6.1. Program

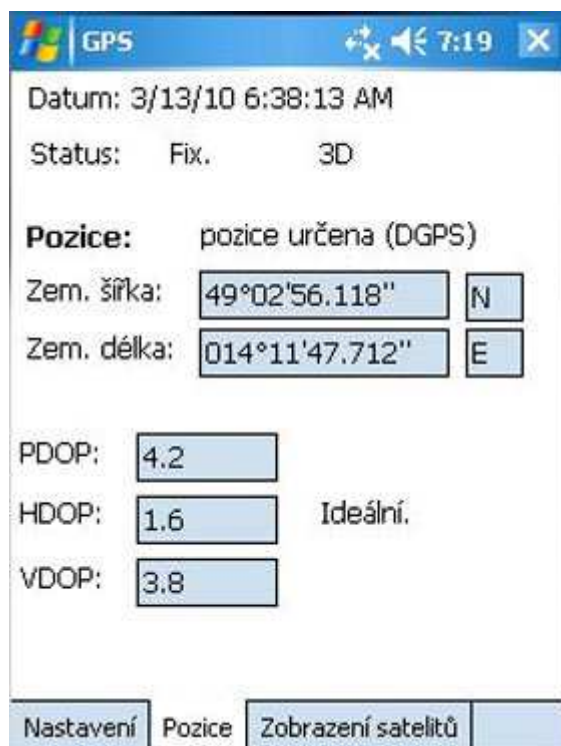
Všechna měření proběhla pomocí mobilního zařízení Hp iPAQ Pocket PC h5500 series a GPS modulu i-tec, model BT-308. Měřicí přijímač je jednofrekvenční, přijímá frekvenci L_1 (C/A kód) a pracuje s 12 kanály. GPS komunikuje s mobilním zařízením pomocí technologie Bluetooth. Aplikace, pomocí které je zpracováván GPS signál, byla napsána v programovacím jazyce C# v prostředí Microsoft Visual Studio 2008. Pro snadné porozumění programu byla vytvořena příručka, která je k dispozici na přiloženém CD.

Po spuštění aplikace si uživatel vybere sériový port, pomocí kterého bude mobilní zařízení komunikovat s GPS přijímačem. Program se spustí tlačítkem *Start* a ukončí tlačítkem *Stop*. V dolní části první záložky jsou zobrazeny informace o viditelných satelitech. Konkrétně jejich identifikační číslo (ID), elevace, azimut a šum signálu (angl. SNR – Signal-To-Noise Ratio). Pokud se číslo SNR rovná 0, signál je plně zastíněn.



Obr. 12 – Screenshot 1 – Nastavení

Druhá záložka programu nás informuje o aktuálním datumu a času, také statusu, ten může být *Fix*, pokud je signál GPS platný nebo *No fix*, pokud není. Měření může probíhat v trojrozměrné dimenzi (3D) nebo dvojrozměrné (2D), záleží na počtu použitých satelitů pro výpočet. Ve 2D získáváme pouze informace o horizontální poloze, to nastává při třech viditelných satelitech. Dále na display vidíme již naší určenou pozici v zeměpisných souřadnicích. Pokud je k dispozici korekce signálu GPS, jedná se o DGPS (diferenční GPS). Hodnoty DOP určují geometrické uspořádání satelitů na obloze. HDOP ovlivňuje horizontální určení pozice a může nabývat hodnot od 1 do 50. Hodnota 1 je ideální postavení družic.



Datum: 3/13/10 6:38:13 AM	
Status:	Fix. 3D
Pozice: pozice určena (DGPS)	
Zem. šířka:	49°02'56.118" N
Zem. délka:	014°11'47.712" E
PDOP:	4.2
HDOP:	1.6 Ideální.
VDOP:	3.8
Nastavení Pozice Zobrazení satelitů	

Obr. 13 – Screenshot 2 – Pozice

Třetí a zároveň poslední záložka zobrazuje postavení satelitů na obloze. Zelenou barvou jsou vykresleny družice, které nejsou stíněny a můžeme s nimi dále komunikovat. Šedou barvou jsou zastíněné družice, nebo se slabým signálem. Ke snadnému rozpoznání satelitů, je zobrazeno jejich ID. Počet viditelných satelitů zahrnuje všechny objekty, o kterých víme. Další údaj již informuje o počtu satelitů, ze kterých je vypočítávána naše pozice. V dolní části záložky se zobrazují všechny NMEA věty, které přijímač přijme. Ty se v pravidelných intervalech ukládají do souboru s názvem *gpsData.txt*.



Obr. 14 – Screenshot 3 – Zobrazení satelitů

6.2. Metodika vlastního měření

Vlastní měření probíhala v terénu, byly vybrány lokality, které zhodnotí a ukáží, jak je signál GPS přístupný a přesný. Měření probíhalo v městské zástavbě (intravilánu), v zástavbě u vysoké budovy, ve volném prostoru (extravilánu) a v lesním porostu. Jednalo se o měření statické tzn., že přijímač se nacházel na jednom pevném bodě o známých souřadnicích státního souřadnicového systému, kromě měření v lesním porostu. Naměřené hodnoty jsou znázorněné v grafech a každé měření bylo popsáno a vyhodnoceno v samostatném souboru, které jsou přiloženy v příloze na CD ve složce *Výsledky měření*. Vzdálenost naměřené pozice od skutečné byla vypočítána pomocí Haversineho rovnice. Všechny naměřené souřadnice a nadmořská výška byly uloženy do jazyka KML a zobrazeny v programu Google Earth, mapy jsou opět na přiloženém CD a také vloženy jako výřez do kapitoly

každého měření. Celkové výsledky byly z každého měření, pro pozici i výšku, vyhodnoceny výpočtem mediánu a porovnány.

6.2.1. Měření u vysoké budovy

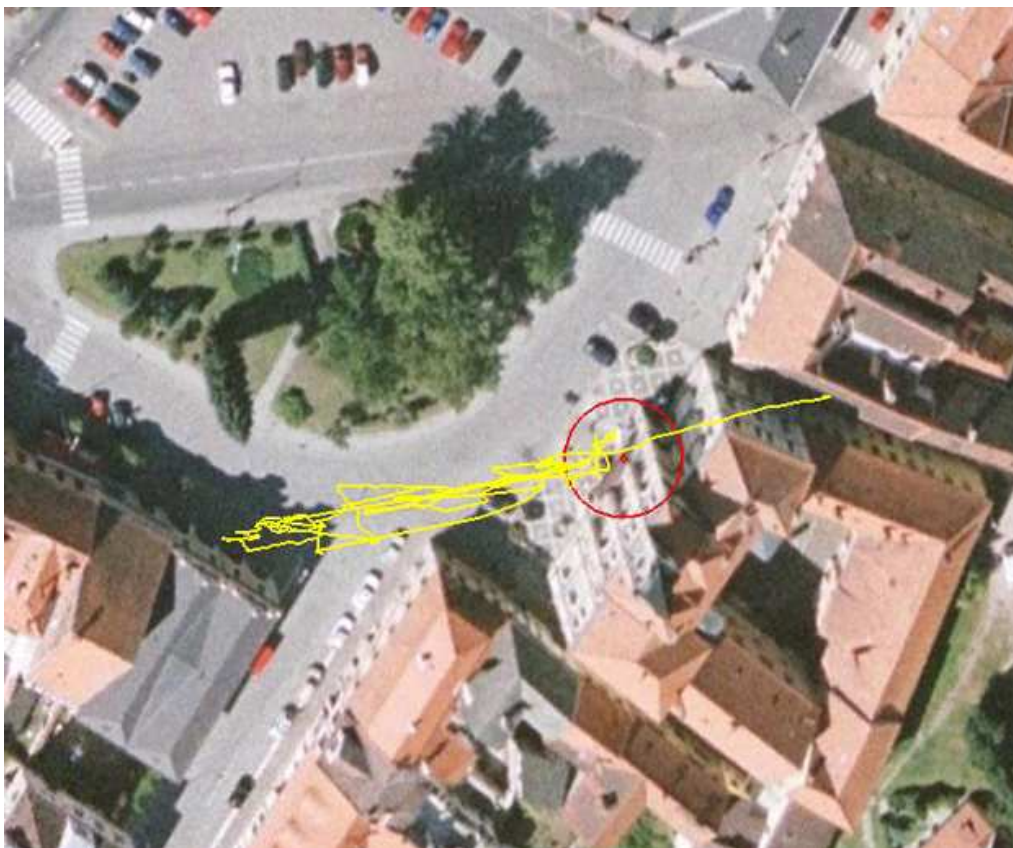
Přijímač se nacházel blízko vysoké budovy na souřadnicích 49°2'56.1" severně a 14°11'47.7" východně a 430,507 metrů nad mořem (nivelační bod Mf4-31.5). Na východní straně byla zeď budovy, lokalita se nacházela v městské zástavbě. První měření probíhalo v odpoledních hodinách, oblačno až zataženo, maximálně 4°C. Měření trvalo zhruba 20 minut, kdy po 5 minutách byly přijaty korekce evropského systému EGNOS, od satelitu číslo 33, který se nachází nad Atlantickým oceánem. V první fázi měření byl zachycen signál pouze tří satelitů tzn., že přijímač byl schopen měřit pouze ve 2D. Hodnota HDOP převýšila přijatelnou hodnotu pro správné určení pozice a odchylka od správné pozice přijímače se pohybovala v řádech stovek metrů. Později byl přístupný další, čtvrtý, satelit. Odchylka se snížila zhruba pod 50 metrů. Signál GPS neprostoupí překážkami, které brání v dobrém výhledu na satelity a také se zde projevuje chyba vícecestného šíření signálu. Medián naměřených hodnot je roven 35,99 metrů (při započítání velkých chyb, což způsobilo měření jen se třemi satelity, je 323,39 metrů). V grafu č. 1, jsou vyneseny všechny naměřené hodnoty v horizontální pozici. Byla samozřejmě měřena i nadmořská výška, která dosahuje většinou větších odchylek. Střední hodnota nadmořské výšky je 20,44 metrů, která je menší, než v horizontální hodnotě, to je způsobeno tím, že přes 100 prvních naměřených hodnot nebylo do výsledku zahrnuto, měření bylo pouze ve 2D. Hodnoty zobrazuje graf č. 3.



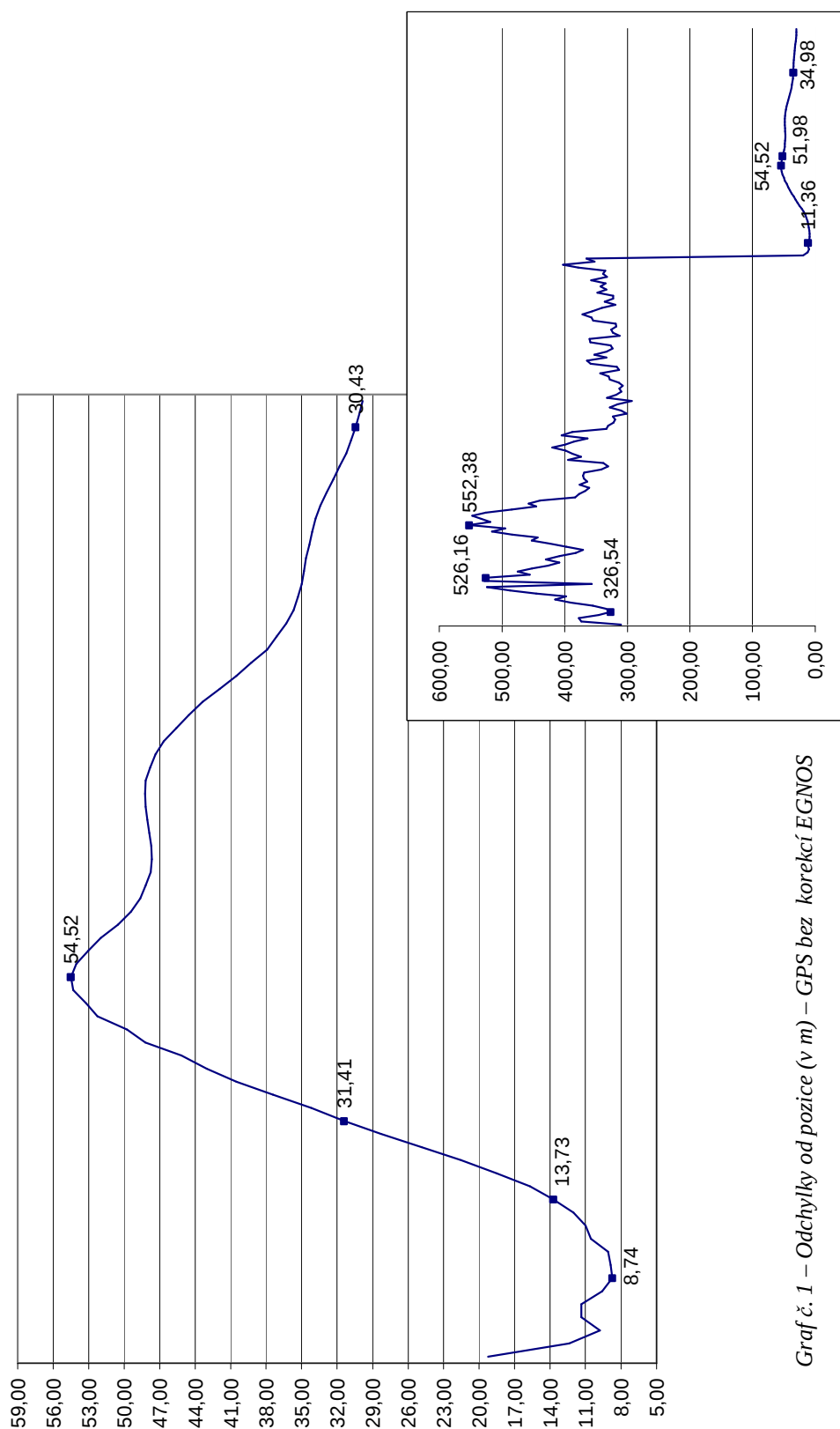
Obr. 15 – Měření s velkými odchylkami

Po synchronizaci se satelitem systému EGNOS se odchylka určení pozice zpřesnila, ale nejpřesnějších výsledků bylo dosaženo po připojení dalšího satelitu. Signál byl zachycen maximálně od 6 satelitů, které byly použity pro výpočet. Medián při zpřesnění EGNOSem dosáhl hodnoty 22,89 metrů v horizontální pozici a 10,29 metrů v nadmořské výšce. Informace zobrazují grafy č. 2 a č. 4.

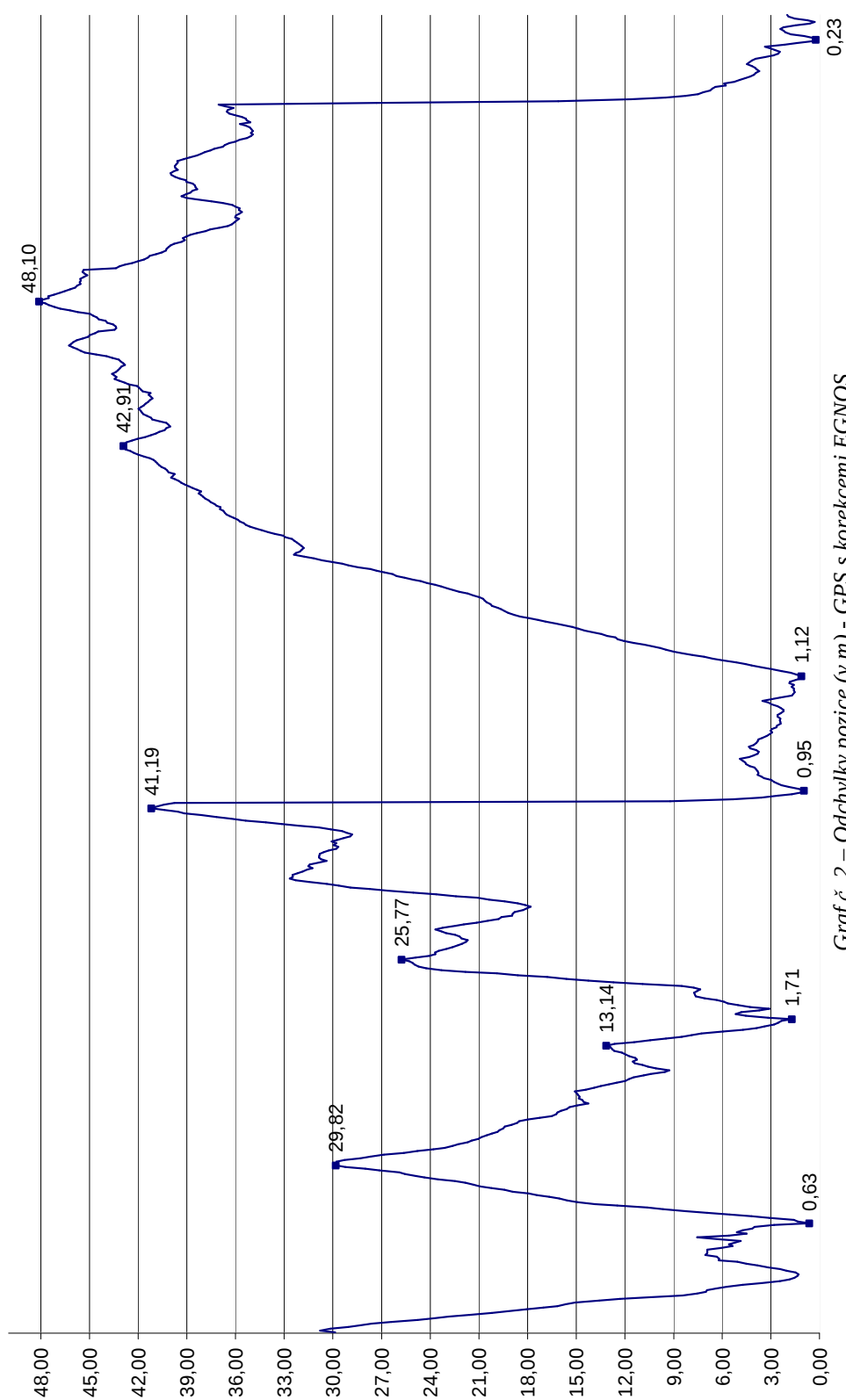
Detailní přehled a všechny naměřené hodnoty jsou v příloze v dokumentu *Měření 1*.



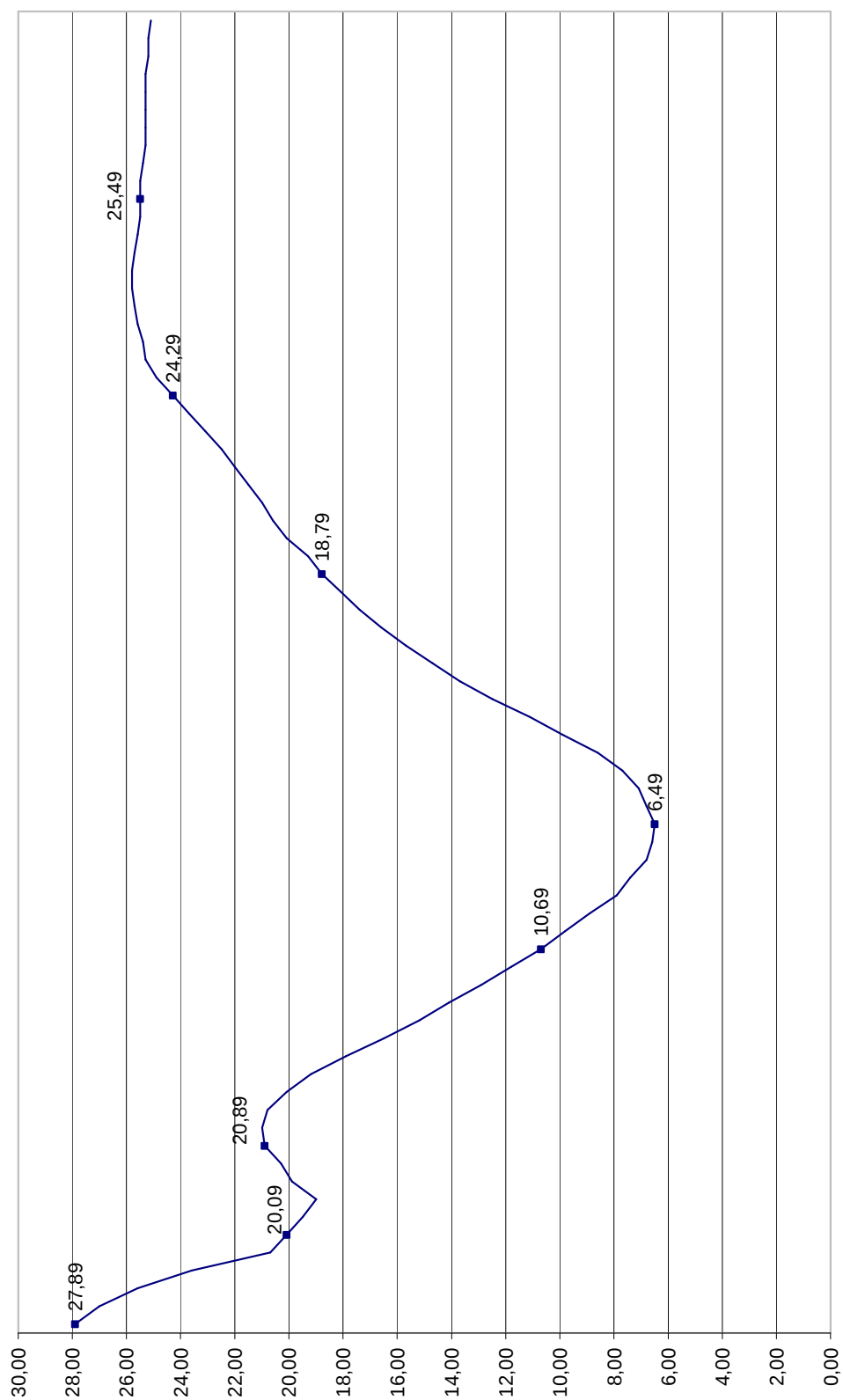
Obr. 16 – Měření u budovy s korekcemi



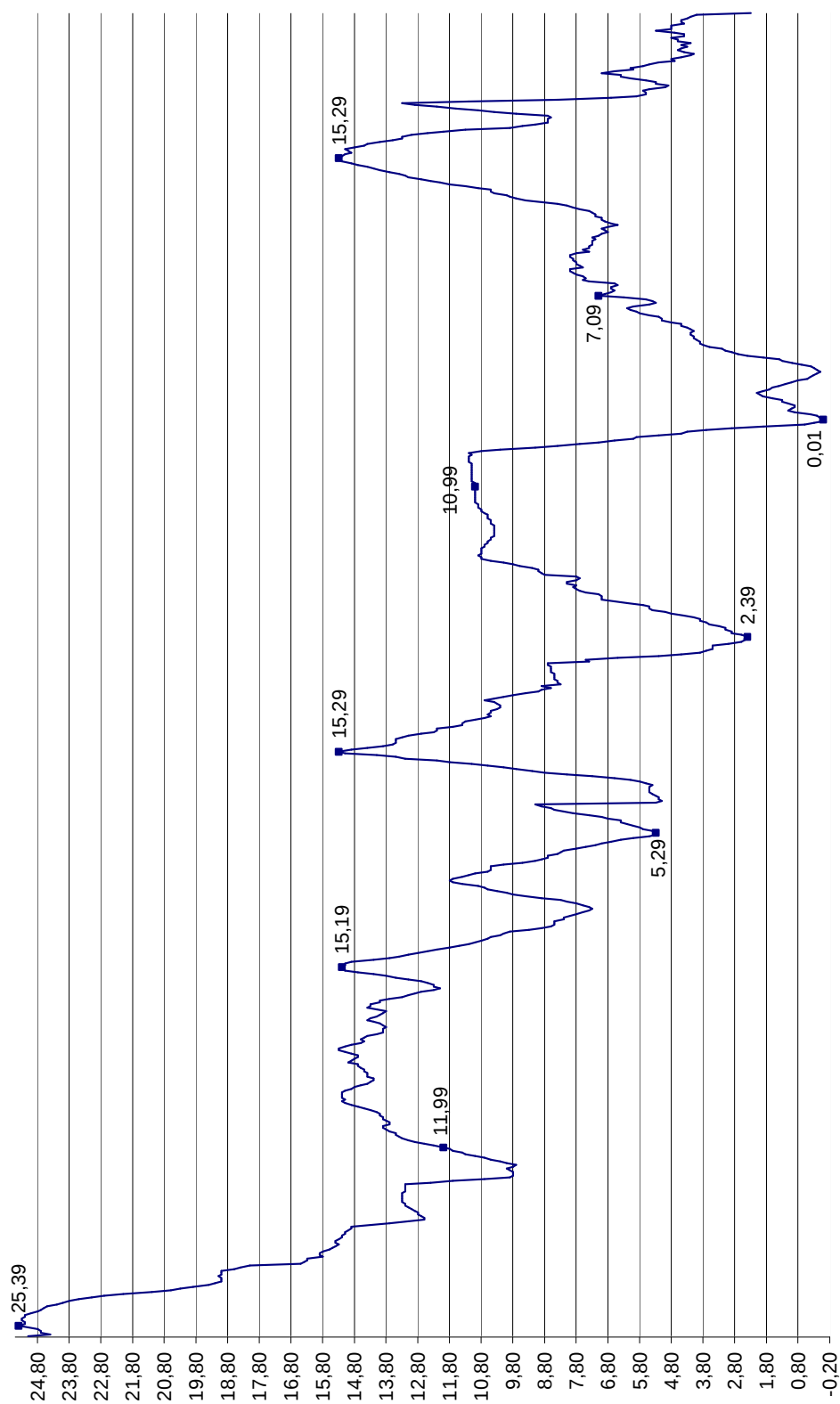
Graf č. 1 – Odchylky od pozice (v m) – GPS bez korekcí EGNOS



Graf č. 2 – Odchyly pozice (v m) - GPS s korekcemi EGNOS



Graf č. 3– Odchylky nadmořské výšky (v m) – GPS bez korekcí EGNOS

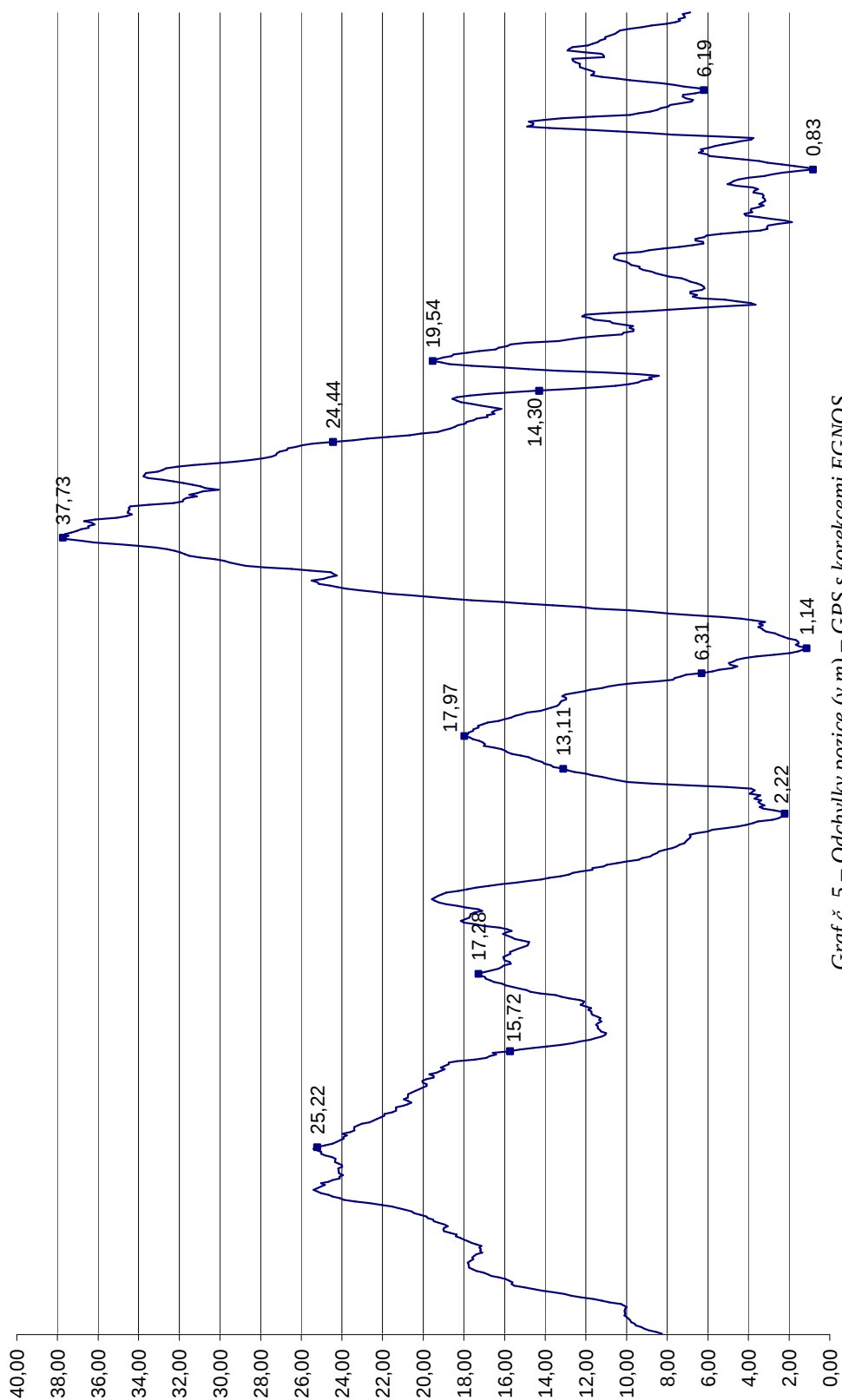


Graf č. 4 – Odchylky nadmořské výšky (v m) – GPS s korekcemi EGNOS

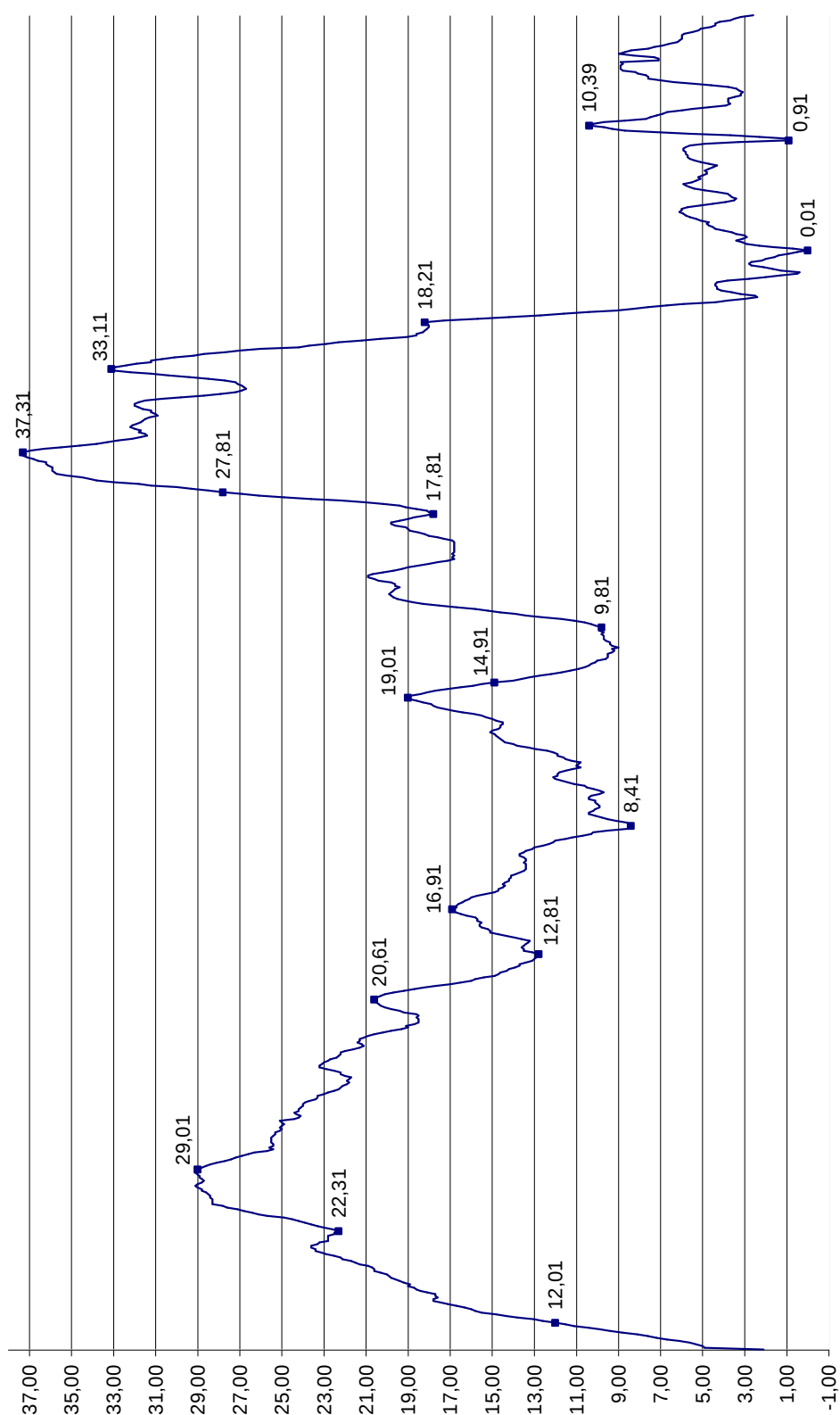
Další hodnoty byly zaznamenány ve večerních hodinách, obloha byla oblačná až zatažená. Pozice přijímače byla stejná jako při odpoledním měření. Měření opět trvalo přibližně 20 minut. Okamžitě po synchronizaci s GPS signálem byly přijaty i EGNOS korekce, od stejného satelitu (č. 33). Toto měření bylo více přesnější než předchozí, pozice byla počítána ze 6 a také 7 satelitů. Medián se rovnal 14,15 metrů, což znamená, že nejméně 50% výsledků se rovná nebo je menší a nejméně 50% výsledků je větší nebo rovných mediánu [35]. Hodnota HDOP byla dobrá (přesahovala hodnotu 6, poté 4). Odchyly měření nejlépe vystihuje graf č. 5 a graf č. 6 pro nadmořskou výšku. Medián pro nadmořskou výšku se rovná hodnotě 15,91 metrů. Celkový přehled o měření je v příloze v dokumentu *Měření 3*.



Obr. 17 – Měření u budovy s korekcemi 2



Graf č. 5 – Odchylky pozice (v m) – GPS s korekcemi EGNOS



Graf č. 6 – Odchylky nadmořské výšky (v m) – GPS s korekcemi EGNOS

6.2.2. Měření v zástavbě

Další měření mělo zjistit přesnost GPS v městské zástavbě. Přijímač se nacházel uprostřed malého náměstí o souřadnicích 49°2'56.92" severně a 14°11'46.04" východně, 430,51 m.n.m. Obloha byla opět oblačná, místy zatažená. Měření probíhalo v odpoledních hodinách. Nad přijímačem se nacházel velký strom, který neměl ještě listy. I zde byly chyceny, přibližně po 10 minutách, korekce EGNOSu.

V první části se chyba v měření dostala i přes 20 metrů, ale po delší synchronizaci se dá říci, že až na nějaké výjimky, nepřesáhla chyba měření 6 metrů. Medián je roven hodnotě 2,39 metrů při GPS signálu bez korekcí.

I přes korekce od evropského systému nebyla pozice určena přesněji, dokonce vykazovalo měření větší odchylky. To zapříčinilo hlavně ztracení signálu od dvou satelitů, kdežto při pouhém GPS signálu bez korekcí, byla pozice vypočítávána ze 7 satelitů, s EGNOS korekcemi pouze z 5. Výsledek potvrzovala i hodnota mediánu, která byla ze všech naměřených odchylek rovna 2,65 metrů. Graf č. 7 zobrazuje měření bez korekcí a s korekcemi. Žlutou linkou je samotný GPS signál a modrou s korekcemi EGNOSu.

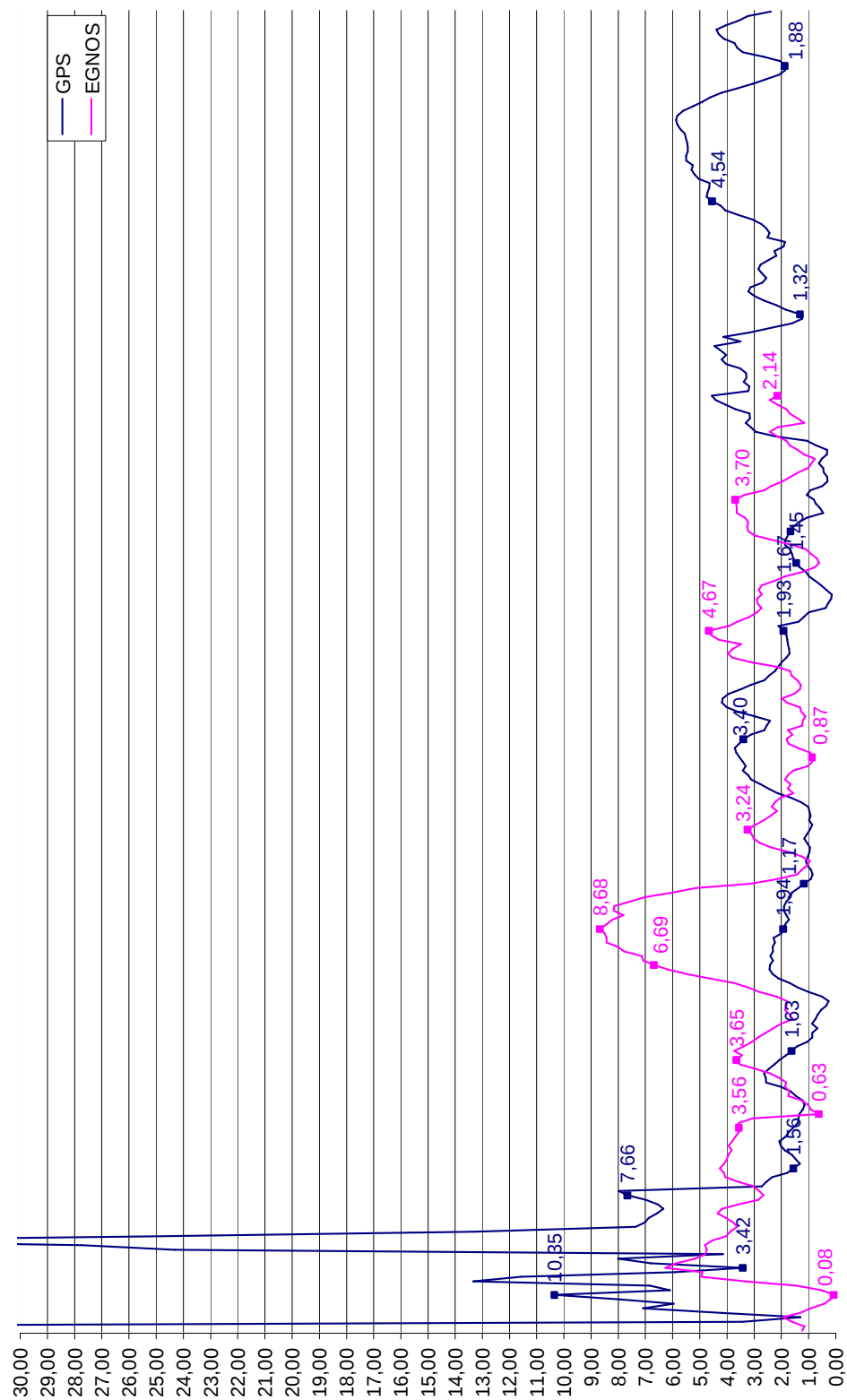
Medián nadmořské výšky bez korekcí je 4,89 metrů a s korekcemi 5,51 metrů. Podíváme se blíže na graf č. 8 zachycující odchýlení od aktuální zeměpisné výšky. Hodnoty naměřené bez korekcí se přes několik větších výkyvů drží pod hranicí 8 metrů. S korekcemi jsou výkyvy v odchýlení nekonzistentní a objevuje se více vyšších hodnot přes 9 metrů. Můžeme tedy říci, že systém EGNOS neznamena vždy zlepšení v určení pozice. V grafu není zaznamenána celá hodnota nejvyšších odchylek pro lepší zobrazení ostatních hodnot (nejvyšší je 80,89 metrů), tento výkyv se již dále neopakoval. Celkové výsledky měření najdeme v příloze v dokumentu *Měření 2*.



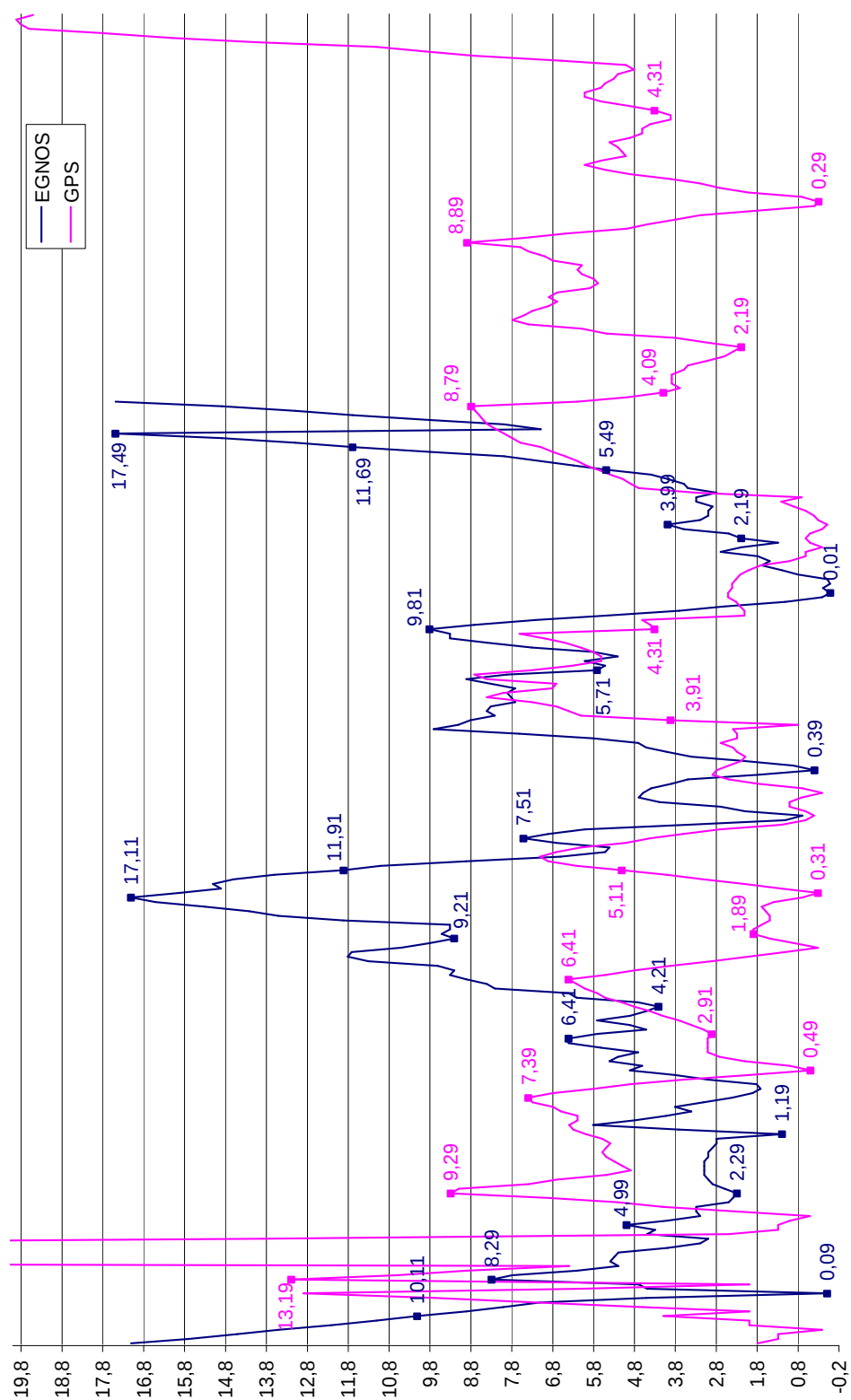
Obr. 18 – Měření v zástavbě, GPS bez korekcí



Obr. 19 – Měření v zástavbě s korekcemi



Graf č. 7 – Odchyľky pozície (v m) - GPS a korekce EGNOS dohromady



Graf č. 8– Odchylyky nadmořské výšky (v m) - GPS a korekce EGNOS dohromady

Druhé měření na stejné pozici probíhalo ve večerních hodinách. Podrobný přehled o měření najdete v příloze v dokumentu *Měření 4*. Zde se korekce výrazně zasadily o lepší určení pozice. Hodnota HDOP se blížila k ideální a to přesto, že se měřilo v zástavbě. Hodnota mediánu byla 6,84 metrů, při měření pouze GPS signálu a při zpřesnění 4,53 metrů. Graf č. 9 zobrazuje porovnání obou výsledků.

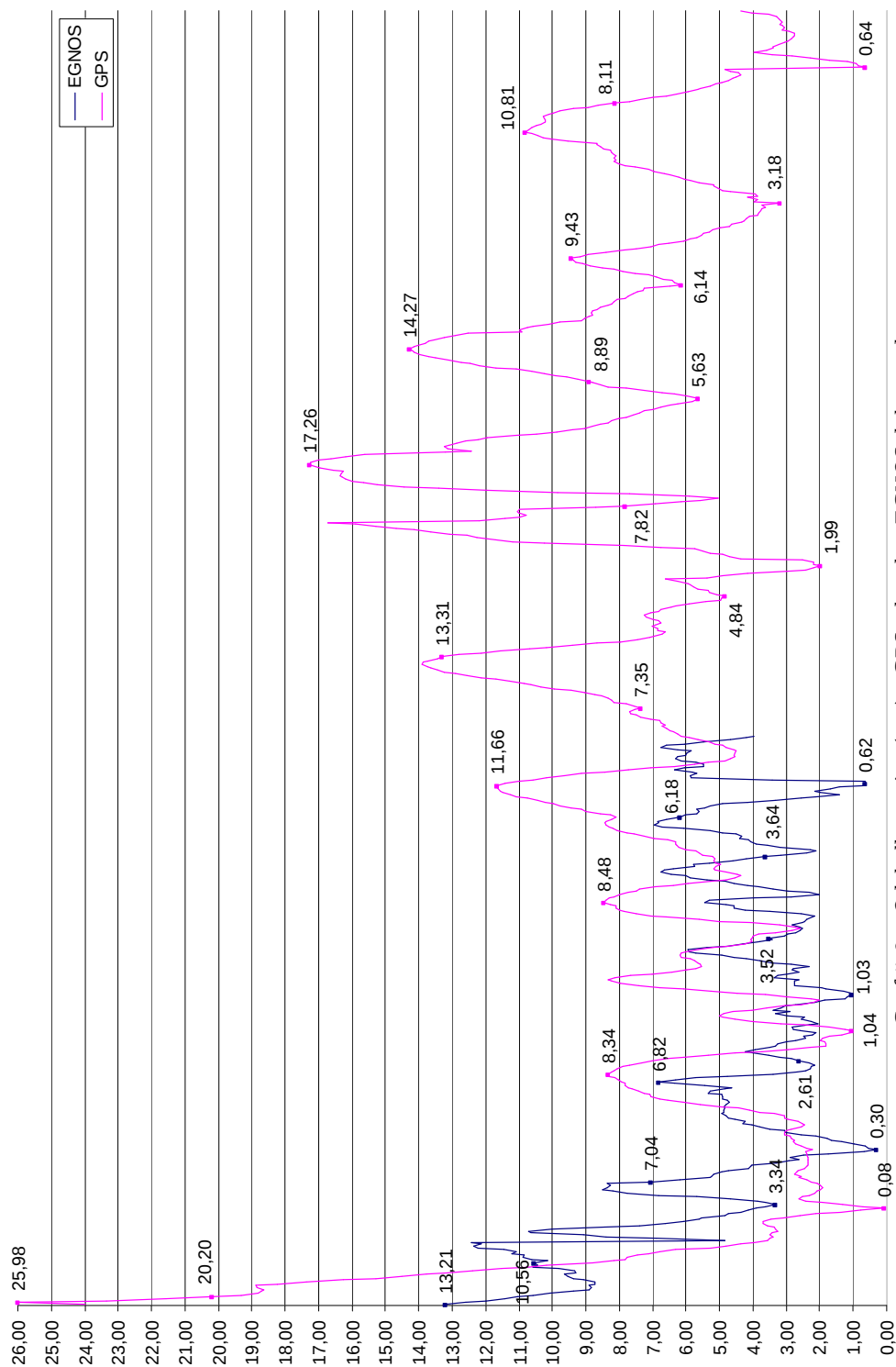
EGNOS korekce ale neměly moc velký vliv na přesnost nadmořské výšky (graf č. 10). Střední hodnota byla určena na 6,44 metrů a 4,53 metrů bez EGNOSu. Je tedy zřejmé, že naměřené hodnoty byly prakticky stejné, protože mezi celkovým výpočtem je jen malý rozdíl.



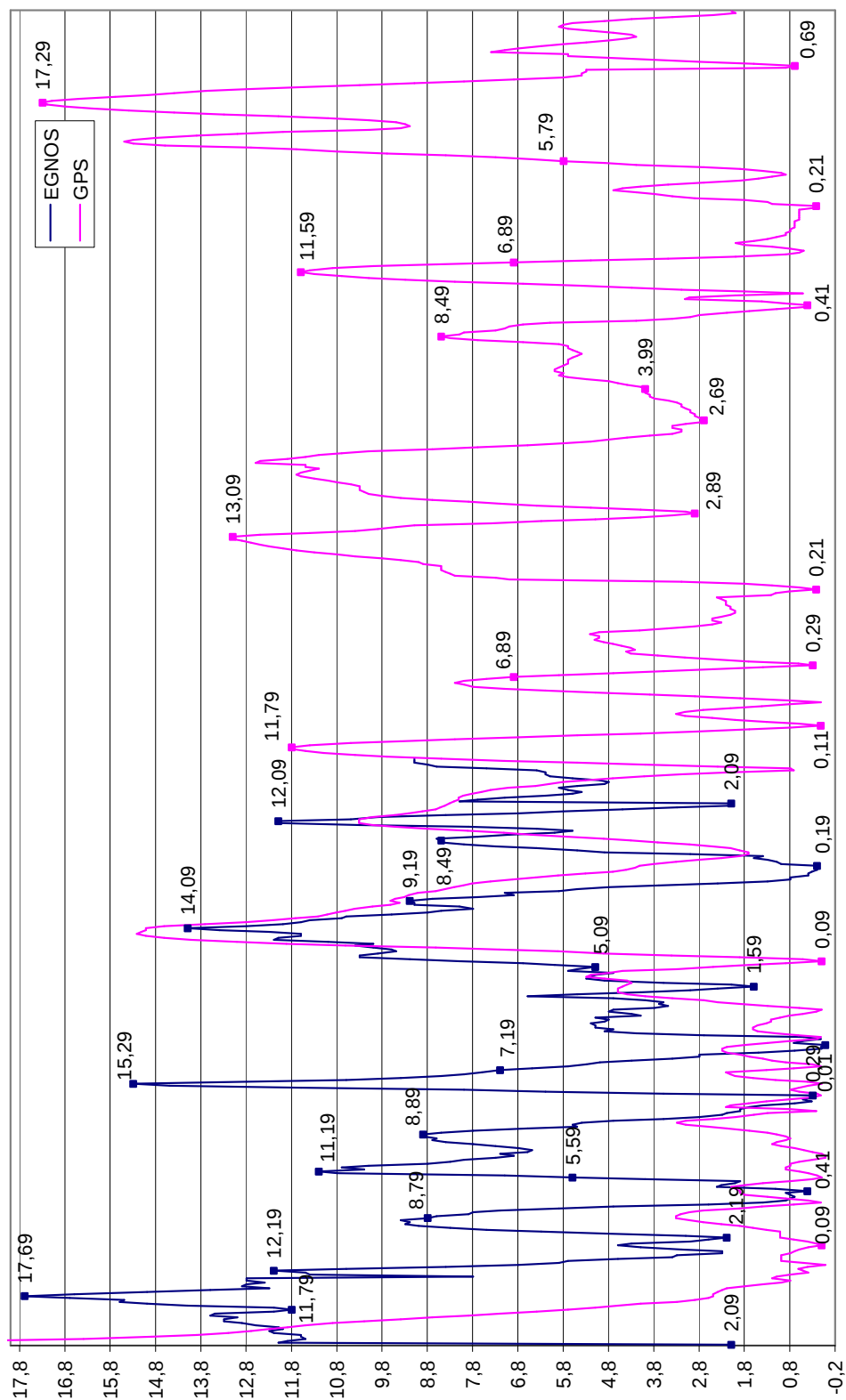
Obr. 20 – Měření v zástavbě bez GPS korekcí 2



Obr. 21 – Měření v zástavbě s korekcemi 2



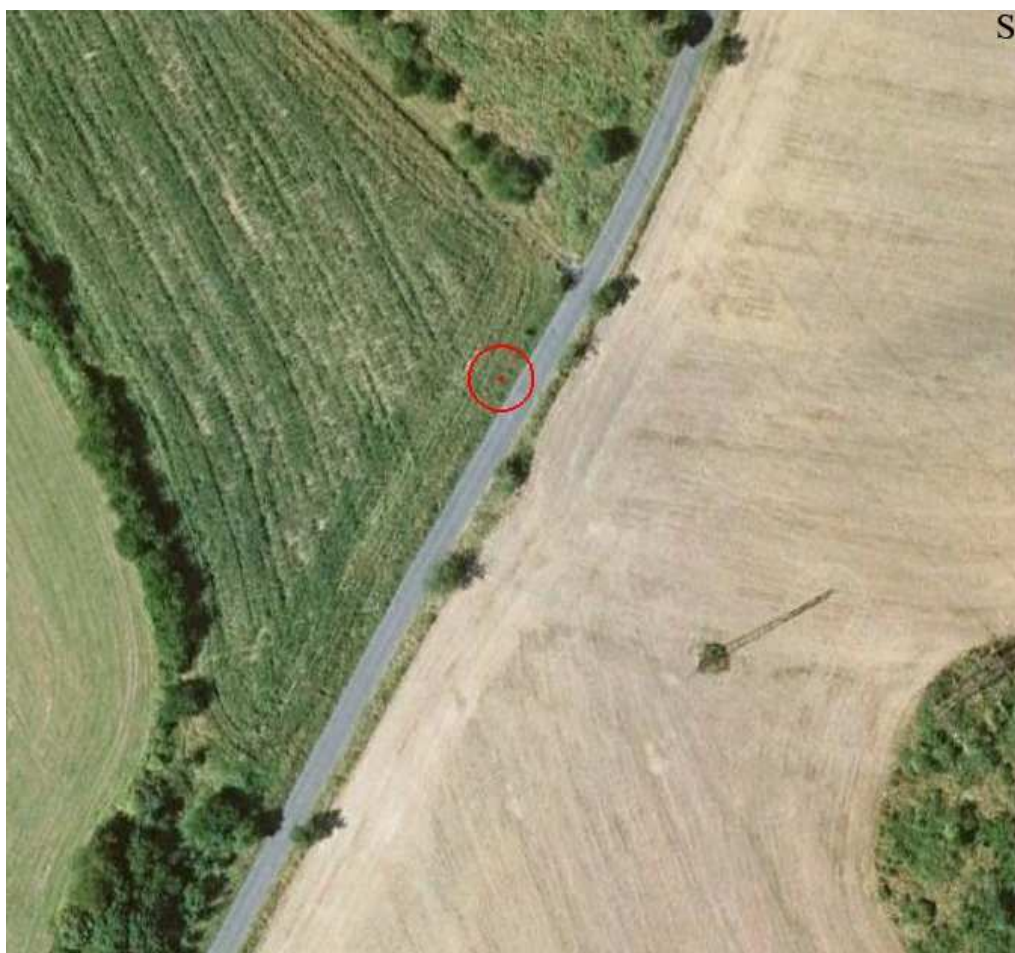
Graf č. 9 – Odchyľky pozice (v m) - GPS a korekce EGNOS dohromady



Graf č. 10 – Odchyľky nadmořské výšky (v m) - GPS a korekce EGNOS dohromady

6.2.3. Měření ve volném prostoru

Měření probíhalo na vyvýšeném místě, přímo na zhušťovacím bodu, který je v databázi polohových bodových polí (číslo bodu 237) [36]. Bod byl na místě měření označen v podobě žulového kamene na souřadnicích $49^{\circ}3'43.4''$ jižně a $14^{\circ}12'23.8''$ východně, 453,19 metrů nad mořem.



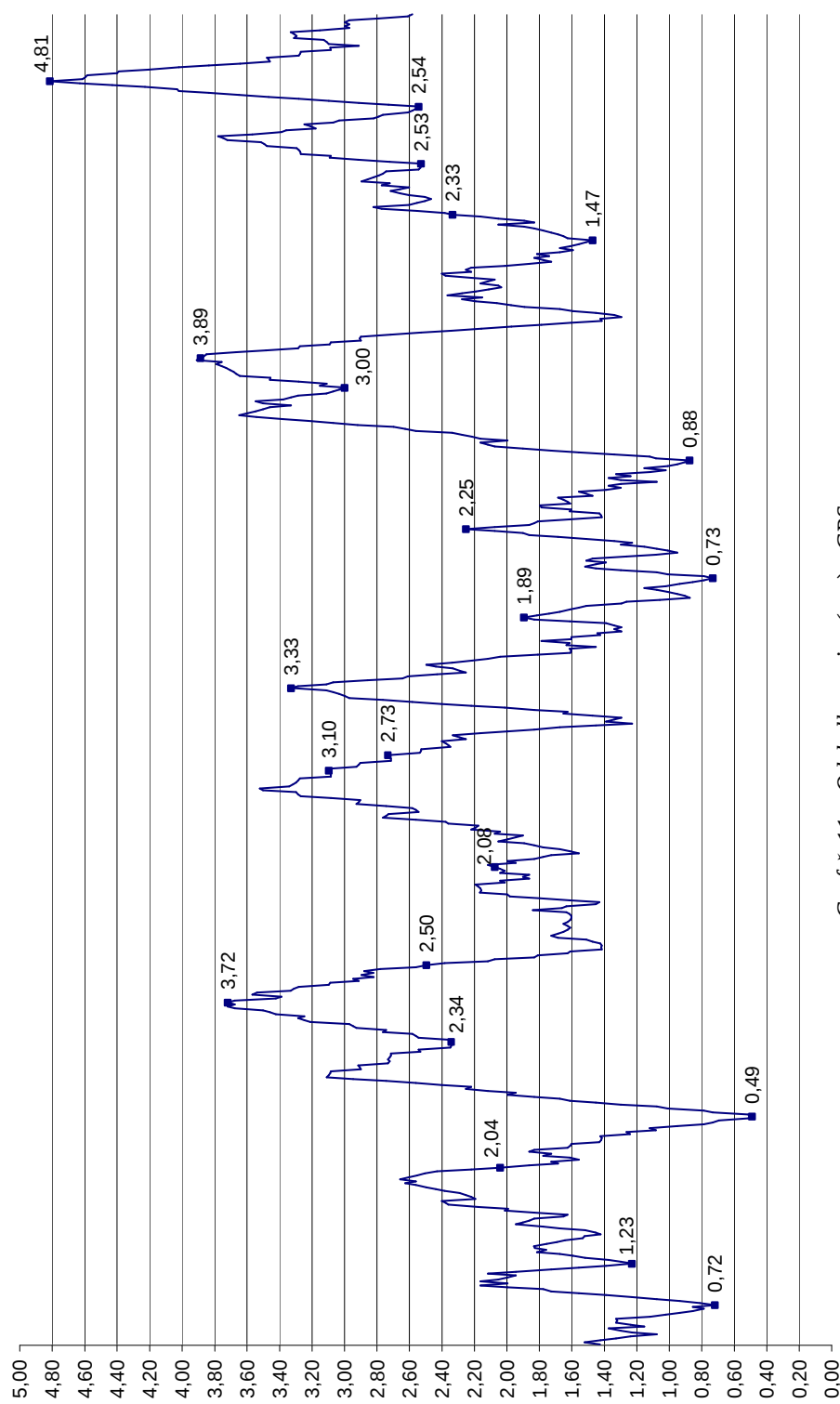
Obr. 22 – Celkový pohled na místo měření

Při prvním měření byla obloha částečně zatažená, místy pršelo. Přijímač byl položen přímo na zemi na žulovém bloku. Hodnoty HDOP byly výborné (nejčastěji 1,4). K výpočtu bylo použito 7 družic, což zaručuje velmi přesné určení polohy. Při tomto měření nebyly přijaty žádné korekce. Výsledná hodnota mediánu pro pozici byla 2,16 metrů a pro nadmořskou výšku

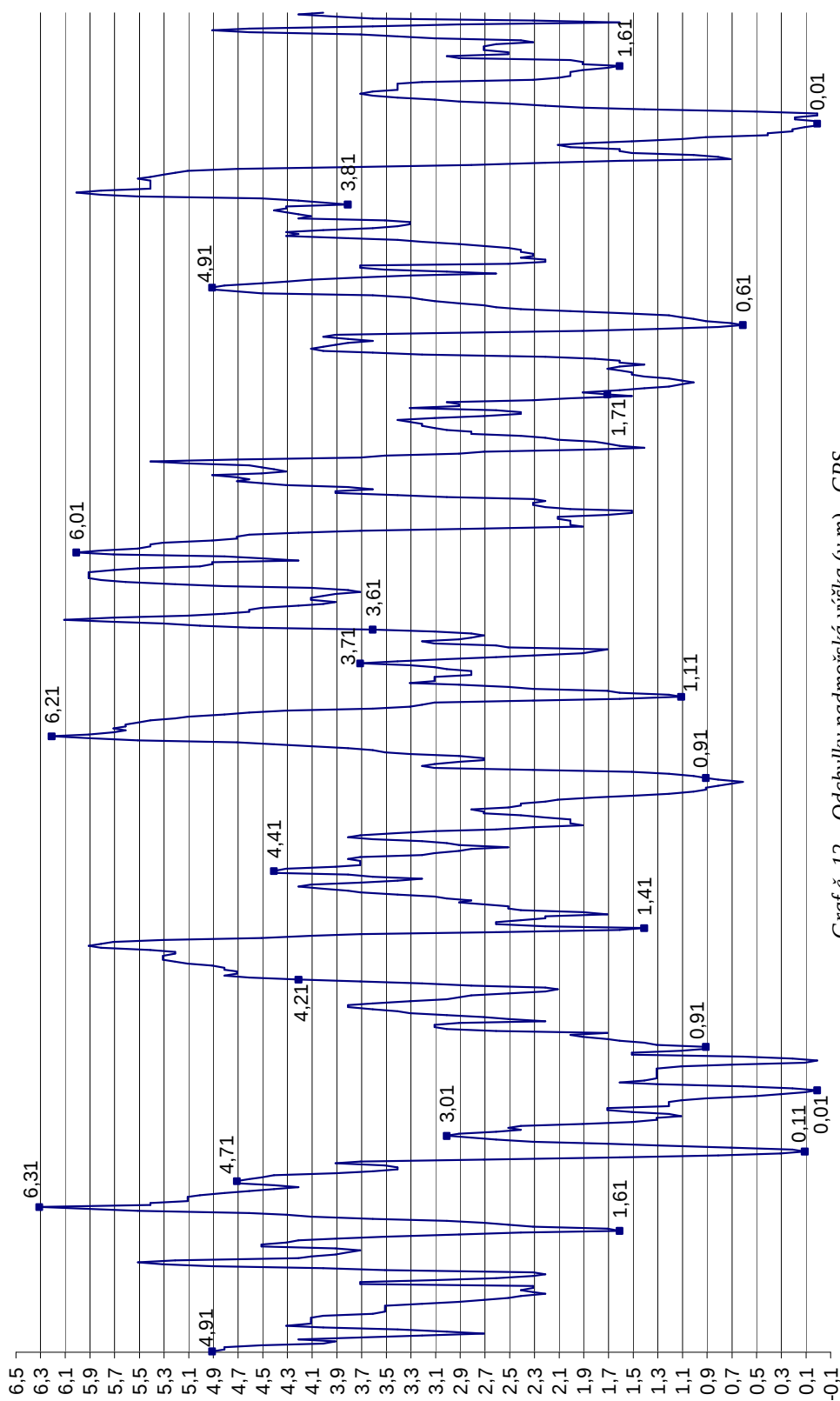
3,11 metrů, tyto hodnoty si můžete prohlédnout v grafech č. 11 a č. 12. Všechny hodnoty z měření jsou v příloze v dokumentu *Měření 5*.



Obr. 23 – Měření bez korekcí



Graf č. 11 – Odchylky pozice (v m) - GPS



Graf č. 12 – Odchylky nadmořská výška (v m) - GPS

Další prováděná měření trvala každé přes 30 minut a po synchronizaci s GPS signálem byly přijaty i korekce evropského systému EGNOS. První měření poskytlo stejné hodnoty mediánu, jako měření bez korekcí, ale přesto můžeme říci, že došlo k zpřesnění signálu, protože bylo naměřeno o půlku více hodnot. Pokud se výsledky měření promítnou do mapy, je zřejmé, že se více naměřených souřadnic přiblížilo ke správné pozici. Na obrázku č. 24 jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty pozice a propojeny mezi sebou. Protože těchto hodnot bylo více než 1 000 a všechny jsou velmi blízko u sebe, jsou propojené body vidět až při velkém přiblížení k mapě. Je zde ale patrné zpřesnění GPS pomocí korekcí od EGNOSu. Fialová barva naměřených hodnot pokryla i žulový kámen (je znázorněn červeným kolečkem uprostřed), na předchozím obrázku je viditelný tzn., že samotný signál GPS nebyl tak přesný, jako GPS doplněný o korekce.

Všechny výsledky jsou v dokumentu *Měření 6* a dále v grafech č. 13 (horizontální pozice) a č. 14 (nadmořská výška).



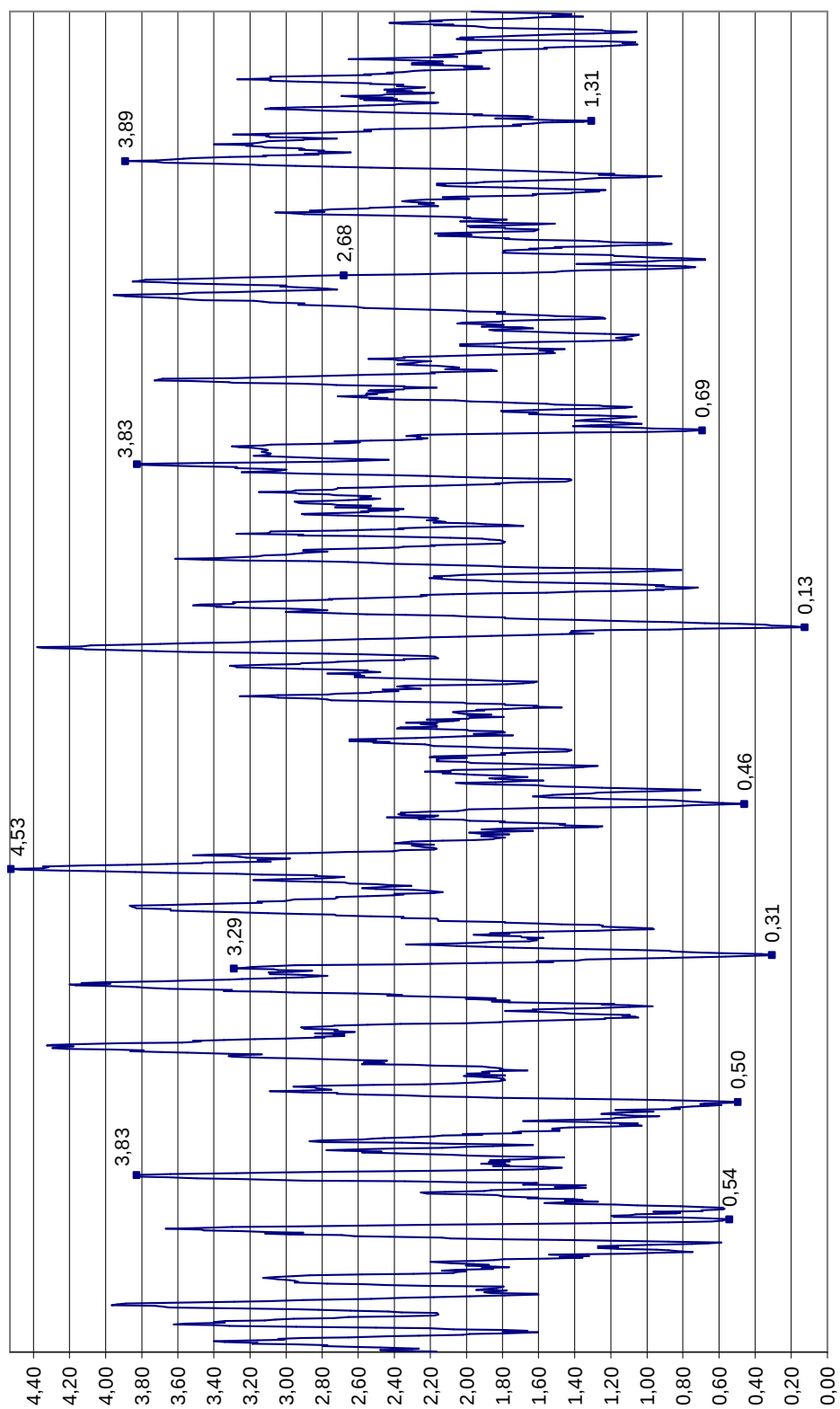
Obr. 24 – Měření s korekcemi

Největší zpřesnění zaznamenalo další měření, které bylo na stejném místě ve volném prostoru. Počasí bylo stejné, oblačno až zataženo. Půlhodinové měření zaznamenalo hodnoty pro určení pozice, které ve výsledku znamenaly střední hodnotu 1,26 metrů tzn., že polovina výsledků se blížila k určení pozice na 1 metr. Maximální rozdíl mezi správnou a naměřenou pozicí byl 3,64 metrů. Ve vertikálním směru byla střední hodnota 2,01 metrů, kde byla maximální vypočítaná hodnota 8,31 metrů. Zjištěné výsledky přesně ukazují chování GPS signálu ve volném prostoru, kdy se od sebe horizontální a vertikální hodnoty liší tak, že vertikální hodnota je násobkem horizontální. Přijímač zpracovával signál od všech viditelných satelitů a k dispozici měl i korekce EGNOSu.

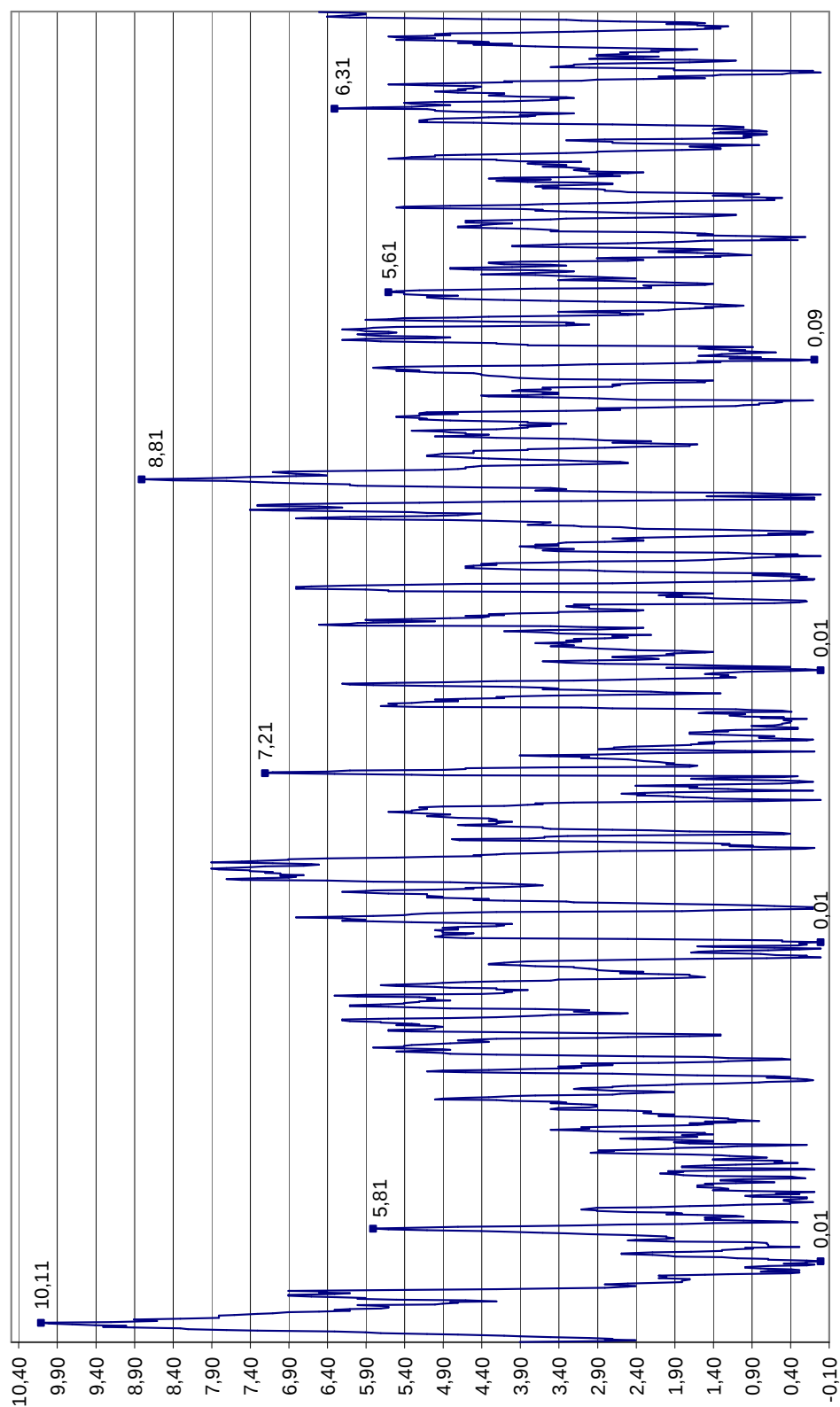
Výsledky jsou zobrazeny v grafech č. 15 a č. 16 a v dokumentu *Měření 7* v příloze.



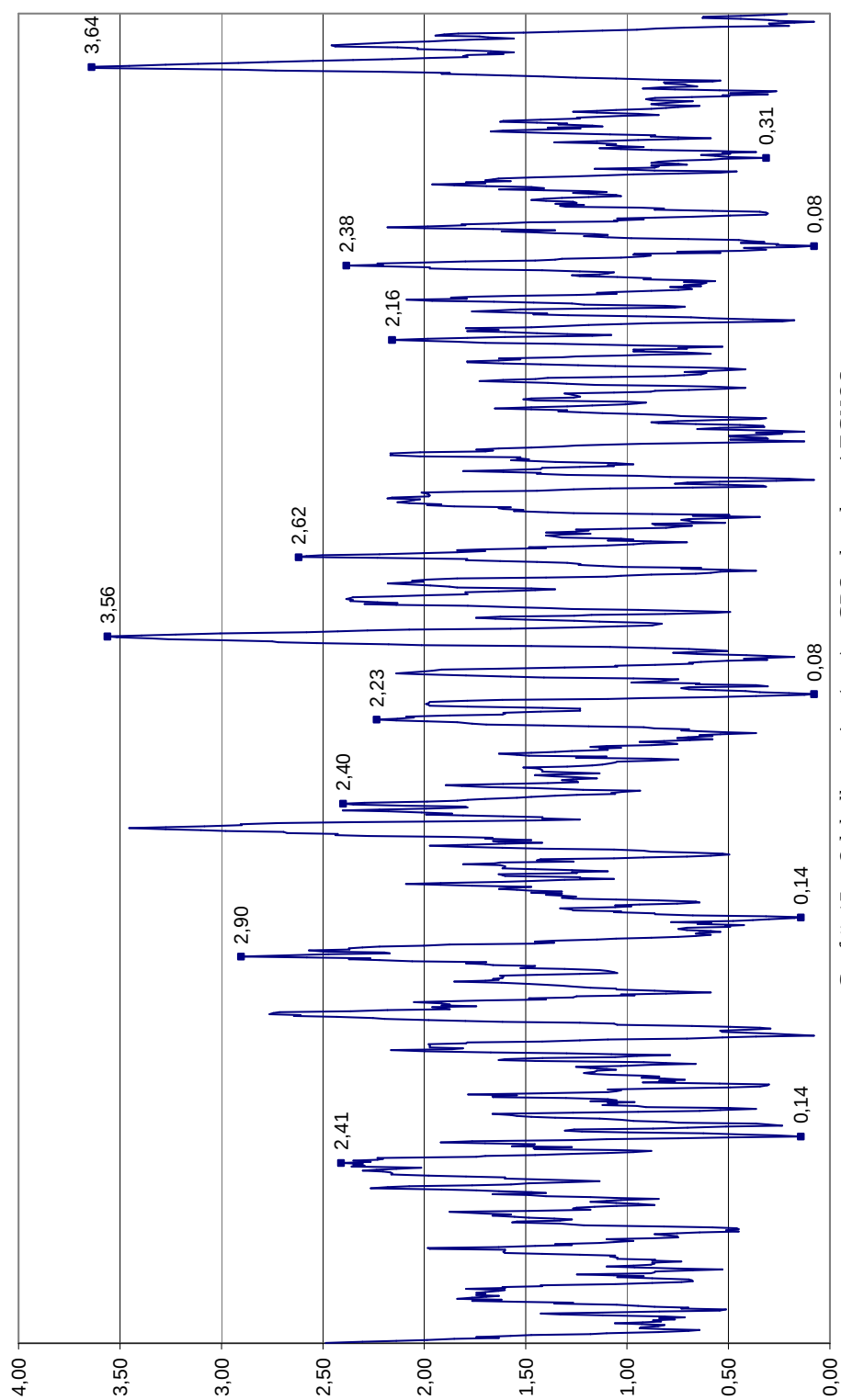
Obr. 25 – Měření s korekcemi 2



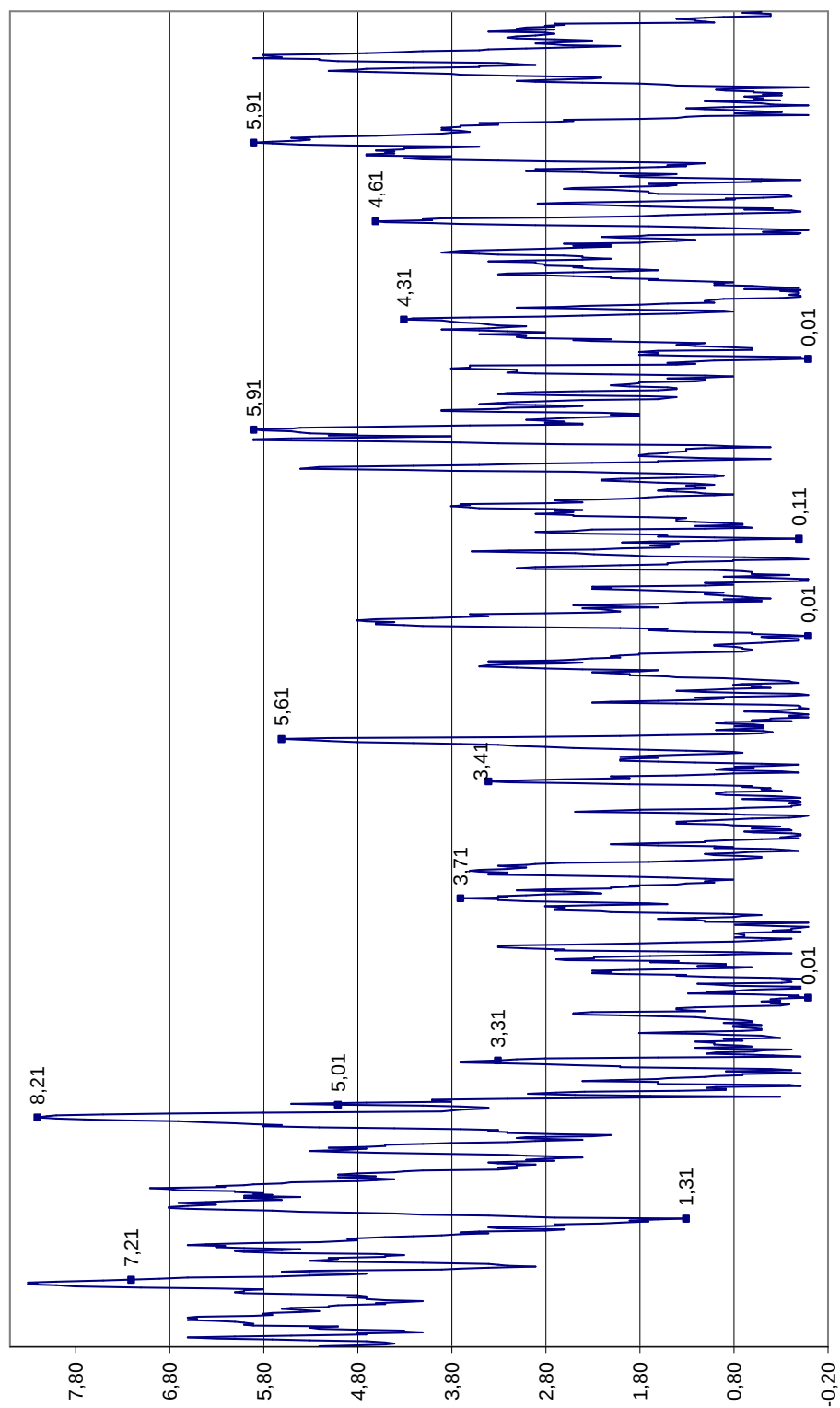
Graf č. 13 – Odchyľky pozice (v m) – GPS s korekciami EGNOS



Graf č. 14 – Odchyľky nadmořské výšky (v m) – GPS s korekcemi EGNOS



Graf č. 15 – Odchyľky pozície (v m) – GPS s korekciami EGNOS



Graf č. 16 – Odchylky nadmořské výšky (v m) – GPS s korekcemi EGNOS

6.2.4. Měření v lese

Při měření v zalesněném prostoru trvalo delší dobu, než se GPS přijímač synchronizoval a zachytil signál od satelitů. Počet satelitů použitých k výpočtu byl nízký, v první fázi měření byly dostupné pouze tři satelity. V dalších minutách byl postupně zachycen signál dalších satelitů a maximálně bylo viditelných 7 satelitů. Nepřístupný terén způsoboval, že signál od satelitů se ztrácel a pozice se vypočítávala často z různého počtu satelitů. Nejčastěji byl výpočet prováděn ze čtyř nebo pěti družic. Několikrát byl dokonce signál od satelitů ztracen úplně a pozice nemohla být určena.

Poté byl přijímač přesunut o pár metrů dál, kde bylo prováděno další měření. I přes zalesněný porost byl po více jak deseti minutách přijat signál EGNOSu. Lokalita zvolená pro měření byla na mírném vyvýšení a byl poskytnut dobrý výhled blízko k horizontu na jižní světovou stranu. To způsobilo zachycení signálu od satelitu poskytující korekce i přesto, že synchronizace trvala poněkud déle oproti měření v zástavbě i ve volném prostoru. Korekce EGNOS poskytly mírné zlepšení v určení pozice, ale pokud by uživatel chtěl zaměřit malou skupinku stromů, nebo dokonce jediný strom, nebylo by to možné.

Na obrázku č. 26 je znázorněna červenou barvou první fáze měření a žlutou barvou je znázorněné měření s korekcemi EGNOS. Je zaznamenaný i přechod z první pozice měření na druhou, červenou spojnici mezi měřeními.



Obr. 26 – Měření v lese

6.3. Srovnání výsledných hodnot

		U vysoké budovy		Zástavba		Volný prostor		
Měření		1	2	3	4	5	6	7
Horizontální poloha	GPS	35,99	-	2,39	6,84	2,16	-	-
	EGNOS	22,89	14,15	2,65	4,53	-	2,16	1,25
Výška	GPS	20,44	-	4,89	4,11	3,11	-	-
	EGNOS	10,29	15,91	5,51	6,44	-	3,11	2,01

Tabulka 12 – Celkový přehled středních hodnot (v metrech)

7 Závěr

Signál GPS ovlivňuje mnoho faktorů. Některé může eliminovat sám uživatel, s některými se bohužel nedá nic udělat. Pokud ovšem používáme navigační systém GPS k navigaci, nemůžeme si například vybírat vhodné místo k měření. O tyto chyby se postará výrobce softwaru pro navigaci, kdy například vhodným algoritmem manipuluje s mapovým podkladem.

V této bakalářské práci bylo hlavním cílem vyvinout program pro zpracování přijatých dat od GPS modulu a poté provést samostatné měření v různých lokalitách. Pro praktické měření, pozorování chování a zjištění přesnosti v určení pozice navigačního systému byla vyvinuta aplikace pro mobilní zařízení a externí modul GPS. Měření poté probíhalo v terénu, v městské zástavbě, v lesním porostu a v zástavbě, kdy se přijímač nacházel blízko u budovy.

Po shromáždění a prozkoumání všech naměřených hodnot bylo zjištěno, že systém GPS je schopen v otevřeném terénu zaměřit naši pozici velmi přesně. Pokud je výhled na oblohu dobrý a jsme v otevřeném prostoru je k dispozici až deset satelitů, ze kterých je vypočítána pozice přijímače. Ve volném prostoru je také velmi pravděpodobné, že se zachytí signál od evropského systému EGNOS, který poskytne další korekce. Z provedeného měření bylo zjištěno, že korekce zpřesní v horizontální i vertikální pozici hodnoty o přibližně 1 metr. Samotný GPS signál poskytuje v otevřeném prostoru přesnost přibližně v průměru 2 metry v poloze a 3 metry ve výšce.

Pokud se přijímač nachází mezi budovami v městské zástavbě, přesnost se samozřejmě zhoršuje. Signál GPS se odráží od budov a dochází k vícecestnému šíření, také je omezený výhled na oblohu. Pozice může být určena i s odchylkou více než deset metrů a pokud jsou nepříznivé podmínky, např. málo viditelných satelitů, může narůst chyba v určení pozice i více. Ani přijaté korekce od systému EGNOS nemusí vždy znamenat zpřesnění pozice,

hlavně pokud probíhá měření ve zhoršených podmínkách, jako je právě městská zástavba. Ve dvou měření byly naměřené střední hodnoty odchylek od správné polohy v horizontální pozici 2 a 7 metrů a ve výšce 4 a 7 metrů. Přijaté korekce při prvním měření dosahovaly stejných hodnot, jako samostatný systém GPS. Při dalším měření zlepšily střední hodnotu přibližně o 1 metr v horizontální pozici. Při měření nadmořské výšky dosáhl horších výsledků přibližně o 2 metry.

Vhodné místo k dalšímu sledování chování GPS systému je měření v městské zástavbě u vysoké budovy. Zde je velmi omezený výhled na oblohu, prakticky je jedna světová strana zastíněná celá. Při mém měření byla nad přijímačem ještě malá terasa, takže byl částečně zakryt i přímý horní pohled na oblohu. GPS přijímač měl k dispozici pouze 4 nebo 5 satelitů pro výpočet přesné pozice. Střední hodnota z naměřených hodnot samotného GPS se vyšplhala až ke 35 metrům v poloze a 20 metrům ve výšce. EGNOS korekce při tomto měření poskytly přesnější hodnoty. V poloze se střední hodnota ze všech naměřených hodnot v prvním měření zlepšila o 10 metrů a poté dosáhl signál ještě větší přesnosti a medián byl roven 15 metrům. Ve výšce korekce zlepšily hodnoty opět o 10 metrů a později došlo k mírnému zhoršení o přibližně 5 metrů navíc. I přesto, že zde korekce zpřesnily výpočet určení polohy, výsledky jsou nepřijatelné. Můžeme říci, že pokud se uživatel GPS ocitne v městské zástavbě, kde budou převážně vyšší budovy, dosáhne stejných hodnot. Určení pozice se stává velmi nepřesné.

Můžeme tedy říci, že systém GPS vykazuje přijatelné hodnoty v otevřeném volném prostoru, kde je schopen určit přibližně správně pozici, pokud by šlo ale o zaměření na centimetry, ke geodetickým nebo biologickým účelům, nebyl by sám schopen poskytnout přesné informace. Při měření bylo sice dosaženo přesných výsledků pod 1 metr, ale pouze v několika hodnotách. Není možné zaměřit jednotlivé stromy v lesním nebo jiném stromovém porostu, kde se systém GPS chová nestabilně.

K přesnějšímu zaměření je potřeba využít komerční služby CZEPOS, nebo jiných DGPS metod. Také profesionální přístroje dokáží přesněji určit pozici, tato bakalářská práce byla zaměřena pouze na přístroje, které jsou dostupné k osobnímu použití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WOESSNER, Michael. *How History of NAVSTAR GPS* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/history.htm>>.

- [2] WOESSNER, Michael. *GPS Satellites* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/satellites.htm>>.

- [3] WOESSNER, Michael. *GPS Satellites Orbits* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/orbits.htm>>.

- [4] WOESSNER, Michael. *Control Segment (Monitor Stations)* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z: <http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm>.

- [5] WOESSNER, Michael. *Position Determination with GPS* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-15]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/positioning.htm>>.

- [6] WOESSNER, Michael. *Position Transmitted GPS signals* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-18]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm>>.

- [7] WOESSNER, Michael. *Sources of Errors in GPS* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-18]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>>.

- [8] WOESSNER, Michael. *Achievable Accuracy* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-22]. Dostupné z: <<http://www.kowoma.de/en/gps/accuracy.htm>>.
- [9] ŠUNKEVIČ, Martin. *Americký družicový navigační systém NAVSTAR GPS* [online]. 9.1.2007 [cit. 2009-11-14]. Dostupné z: <<http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/GPS>>.
- [10] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy* [online]. VŠB – TU, Ostrava, 2002 [cit. 2009-11-17]. ISBN 80-248-0124-8. 200 stran, Dostupné z: <<http://gis.vsb.cz/dokumenty/ugis>>.
- [11] WADE, Mark. *Timation* [online]. c1997-2008, poslední revize 31.8.2008 [cit. 2009-11-20]. Dostupné z: <<http://www.astronautix.com/craft/timation.htm>>.
- [12] WOESSNER, Michael. *User Segment (GPS-Receiver)* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z: <http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm>.
- [13] ČERNÁK, Pavel. *Struktura signálu GPS* [online]. 12.7.2007 [cit. 2009-11-19]. Dostupné z: <<http://www.path.cz/forum/viewtopic.php?f=4&t=21>>.
- [14] ČERNÁK, Pavel. *Zdroje chyb měření v systému GPS* [online]. 10.7.2007 [cit. 2009-11-22]. Dostupné z: <<http://www.path.cz/forum/viewtopic.php?f=4&t=20>>.
- [15] KOSTELECKÝ, Jan. *Princip zpracování měření GPS* [online]. 19.9.2007 [cit. 2009-11-24]. Dostupné z:

<<http://gama.fsv.cvut.cz/~k152/navody/VYG1/VYG1%2802%29.pdf>>.

- [16] LEAPSECOND. *GPS, UTC, and TAI Clocks* [online]. 7.1.2002 [cit. 2009-12-11]. Dostupné z: <<http://leapsecond.com/java/gpsclock.htm>>.
- [17] ČERNÁK, Pavel. *GPS a geodetický systém WGS 84* [online]. 9.7.2007 [cit. 2009-12-11]. Dostupné z: <<http://www.path.cz/forum/viewtopic.php?f=4&t=19>>.
- [18] European Space Agency. *EGNOS deployment* [online]. 17.7.2007 [cit. 2009-12-12]. Dostupné z: <http://www.esa.int/esaNA/SEMKMQWO4HD_egn0s_0.html>.
- [19] KOSTAS, Dragunas. *EGNOS Software Receiver* [online]. 4.1.2005 [cit. 2009-12-12]. Dostupné z: <<http://kom.aau.dk/~usman/EGNOSSoftwareReceiver.pdf>>.
- [20] Zeměměřický úřad. *CZEPOS* [online]. c2005-2006 [cit. 2009-12-12]. Dostupné z: <<http://czepos.cuzk.cz/>>.

- [21] NMEA. *NMEA 0183 Standard* [online]. c2008 [cit. 2009-12-12]. Dostupné z:
<http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp>.
- [22] BETKE, Klaus. *NMEA 0183 Standard* [online]. 2000, poslední revize 4.8.2001 [cit. 2009-12-12]. Dostupné z:
<<http://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>>.
- [23] MAREK, Josef, ŠTĚPÁNEK, Ladislav. *Přesnost satelitního navigačního systému GPS a jeho dostupnost v kritických podmínkách*. Perner's Contacts [online]. 2009, roč. čtvrtý, č. 3 [cit. 2010-01-29]. Dostupný z WWW: <<http://pernerscontacts.upce.cz/>>. ISSN 1801-674X.
- [24] PURICER, Pavel. *Stav a budoucnost družicové navigace na přelomu tisíciletí. Zeměměřič* [online]. 2000, č. 3 [cit. 2010-01-31]. Dostupný z WWW: <http://www.zememeric.cz/3-00/sat_navig.html>.
- [25] VAN DER MAREL, H. *US ruší záměrné degradování GPS: Nezávislé GPS určování polohy se desetinásobně zpřesňuje. Zeměměřič* [online]. 2001, č. 1+2 [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.zememeric.cz/default.php?1+2-01/sa.html>>.
- [26] GPS do ruky: *SLOVNÍČEK POJMŮ* [online]. 2009 [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW:
<<http://www.cgg.cvut.cz/members/cadikm/school/nm/slovník.html>>

- [27] Kowoma. *GPS-Monitor* [online]. 2009 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW:
<<http://www.kowoma.de/gps/gpsmonitor/gpsmonitor.php>>.
- [28] VERHOEF, Paul. *EGNOS Service Definition Document - Open Service* [online]. 1.10.2009 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW:
<http://ec.europa.eu/transport/egnosc/programme/doc/2009_egnosc_dd_os_v1.pdf>.
- [29] European Space Agency. *EGNOS brochure from ESA* [online]. 2009 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW:
<http://ec.europa.eu/transport/galileo/publications/doc/2009_esa_brochure_egnosc.pdf>. ISBN 978-92-9221-012-0. ISSN 0250-1589.
- [30] European Space Agency. *High Precision, Low Cost* [online]. 10.7.2009 [cit. 2010-02-06]. Dostupný z WWW:
<http://ec.europa.eu/transport/egnosc/publications/doc/egnosc_agriculture.pdf>.
- [31] WILSON, David L. *GPS WAAS ACCURACY* [online]. 1.7.2001 [cit. 2010-02-07]. Dostupný z WWW:
<<http://users.erols.com/dlwilson/gpswaas.htm>>.
- [32] VILÍMKOVÁ, Miluše. *Testování sítě CZEPOS*. [s.l.], 2006. 91 s. České vysoké učení technické v Praze . Vedoucí diplomové práce prof. Ing. J. Kostecký, Dr.Sc. . Dostupný z WWW: <http://czeapos.cuzk.cz/os_postup_podrobne.pdf>.

- [33] JANDA, Karol. *Informace o službách a produktech* [online]. 2005-2010 [cit. 2010-02-07]. Dostupný z WWW: <http://czepos.cuzk.cz/_servicesProducts.aspx>.
- [34] ŠUNKEVIČ, Martin. *Služby systému Galileo* [online]. 29.11.2006 [cit. 2010-02-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechspace.cz/cs/galileo/technologie/sluzby>>.
- [35] Medián In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , 13.3.2010 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Medián>>.
- [36] JANDA, Karol. *ZÚ* [online]. 2003-2007 [cit. 2010-03-29]. Databáze bodových polí. Dostupné z WWW: <http://bodovapole.cuzk.cz/_mapTop.aspx>.
- [37] *The Guide to Geographic Information Systems* [online]. 1995-2010 [cit. 2009-11-06]. GIS.com. Dostupné z WWW: <<http://www.gis.com/>>.
- [38] NASA SpaceFlight.com Forum. *Delta II - GPS-IIR - August 17, 2009* [online]. 8.10.2009 [cit. 2009-11-14]. Dostupné z WWW: <<http://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=18279.%25d>>.

PŘÍLOHY

[1] CD s následujícím obsahem

- a. Zdrojové kódy aplikace
- b. Soubory s naměřenými výsledky z každého měření
 - i. Měření 1 až 7
- c. Mapové podklady znázorňující měření
- d. Příručka k programu