



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

DIFERENCIÁLNÍ GPS

DIFFERENTIAL GPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ MADRON

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LUDĚK ŽALUD, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Tomáš Madron

ID: 85246

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Diferenciální GPS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte systém pro diferenciální GPS s využitím předložených přijímačů. Navrhněte vhodný bezdrátový přenosový kanál s ohledem na požadovanou latenci, datovou propustnost a dosah. Navržený systém prakticky realizujte a ověřte jeho funkčnost a vlastnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému diferenciální GPS. V úvodní části jsou popsány základní principy satelitní navigace, struktura GNSS systémů a jejich srovnání. Dále jsou v textu uvedeny systémy pro určení přesnější polohy objektu na Zemi využívající se jak ve světě, tak i na území ČR. Následuje vysvětlení principu diferenciálního GPS systému.

Realizace vlastního DGPS systému spočívá ve volbě vhodných přijímačů GPS signálu a radiových modemů pro bezdrátový přenos korekčních dat mezi těmito přijímači. Pokračováním je tvorba programu pro lokalizaci polohy měřeného objektu, kterým může být například mobilní robot.

Na závěr byl tento systém testován v reálných podmínkách, kde z naměřených dat byly určeny jeho vlastnosti a ověřena jeho funkčnost. Tato změřená data nám lépe řeknou něco o vhodnosti navrženého systému k navigaci mobilního robotu ve venkovním prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

GNSS, GPS, DGPS, UTM, WGS-84, EGNOS, WASS, NMEA, referenční stanice, vzdálená stanice

ABSTRACT

This master's thesis describes the design of differential GPS system. The introductory section describes the basic principles of satellite navigation, the structure of GNSS systems and their comparison. Furthermore, the text sets out systems for more accurate determination of object location on Earth that are used both in the world and in the Czech Republic. Finally, there is an explanation of the principle of differential GPS system.

The realization of own DGPS system consists of choosing the appropriate GPS signal receivers and radio modems for wireless data correction between these receivers. Continuation is the program formation for the position localization of the measured object, which may be a mobile robot.

Finally, this system has been tested in real conditions, where the measured data were determined by its properties and its functionality was verified. The measured data enlighten something more about the suitability of a proposed system to navigate a mobile robot in an outdoor setting.

KEYWORDS

GNSS, GPS, DGPS, UTM, WGS-84, EGNOS, WASS, NMEA, base station, remote station

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MADRON, T. Diferenciální GPS. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009, 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Diferenciální GPS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **25. května 2009**

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Lud'ku Žaludovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **25. května 2009**

.....
podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. SATELITNÍ NAVIGACE	13
2.1 Princip družicové navigace [1]	13
2.1.1 Úhломěrné systémy	13
2.1.2 Dopplerovské systémy.....	13
2.1.3 Dálkoměrné systémy	14
2.1.4 Interferometrické systémy	15
2.1.5 Interferometrické měření fáze na nosné frekvence.....	15
2.2 Struktura a funkce GNSS [2]	15
2.3 Současné a připravované systémy GNSS [2].....	16
2.3.1 GPS – NAVSTAR.....	16
2.3.2 Další systémy GNSS	23
2.4 Porovnání dosavadních a připravovaných GNSS	23
3. ZPŘESŇOVÁNÍ SYSTÉMŮ GPS VE SVĚTĚ	24
3.1 EGNOS [2].....	25
3.2 WASS	28
3.3 Další zpřesňující systémy.....	28
4. ZPŘESŇUJÍCÍ SYSTÉMY NA UZEMÍ ČR.....	29
4.1 CZEPOS [7]	29
4.1.1 Služby sítě CZEPOS [8]	30
4.1.2 Služby pro aplikace v reálném čase [9]	30
4.1.3 Služby pro postprocessingové aplikace [10].....	31
4.2 TopNET [11].....	32
4.2.1 Historie	32
4.2.2 Popis sítě.....	33
4.2.3 Kompatibilita s CZEPOS.....	33
4.2.4 Získání dat	33
5. DIFERENCIÁLNÍ GPS [1][2]	35
6. SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY ZEMĚ.....	38
6.1 WGS-84 [12].....	38

6.2 UTM [13]	38
7. POUŽITÉ PŘÍSTROJE PRO REALIZACI DGPS	39
7.1 Přijímač GPS signálu	40
7.1.1 Technické parametry	40
7.2 GPS moduly – konečná podoba	41
7.3 Externí antény	42
7.4 Radiové komunikační moduly	43
8. PROGRAM PRO DGPS	45
8.1 Programování – vývojové prostředí	45
8.2 Komunikační protokol NMEA	45
8.3 Transformace systému WGS-84 na UTM	46
8.4 Popis a ovládání programu	46
8.4.1 Záložky	46
8.4.2 Mapa se zadanými body	52
8.4.3 Přenášená data	54
9. TESTOVÁNÍ SYSTÉMU	55
9.1 Laserový měřič vzdálenosti	56
9.2 Přesnost DGPS v relativních souřadnicích	57
9.3 Přesnost DGPS v absolutních souřadnicích	62
9.4 Zkouška dynamického režimu	64
10. ZÁVĚR	66
11. SEZNAM LITERATURY	68
12. SEZNAM ZKRATEK	70
13. SEZNAM PŘÍLOH	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Konstelace satelitů [20]	18
Obrázek 2.2 Řídící segment GPS [2]	19
Obrázek 2.3 Schéma GPS přijímače [2]	20
Obrázek 2.4 Antény GPS přijímačů [2]	21
Obrázek 3.1 Místa určení zpřesňujících systémů [3]	24
Obrázek 3.2 Rozmístění stanic EGNOS [4]	27
Obrázek 4.1 Síť permanentních stanic CZEPOS [7]	30
Obrázek 4.2 Síť permanentních stanic TopNET [11]	32
Obrázek 7.1 Schématické znázornění principu vlastního DGPS	39
Obrázek 7.2 DPS DG14 od výrobce Magellan [15]	40
Obrázek 7.3 DGPS stanice	42
Obrázek 7.4 Externí antény pro příjem GPS signálu	42
Obrázek 7.5 Radiové modemy Elpro 805U	44
Obrázek 7.6 Demonstrační deska RC1xx0/RC2xx0 [16]	44
Obrázek 8.1 Okno programu po spuštění	47
Obrázek 8.2 Záložka Write	47
Obrázek 8.3 Záložka Base	49
Obrázek 8.4 Záložka Remote	49
Obrázek 8.5 Záložka Position	50
Obrázek 8.6 Záložka Waypoints	51
Obrázek 8.7 Záložka NMEA	52
Obrázek 8.8 Jednoduchá mapa s waypointy	53
Obrázek 8.9 Celkový pohled na okno programu (nastavení, mapa, data)	54
Obrázek 9.1 Náhled na praktickou realizaci DGPS systému	55
Obrázek 9.2 Laserový měřič vzdálenosti DISTO A5	57
Obrázek 9.3 Grafické znázornění měřených bodů	59
Obrázek 9.4 Relativní přesnost DGPS	61
Obrázek 9.5 Porovnání absolutní přesnosti DGPS a samotného GPS přijímače	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Složky GPS satelitního signálu [2]	19
Tabulka 2.2 Parametry současných a připravovaných GNSS [2]	23
Tabulka 7.1 Technické parametry DG14 od výrobce Magellan [14]	40
Tabulka 7.2 Technické parametry DG14 [14]	41
Tabulka 8.1 Dynamické režimy [14]	48
Tabulka 9.1 Určení maximální chyby při měření DGPS	60

1. ÚVOD

Globální družicový navigační systém (GNSS) již dnes poskytuje a do budoucna se předpokládá, že bude ještě ve větší míře poskytovat soubory služeb sloužící k určování polohy kdekoli na Zemi, navigaci např. mobilních robotů, časoměrné služby a mnoho dalších. Přínosy této technologie můžeme vidět ve využívání amerického globálního systému určování polohy GPS. V současné době jsou s obrovským rozmachem vyvíjeny aplikace, které zahrnují snad všechny oblasti života a odvětví celosvětového průmyslu.

Určení polohy pouze pomocí samotného GPS je s přesností pouze několika metrů. Proto se zavádějí metody pro zlepšení přesnosti pozice GPS přijímače. Jednou z možností je využití metody diferenciální GPS zkr. DGPS (Differential Global Positioning System). Měření polohy touto metodou je možné provádět v reálném čase s vysokou přesností. DGPS ve svém principu vycházejí z kódových měření, pro které je třeba minimálně dvou GPS přijímačů. Pro jeden z nich se zavedlo označení tzv. referenční stanice. V textu budeme nazývat tuto stanici i jako *base station*. Tato *base station* je umístěna v místech, kde známe přesné souřadnice bodu, kde se stanice nachází. Jako v případě relativních metod se mohou zavádět korekce, které zpřesní polohu měřených objektů (mobilního robota).

Získávat diferenční korekce je možné i s využitím systémů WASS a EGNOS. Systémem diferenciálních korekcí dostupných pouze v Evropě je EGNOS, systém WASS je provozován pouze v Severní Americe. Pokud přijímáme signál EGNOS/WASS není zde potřeba dvou přijímačů.

Na území ČR se nacházejí pozemní referenční stanice, které rovněž poskytují korekce. Pro příjem těchto signálů musíte být registrovaný uživatel daného poskytovatele. Podrobnější informace o těchto systémech budou poskytnuty v dalších částech této práce.

Náplní této práce je praktická realizace systému DGPS a následné testování ve venkovním prostředí. Realizace spočívala v nalezení vhodných přijímačů GPS, dále nalezení vhodných bezdrátových komunikačních modulů pro vzájemný přenos korekcí mezi přijímači GPS.

Největší část návrhu vlastního DGPS systému pojala tvorba softwaru, jenž zpracovává a vyhodnocuje data. Předpokládám, že tento systém DGPS bude implementován na mobilní robot a bude součástí jeho uceleného navigačního systému (DGPS, akcelerometr, ultrazvuk, gyroskop, magnetometr, aj. snímače mobilních robotů).

Na závěr si popíšeme ovládání navrženého programu a zhodnotíme dosažené výsledky.

2. SATELITNÍ NAVIGACE

Družicové navigační systémy patří k tzv. globálním systémům, tj. systémům, které s několika málo majáky umožňují určovat polohu kdekoli na Zemi. Hlavní předností globálních navigačních systémů je, že určují polohu v souřadném systému, který je společný pro celou zeměkouli, a tedy umožňují globálně koordinovat změnu polohy všech objektů vybavených příslušným navigačním zařízením. [1]

2.1 PRINCIP DRUŽICOVÉ NAVIGACE [1]

Při určování polohy zpracováním signálů se používají následující metody:

- metoda úhломěrná
- metoda dopplerovská
- metoda dálkoměrná
- metoda založená na měření fáze nosné frekvence
- metoda interferometrická

2.1.1 Úhломěrné systémy

Z objektu, jehož polohu je třeba určit, zaměřujeme družici a určujeme její elevační úhel. Geometrickým místem bodů s tímto úhlem je kužel s vrcholem v místě družice. Provedeme-li další měření ke stejné (v jiném čase) nebo jiné družici určíme jiný kužel. Průsečnice kuželů s povrchem Země, příp. výškovou hladinou v níž se objekt nachází, se protínají v bodě, v níž se objekt nachází. Určením těchto průsečíků určíme polohu objektu.

2.1.2 Dopplerovské systémy

Družice pohybující se po oběžné dráze vysílá signál mající stabilní kmitočet f_v . Signál přenáší časové značky vysílané v okamžicích $t_i, t_{i+1}, t_{i+2}, \dots$ a vzdálené o časový interval $T = t_{i+1} - t_i$. Signál přijímaný uživatelem má v důsledku Dopplerova jevu kmitočet f_p , který se liší od f_v . Přijímaný signál je spolu se signálem oscilátoru s kmitočtem f_0 veden do směšovače. Výstupní signál směšovače má rozdílový

kmitočet $f_0 - f_p$. Jeho periody počítá čítač, který je spouštěn a zastavován po sobě následujícími přijatými časovými značkami.

Vzdálenost družice – uživatel se však mezi dvěma časovými okamžiky změní z hodnoty d_i na hodnotu d_{i+1} . Časová značka je uživatelem přijata v okamžiku $t_i + \Delta_i$, kde $\Delta_i = d_i/c$ je doba potřebná k tomu, aby signál urazil vzdálenost d_i družice – uživatel, c je rychlost šíření signálu. Čítač čítající periody signálu s rozdílovým kmitočtem vlastně měří změnu fáze signálu mezi dvěma přijatými časovými značkami, tj. měří

$$N_i = \int_{t_i + \Delta_i}^{t_{i+1} + \Delta_{i+1}} (f_0 - f_p) dt = Tf_0 + (d_{i+1} - d_i) \frac{f_0}{c} - Tf_v \quad (2.1)$$

Uvažovali jsme při tom, že počet period signálu vyslaného mezi dvěma sousedními časovými značkami je roven počtu period signálu přijatého mezi sousedními časovými značkami tj.

$$f_v(t_{i+1} - t_i) = f_p[t_{i+1} + \Delta_{i+1} - (t_i + \Delta_i)] = f_v T \quad (2.2)$$

Označíme-li $F = f_v - f_p$, souřadnice družice v okamžiku t_i jako (x_i, y_i, z_i) a souřadnice uživatele (x, y, z) , dostaneme

$$N_i = TF + \frac{f_0}{c} \left[\sqrt{(x_{i+1} - x)^2 + (y_{i+1} - y)^2 + (z_{i+1} - z)^2} - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \right] \quad (2.3)$$

Provedeme-li alespoň tři měření N_i, N_{i+1}, N_{i+2} a známe-li souřadnice družice v okamžicích t_i, t_{i+1}, t_{i+2} můžeme řešit soustavu tří rovnic o třech neznámých, kterými jsou souřadnice uživatele (x, y, z) . Poloha družice se určí z parametrů její dráhy, které ovšem musí družice vysílat.

2.1.3 Dálkoměrné systémy

Systémy určují polohu uživatele z jeho vzdálenosti d od jednotlivých navigačních družic. Měření vzdáleností je převedeno na měření dob τ_{d_i} , které jsou potřebné k tomu, aby signály vysílané z družic dosáhly uživateleova přijímače. Známe-li souřadnice družic (x_i, y_i, z_i) , můžeme polohu uživatele (x, y, z) určit jako řešení soustavy tří rovnic pro tři neznámé.

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = \tau_{d_i} c \quad i = 1, 2, 3. \quad (2.4)$$

2.1.4 Interferometrické systémy

Tyto systémy se někdy také nazývají jako diferenciální. Přijímač má dvě antény umístěné na společné základně a vzdálené od sebe d . Měříme první anténou zdánlivou vzdálenost D_{1i} k i -té družici a současně druhou anténou zdánlivou vzdálenost D_{2i} ke stejné družici. Potom lze určit úhel, který svírá základna se spojnicí střed základny – družice

$$\nu_i = \arccos\left(\frac{D_{2i} - D_{1i}}{d}\right) \quad (2.5)$$

Pomocí tří takto stanovených úhlů a polohy družic lze určit orientaci základny v prostoru.

2.1.5 Interferometrické měření fáze na nosné frekvence

Přijímač měří rozdíly fází nosné vlny signálu přijímaných od jedné družice dvěma anténami umístěnými na základně dlouhé d . Jde v podstatě o metodu stejnou jako v předchozím případě, avšak měříme jinou veličinu. Celý počet n period nosné musíme určit jinou metodou, kterou měření inicializujeme. Úhel, který svírá základna se směrem družic je

$$\nu_i = \arccos\left(\frac{\lambda}{d} \left(n + \frac{\Delta\varphi}{360}\right)\right) \quad (2.6)$$

Měření se vyznačuje značnou přesností, protože jednak eliminuje chyby způsobené družicí a šířením signálu (obě antény měří ke stejné družici, chyby na obou anténách se uplatňují stejně a vyruší se), jednak na krátkých vlnových délkách odpovídá malé změně vzdáleností velká změna fáze nosné, kterou lze pak změřit.

2.2 STRUKTURA A FUNKCE GNSS [2]

Globální navigační satelitní systém je obecný název zahrnující systémy GPS, GLONASS, GALILEO a další podobné systémy, sloužící k určování polohy bodů na Zemi. Závaznou zkratkou pro tento název je GNSS (*Global Navigation Satellite System*). *Globální* označuje, že tento systém je použitelný v každém čase a jakémkoliv místě na zeměkouli. Je nezávislý na počasí, noční či denní době nebo

zda je přijímač v klidu či pohybu. *Navigační* určuje zeměpisnou orientaci na Zemi a *satelitní* napovídá, že se jedná o systém využívající umělé družice Země.

Struktura všech stávajících i připravovaných systémů pracuje na stejném principu a liší se jen v detailech. Tuto strukturu lze tedy všeobecně rozdělit do třech základních skupin:

- 1) ŘÍDÍCÍ SEGMENT
- 2) KOSMICKÝ SEGMENT
- 3) UŽIVATELSKÝ SEGMENT

GNSS umožňuje:

- navigaci na zemském povrchu, na moři i ve vzduchu
- přenášení přesného času
- určení parametrů rotace Země (EOP)
- určování 3D polohy, rychlosti a přesného času na Zemi a v její blízkosti
- zjišťování údajů o zemské atmosféře (meteorologie) aj.

GNSS technologie měření je dnes již samozřejmostí pro mnoho oborů lidské činnosti. Náklady na pořízení GPS přijímače jsou v dnešní době velice nízké. Tato technologie oproti ostatním geodetickým metodám je velice levná a rychlá a pomocí dalších systémů pro zpřesnění polohy i velice přesná. Výhodou je, že není potřeba vzájemné viditelnosti bodů (terestrická a úhlová měření).

2.3 SOUČASNÉ A PŘIPRAVOVANÉ SYSTÉMY GNSS [2]

V této kapitole bude podrobněji popsán systém GPS-NAVSTAR a dále uvedeny některé další systémy GNSS ve světě.

2.3.1 GPS – NAVSTAR

Americký vojenský navigační systém označovaný zkr. *GPS* (Global Positioning System) uváděný v literatuře též pod názvem *NAVSTAR* (Navigation Signal Timing and Ranging) tj. navigační systém využívající měření času a vzdáleností byl budován v letech 1974 – 1995. Jeho první družice byla vypuštěna v roce 1978, systém byl deklarován jako plně funkční 17.7. 1995.

Systém pracuje na principu jednosměrného dálkoměru. Měřenou veličinou je doba šíření signálu z družicové antény k přijímací anténě, zjišťována pomocí kódové nebo fázové informace. Vzdálenost mezi družicí a anténou je označována jako tzv. pseudovzdálenost. Tento radionavigační systém umožňuje určit polohu přijímače ve 3D souřadnicích a současně určit i jeho rychlost vztaženou k zemskému povrchu v reálném čase kdykoliv a kdekoliv na zemské kouli a v její blízkosti. Další údaj, který nám může GPS poskytnout je přesný UTC čas. Jedná se o vojenský systém, proto je odolný vůči rušení a umožňuje funkci znesnadnění přístupu neoprávněným uživatelům, kteří by chtěli tento systém zneužít.

Základním způsobem měření je určování pseudovzdáleností. V tomto případě se využívá celého systému a měření se uskutečňuje v reálném čase. Existují i metody, které jsou nezávislé na celém systému, a které poskytují podstatně vyšší přesnost než umožňuje základní způsob měření. Vyhodnocení dat a výpočet polohy se provádí až po skončení měření. Může se pracovat i v reálném čase, ale to vyžaduje další hardwarové doplňky.

Přesnost měření je závislá na mnoha faktorech:

- umělé ovlivňování kvality signálu (SA, AS)
- chyby související s družicemi (hardware, dráhy, hodiny)
- chyby při šíření signálu atmosférou (vliv ionosféry, troposféry)
- chyby související s místem a postavením antény (multipath, centrace a odměření výšky antény).

2.3.1.1 KOSMICKÝ SEGMENT

Aktivní družice systému GPS jsou umístěny na šesti rovnoměrně rozložených drahách jejichž rektascenze výstupních uzlů se liší o 60°. Dráhy družic jsou kruhové s nominální výškou 20 183 km a mají sklon k rovníku 55°. Oběžná doba družic je 12 hvězdných hodin, tudíž konstelace družic se opakuje pro dané stanoviště jednou za den. Vzhledem k času UTC se družice urychlují o přibližně čtyři minuty za den.

Konstelace družic zajišťuje všude na Zemi v každém okamžiku pokrytí 4 a 8 družicemi se elevací nad 15°. Další družice jsou na oběžných drahách v záloze, aby mohly případně nahradit poškozené nefunkční družice. Vypuštění další družice na

oběžnou dráhu se předpokládá pouze v případě, že by přestaly fungovat více jak tři družice. Rozmístění družic je na obrázku 2.1.

Každá družice je vybavena přijímačem, vysílačem, atomovými hodinami, procesorovou jednotkou, zdroji elektrické energie a řadou přístrojů, které slouží pro navigaci nebo jiné vojenské účely (např. pro detekci výbuchů jaderných náloží aj.) Konstrukce družic prošla vývojem, postupně se vypouštěly družice bloků I, II, IIA, IIR, IIR-M. Posledním vývojovým typem je družice IIF s novou frekvencí L_5 , připravován je typ III (po r. 2012).



Obrázek 2.1 Konstelace satelitů [20]

Družice přijímá, zpracovává a uchovává informace předávané prostřednictvím pozemních antén (GA). Sleduje stav vlastních systémů, koriguje svoji dráhu raketovými motorky a podává o těchto skutečnostech informaci do hlavního centra. Družice je vybavena záložními prvky. Stabilizaci a uchování družice na dráze se zajišťuje prostřednictvím setrvačníků.

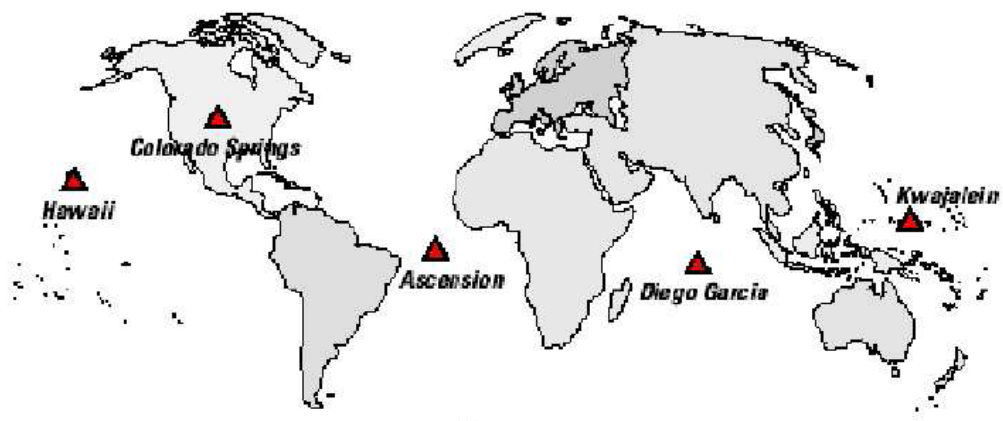
GPS družice vysílají pro uživatele složitý signál, který je tvořen řadou koherentních kmitočtů viz tabulka 2.1. Každá družice vysílá zprávy o své poloze a přibližné poloze ostatních družic systému. Přesný čas a přesné kmitočty vysílaných frekvencí zajišťují cesiové, rubidiové nebo vodíkové oscilátory. Stabilita těchto oscilátorů je $1 \cdot 10^{-11}$ až $1 \cdot 10^{-13}$ za 24 hodin.

Složka	Frekvence [Mhz]
základní frekvence	$f_0 = 10,23$
nosná vlna L1	$f_1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42$ ($\lambda_1 \sim 19,0$ cm)
nosná vlna L2	$f_2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60$ ($\lambda_1 \sim 24,4$ cm)
P – kód	$f_0 = 10,23$
C/A – kód	$f_0/10 = 1,023$
navigační zpráva	$f_0/204600 = 50 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 2.1 Složky GPS satelitního signálu [2]

2.3.1.2 ŘÍDÍCÍ SEGMENT

Monitoruje funkce družice a získané údaje předává v navigační zprávě do paměti družic. Operační systém (OCS – Operational Control System) se skládá z jedné hlavní řídicí stanice, z pěti monitorovacích a tří pozemních řídicích stanic. Monitorovací stanice jsou vybaveny přesnými časovými normály a přijímači P kódu a vytvářejí síť pro určování palubních efemerid a pro modelování chodu družicových hodin. Monitorovací stanice neustále přijímají signály ze všech družic systému. Tyto uchovávají a předávají do hlavní stanice MCS. Monitorovací stanice (Δ) jsou na: Hawaii (Tichý oceán), Ascension Island (jižní Atlantik), Diego Garcia (Čakogské ostrovy v Indickém oceánu), Kwajalein (Maršallovo souostroví v Tichém oceánu) a Colorado Springs v USA viz obrázek 2.2.

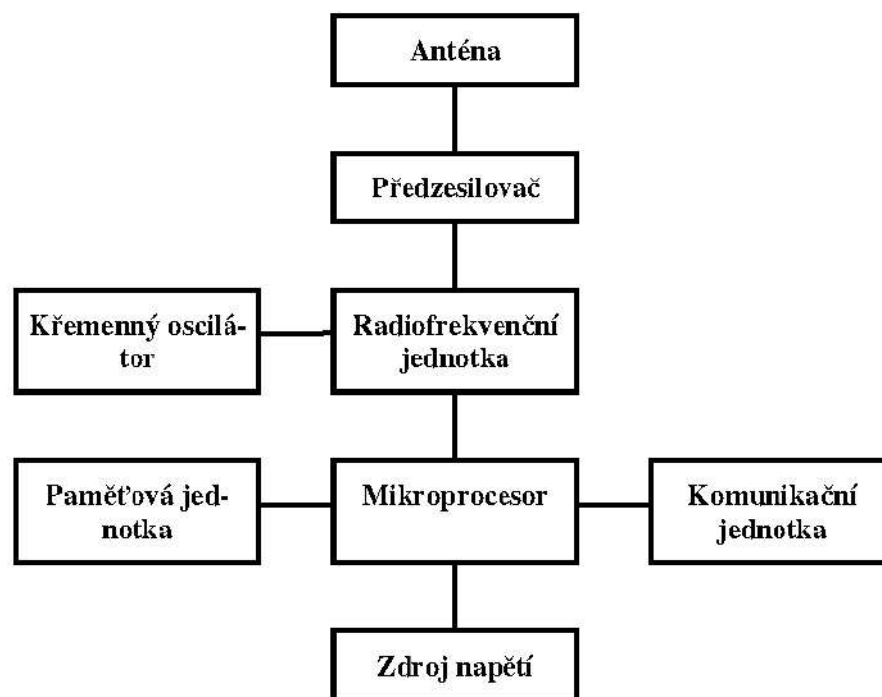


Obrázek 2.2 Řídicí segment GPS [2]

2.3.1.3 UŽIVATELSKÝ SEGMENT

Pro příjem a zpracování GPS signálů byly vyvinuty speciální přijímače. V současné době existuje mnoho typů komerčních přijímačů. Podle využití se rozlišují přijímače:

- navigační (vojenské i civilní)
- geodetické
- přijímače pro časovou synchronizaci

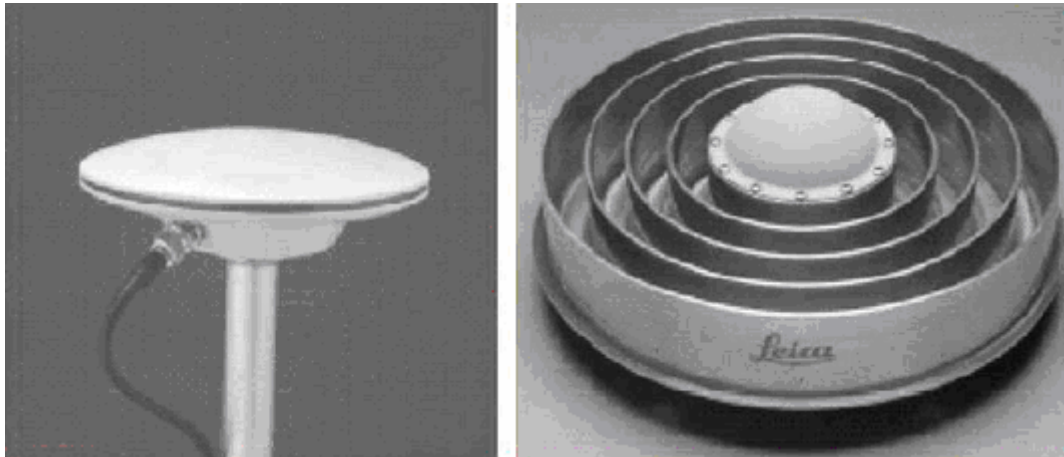


Obrázek 2.3 Schéma GPS přijímače [2]

Přijímač GPS je tvořen anténou, radiofrekvenční jednotkou, mikroprocesorem, komunikační jednotkou, pamětí a zdrojem napětí. Hlavní částí je radiofrekvenční sekce (RF). Blokové schéma je na obrázku 2.3.

Důležitou součástí přijímače je **anténa**. Musí umožňovat příjem signálu ze všech směrů viditelné části oblohy. Je třeba odstínit odrazy, ke kterým může dojít během cesty signálu od družice k anténě. Odrazy většinou nastávají v blízkosti přijímače. Tento jev se označuje jako **multipath** a je částečně eliminován spodním krycím talířem antény. Po odstranění multipath efektu se využívá polarizace signálu. Zatímco přímý signál GPS je pravotočivě polarizovaná vlna, odražený signál je

polarizován levotočivě. Moderní antény dokáží tento vliv podstatně redukovat. Některé geodetické antény jsou opatřeny soustavou prstenců (choke-ring), které zamezují příjmu odražených vln v blízkosti antény.



Obrázek 2.4 Antény GPS přijímačů [2]

Přijímače lze klasifikovat podle zpracování naměřených údajů:

- 1) Přijímače založené na **bezkódových metodách** (tzv. squaring). Přijatý signál se násobí se sebou samým, čímž je odstraněna modulace $\pm \pi$. Výsledkem je nemodulovaná vlna s poloviční periodou. Z této se odvodí sinový signál, který má poloviční vlnovou délku, než měl původní signál. V tomto případě se ztrácí informace o polubních efemeridách.
- 2) Přijímače využívající **korelační techniky**. Přijímač musí mít možnost vytvořit kopii PRN kódu (C/A nebo P kód). Tato kopie se porovnává s přijatým družicovým signálem. Hledá se stav, kdy korelace obou signálů se rovná jedné. V okamžiku korelace je znám jak údaj družicových hodin (t^D – je zakódován do signálu), tak údaj hodin v přijímači (t_p). Z rozdílu časů lze vypočítat vzdálenost mezi přijímačem a družicí (tzv. pseudovzdálenost). V dalším kroku se odstraní z přijatého signálu PRN kód a dekóduje se navigační zpráva. Tato je eliminována ze signálu pomocí vysokofrekvenčního filtru. Výsledkem těchto operací je pseudovzdálenost, modulovaný, dopplerovsky posunutý družicový signál, který lze využít při fázovém měření.

- 3) Přijímače využívající **fázových měření**. Fázová měření jsou založena na zpracování dopplerovsky posunuté nosné vlny. Tato se získá buď technikou demodulace kódu s použitím korelace mezi přijatým signálem a jeho kopií generovanou v přijímači nebo kvadrátováním u bezkódových měření.

Přijímače lze také rozdělit podle počtu přijímaných frekvencí. Přijímače **jednofrekvenční** přijímají signály pouze na nosné frekvenci L_1 . Přijímače **dvoufrekvenční** přijímají signály na obou frekvencích (L_1 a L_2). Příjem obou nosných frekvencí umožňuje eliminovat systematické vlivy ionosféry. Dvoufrekvenční přijímače lze používat třeba pro měření dlouhých vektorů.

Každý přijímač má určitý počet tzv. **přijímacích kanálů** (doplněných příslušným hardwarem), které umožňují příjem a odlišení signálů z různých družic. Přijatý signál přijímač zpravidla rozlišuje pomocí C/A kódu, který je pro každou družici charakteristický. Přijímaný signál se využije buď pro kódová nebo fázová měření. Většina přijímačů konstruovaných pro geodetické účely je vybavena více přijímacími kanály, z nichž každý permanentně přijímá signály ze zvolené družice. Současné geodetické GPS přijímače mají obvykle 12 kanálů. GPS + GLONASS přijímače 20 a více kanálů.

Jsou tři druhy přijímacích kanálů:

- a) **Kódový korelační kanál** umožňuje měřit pseudovzdálenost (využívá C/A nebo P kód) a umožňuje dekodování zprávy.
- b) **Kódový fázový kanál** umožňuje měřit zlomky fází nosných vln (L_1 a L_2) zvolené družice a umožňuje dekodování navigační zprávy.
- c) **Násobný korelační kanál** umožňuje měřit zlomky fází na nosných vlnách současně z několika družic. Příjem signálů se neustále přepíná z jedné družice na druhou. Rychlost přepínání umožňuje jejich využití pro kinematické měření a pro měření v reálném čase.

2.3.2 Další systémy GNSS

Zde si uvedeme pouze stručný přehled několika dalších GNSS systémů.

- GLONASS – ruský vojenský radionavigační systém
- GALILEO – evropský civilní satelitní navigační systém
- BEIDOU (COMPASS) – čínský satelitní navigační systém
- DORIS – francouzský satelitní navigační systém

2.4 POROVNÁNÍ DOSAVADNÍCH A PŘIPRAVOVANÝCH GNSS

Tabulka 2.2 udává plánované charakteristiky současných a připravovaných GNSS. Plně funkční je od roku 1993 systém GPS. Systém GLONASS nebyl zatím nikdy kompletní, dosud nejvyšší počet družic byl 17 (1997), avšak předpokládá se jeho postupná kompletace v blízké době.

V budoucnosti se předpokládá společné využívání všech tří existujících GNSS (GPS + GLONASS + GALILEO), což znamená, že pro navigační, geodetické a jiné účely bude k dispozici více jak 80 družic vysílajících signály na nejméně třech různých frekvencích. Znamená to, že družicové metody budou použitelné i tam, kde v současnosti využití GPS naráží na problémy (městská zástavba, lesnatá území apod.). [2]

GNSS	GPS	GLONASS	GALILEO
začátek vývoje	1973	1972	2001
start první družice	1978	1982	2005
celkový počet družic	21 + 3 náhradní	21 + 3 náhradní	27 + 3 náhradní
dráhové roviny	6	3	3
sklon k rovníku	55°	65°	56°
výška nad Zemí	20 180 KM	19 100 km	23 222km
oběžná doba	11 h 58 min	11h 15 min	~ 14h
souřadnicový systém	WGS 84	SGS 85	GTRF
časový systém	GPST	GLONASS T	GST
charakteristika signálu	kódová identifikace	frekvenční identifikace	E5a, E5b, E6,
frekvence	L1, L2, (L5)	L1, L2, (L5)	E2-L1-E1
umělá ovlivňování signálu	SA do 1.5.2000 AS	žádné	PRS

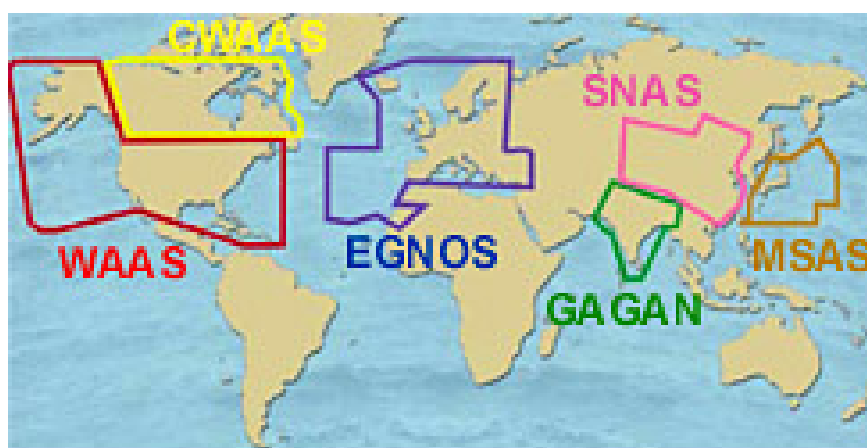
Tabulka 2.2 Parametry současných a připravovaných GNSS [2]

3. ZPŘESŇOVÁNÍ SYSTÉMŮ GPS VE SVĚTĚ

Samotný systém může dosáhnout přesnosti polohy pouze několika metrů. To by bylo pro většinu uživatelů používajících GPS pouze k velice hrubému zjištění polohy automobilu, ve kterém se pohybují. Pro zeměměřičské práce tato přesnost vytyčení polohy by byla naprosto nevyhovující. Z tohoto důvodu se zavádějí systémy pro zpřesnění.

Na Zemi se v oblastech jako je např. Evropa, USA, Asie aj. vyskytují zpřesňující systémy. Tyto systémy nikdy nebudou v konfrontaci z toho důvodu, že systém je aplikován pouze na tu vybranou oblast. Společné označení pro tyto podpůrné satelitní systémy je SBAS (Satellite-Based Augmentation System) viz obrázek 3.1. Velkou výhodou těchto využívaných systémů je bezplatnost a dostupnost. Bohužel mají i nevýhodu a to je malá přesnost a také malé množství satelitů šířící tento signál. ČR se nachází v místech, kde je tento signál z družic velmi často nedostupný, protože satelity se nacházejí nad jižním horizontem.

V této části si vysvětlíme princip korekčních systémů SBAS pro GPS. Dále si uvedeme systémy, které do této skupiny spadají a některé si popíšeme ještě detailněji.



Obrázek 3.1 Místa určení zpřesňujících systémů [3]

3.1 EGNOS [2]

EGNOS, odvozené z anglického **E**uropean **G**eostationary **N**avigation **O**verlay **S**ervice (volně přeloženo jako Evropská „podpůrná“ geostacionární navigační služba), je společným projektem Evropské kosmické agentury (European Space Agency, ESA), Evropské Komise (European Commission, EC) a Eurocontrol, Evropské organizace pro bezpečnost leteckého provozu (European Organization for the Safety of Air Navigation). EGNOS je prvním evropským projektem v oblasti družicové navigace a jeho úkolem je „vylepšovat“ dva v současné době funkční vojenské družicové navigační systémy – americký GPS a ruský GLONASS. EGNOS umožní, aby systémy GPS a GLONASS byly použitelné pro aplikace, při kterých je důležitá spolehlivost dat určení polohy a jejich vyšší přesnost, jako například při pilotování letadla nebo navigaci lodí v úzkých kanálech.

EGNOS tedy bude poskytovat data potřebné k využití navigačních signálů družic GPS a GLONASS pro aplikace vyžadující vyšší přesnost určení polohy a hlavně věrohodnost tohoto určení. EGNOS zpřesní určení polohy z dvaceti na pět metrů, bude uživatelům poskytovat informace o chybách při měření polohy a posílat varovné zprávy o nesprávném fungování družice do šesti vteřin. Jinými slovy EGNOS převezme za výše zmíněné systémy zodpovědnost a bude garantovat jejich služby.

Tři geostacionární družice a komplexní síť pozemních stanic budou zajišťovat chod systému EGNOS. Tři zmíněné družice budou vysílat signál podobný signálu, které vysílají družice systému GPS a GLONASS. Tento signál nicméně nebude sloužit jako další „nadbytečné“ měření. Signál bude obsahovat informace o přesnosti polohového měření provedené GPS nebo systémem GLONASS. Tato vlastnost například umožní, aby strojvůdce byl schopen zhodnotit, zda je udávaná pozice dostatečně přesná, aby se na ni dalo spolehnout (například zda se vlak nachází na správné koleji a ne na sousední).

Informace, nebo také nazývané data o integritě (integrity data), budou namodulovány na nosný signál. Informace budou obsahovat přesnou polohu každé družice GPS nebo systému GLONASS, přesnost atomových hodin každé družice, a údaje o poruchách ionosféry a troposféry, které by mohly ovlivnit přesnost

polohových měření. EGNOS přijímač, který je propracovanější než běžné přijímače navigačních družicových systémů, bude dekódovat signál a určí polohu s již zmíněnou větší přesností než GPS nebo GLONASS a navíc odhadne chyby měření.

Signál EGNOS je vysílán dvěma družicemi Inmarsat-3. První se nachází nad východní částí Atlantiku – Atlantic Ocean Region-East (AOR-E) na 15.5° západní délky. Druhá je umístěna nad Indickým oceánem – Indian Ocean Region (IOR) na 64° východní délky. Obě tyto družice společně s třetí družicí ESA Artemis se nachází nad rovníkem. Družice Artemis je taktéž geostacionární nad africkým územím, přesněji na 21.5° východní délky. Na rozdíl od družic systémů GPS a GLONASS, tyto tři družice nebudou disponovat generátorem signálu. Vysílač na družici přeposílá signál přijatý ze Země, kde se signál vytváří. Důmyslný pozemní segment se skládá asi ze třiceti stanic RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), čtyř hlavních řídicích center MCC (Master Control Center) a šesti vysílacích stanic (Up-link Stations).

Stanice RIMS přijímají signály od GPS a GLONASS družic a následně provádějí výpočet vzdálenosti družice – přijímač. U těchto stanic jsou s vysokou přesností známy souřadnice v systému WGS-84, systém tedy principiálně funguje podobně jako jakákoli jiná síť referenčních stanic používaná při technologii diferenciálního GPS (Differential GPS). RIMS pak posílají získaná data do hlavních řídicích center (MCC) pomocí samostatné komunikační sítě. Hlavní řídicí centra následně určují přesnost GPS a GLONASS signálů přijatých v každé RIMS stanici a určují nepřesnosti určení polohy způsobené poruchami v ionosféře. Všechny tyto informace o odchylkách (chybách) jsou zahrnuty do signálu, který je posílán pomocí zabezpečeného komunikačního kanálu do vysílacích stanic. Up-link Stations, které jsou rozesety po celé Evropě, následně data přeposílají uživatelům GPS a GLONASS s EGNOS přijímačem pomocí zmíněných tří EGNOS družic.



Legenda:

- Ranging and Integrity Monitoring Stations (RIMS), referenční stanice
- Master Control Centres (MCC), hlavní řídicí centra
- ▲ Navigation Land Earth Stations (NLES), vysílací stanice
- Performance Assessment and Check out Facility (PACF), centrum podpory systému
- Application Specific Qualification Facility (ASQF), centrum pro uživatelskou podporu

Obrázek 3.2 Rozmístění stanic EGNOS [4]

Systém EGNOS je vytvořen tak, že všechny jeho části jsou minimálně zdvojené, takže jeho funkčnost může být garantována téměř za všech podmínek. Pouze jedno řídicí centrum bude opravdu řídicí, ostatní budou pouze v pohotovostním režimu pro případ, že by se první potýkalo s nějakými technickými problémy. Vysílacích stanic je také více, než je nutný počet. Pouze tři jsou potřebné pro plný provoz EGNOS, jedna pro každou družici. Ostatní tři jsou opět záložní pro případ poruchy.

3.2 WASS

(Wide Area Augmentation System) je další ze systému sloužící k zpřesnění GPS. Poskytuje uživatelům z oblasti letectví větší přesnost při určování polohy a navíc zlepšuje integritu v průběhu letu. [5][6]

WAAS využívá síť referenčních stanic na Zemi a to v severní Americe a na Hawaii k měření malých změn signálů GPS satelitů v západní hemisféře. Naměřená data z referenčních stanic jsou posílána řídicím stanicím, které generují data s korekcemi, které jsou zasílány geostacionárním satelitům WAAS. Tyto satelity vysílají data s korekcemi zpět na Zem k uživatelům. [5] V principu tedy WAAS pracuje stejně jako EGNOS.

Referenční stanice systému WAAS se nazývají WRS (Wide-area Reference Stations). V říjnu roku 2007 bylo celkem 38 těchto stanic (20 na území USA, 7 na Aljašce, 1 na Hawaii, 1 na Puerto Rico, 5 v Mexiku a 4 v Kanadě). Referenční stanice se nazývají WMS (Wide-area Master Stations) a systém WAAS má 3 tyto stanice. Řídicí stanice generují dvě korekce a to pomalou a rychlou. Rychlá korekce slouží k eliminaci chyb vzniklých při náhlých změnách. Pomalé korekce zahrnují dlouhotrvající vlivy, jako může být zpoždění v ionosféře (vrstvě atmosféry ve výši 50 až 500 km nad povrchem Země). [5]

3.3 DALŠÍ ZPŘESŇUJÍCÍ SYSTÉMY

Mezi další systémy, které zpřesňují polohu satelitní navigace patří:

- MSAS – Japonsko – patří do skupiny systému SBAS
- LASS – Asie – patří do skupiny systémů GBAS šířící signál ze Země
- GAGAN – Indie – patří do skupiny systému SBAS
- CWASS – Kanada – patří do skupiny systému SBAS
- Pseudodružice – pouze pro místní zpřesnění polohy

4. ZPŘESŇUJÍCÍ SYSTÉMY NA UZEMÍ ČR

Ve dvou následujících kapitolách si uvedeme zpřesňující systémy na území České republiky a jejich služby a funkce, které můžeme využívat.

4.1 CZEPOS [7]

CZEPOS v překladu znamená Česká síť permanentních stanic pro určování polohy. CZEPOS je společný projekt ZÚ (Zeměměřického úřadu) v Praze, VÚGTK (Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického) a ČÚZK (Českého úřadu zeměměřického a katastrálního).

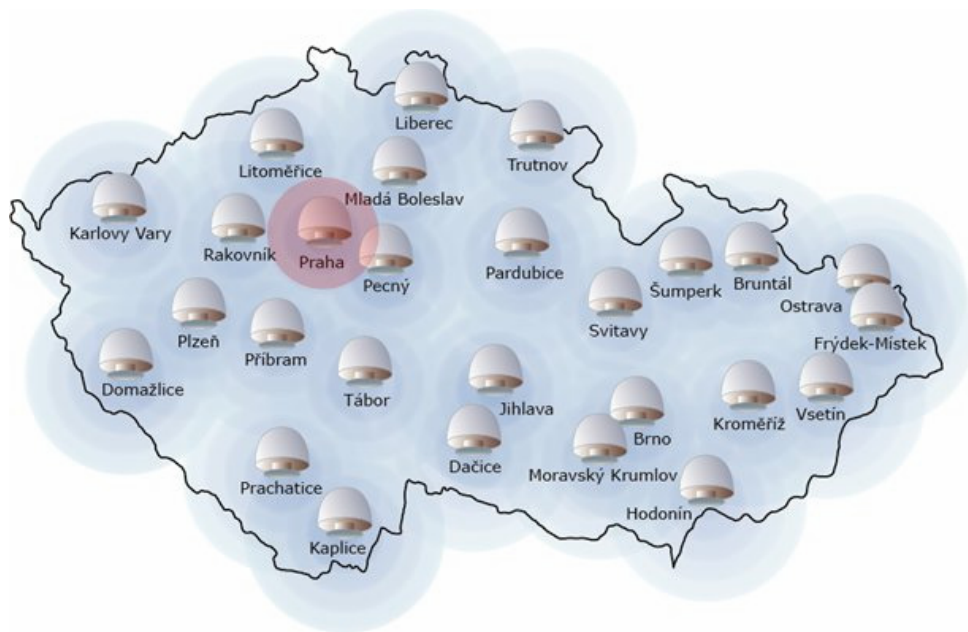
Česká republika se vybudováním a zprovozněním České sítě permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS zařadila mezi státy s moderními geodetickými základy.

Měření v geodetických základech tvořených sítí permanentních stanic GPS přináší uživateli řadu nesporných výhod, ze kterých lze namátkou uvést:

- vyšší hospodárnost
- odpadají náklady na zřízení a provoz lokálních referenčních stanic
- snížení počtu pracovních sil (až o 50%) a tím zvýšení denní produktivity (až o 100%)
- rozšíření rozsahu provozu a provozní doby
- zvýšená přesnost (1 – 3 cm) v absolutní poloze (v ETRS89)
- nezávislost na vzdálenosti od referenční stanice

Vyšší hospodárnost a zvýšená přesnost s sebou přináší značné zjednodušení prací a zvýšení efektivity v celé řadě geodetických i ne zcela ryze geodetických aplikací GPS.

Rozhodující část sítě tvoří 27 stanic vybudovaných na vhodně vybraných budovách pracovišť katastrálních úřadů. Tyto stanice jsou doplněny 4 externími stanicemi zřízenými na vědeckých pracovištích.



Obrázek 4.1 Síť permanentních stanic CZEPOS [7]

4.1.1 Služby sítě CZEPOS [8]

Všechny služby sítě CZEPOS jsou poskytovány po internetu přes stránky <http://czepos.cuzk.cz>, kde uživatel nebo zájemce o využívání služeb sítě CZEPOS nalezne veškeré základní informace o síti, informace o postupu prací a aktuálním stavu sítě, popis, fotografie a souřadnice všech stanic, přístup k aplikacím včetně stručných návodů a v neposlední řadě i odkazy na registraci jako uživatele sítě a možnost stáhnout instalační programy potřebné pro zdárnou internetovou komunikaci se serverem sítě CZEPOS po internetu. Síť provozuje Zeměměřický úřad, do konce roku byl ukončen testovací provoz a nyní jsou již služby zpoplatněny dle aktuálního ceníku.

4.1.2 Služby pro aplikace v reálném čase [9]

Služby pro aplikace v reálném čase jsou poskytovány mobilním internetovým připojením GPRS přes síťový protokol NTRIP pro uživatele pracující jak s kódovým měřením, tak i pro uživatele pracující s fázovým měřením.

Pro uživatele využívající RTK pro kódová měření s požadavkem na přesnost výsledků v řádu decimetrů je učená služba:

DGPS. Uživatel obdrží korekci ve formátu RTCM 2.1 z konkrétní stanice podle vlastní volby z aktuální zdrojové tabulky. Každá stanice má vlastní přístupový bod (mount point) označený názvem stanice a číslicí 1.

Pro uživatele využívající RTK pro fázová měření s požadavkem na přesnost výsledků v řádu centimetrů jsou učeny služby:

RTK. Uživatel pracující v přiměřené vzdálenosti od konkrétní stanice obdrží korekci RTCM ve formátu 2.3 ze zvolené konkrétní stanice. Každá stanice má opět vlastní přístupový bod označený názvem stanice a číslicí 0. Tato aplikace nevyžaduje korektní stav síťového řešení a uživateli nahrazuje jeho vlastní základnovou stanici umístěnou na bodě o známých souřadnicích v ETRS-89.

RTK-PRS. Jedná se o službu tzv. pseudoreferenční stanice s přístupovým bodem PRS0C, která vychází ze síťového řešení. Uživatel odešle do systému NMEA zprávu o svojí pozici a zpět obdrží korekci RTCM ve formátu 2.3 odpovídající referenční stanici umístěné cca 5 km od uživatele směrem k nejbližší referenční stanici.

PRS-KKP. Tato služba s přístupovým bodem FKP0C, je z pohledu uživatele obdobou RTK-PRS. Hodnota korekce (opravy) opět vychází ze síťového řešení, je však stanovena metodou FKP (Flächenkorrekturparameter), tedy pomocí jiných algoritmů než u metody PRS. Uživatel odešle do systému NMEA zprávu o svojí pozici a zpět obdrží korekci ve formátu RTCM 2.3 z nejbližší referenční stanice opravenou o plošné parametry určené metodou FKP.

4.1.3 Služby pro postprocesingové aplikace [10]

Pro postprocesingové aplikace síť poskytuje data ve formátu RINEX ze všech stanic sítě a dále umožňuje vytvořit ze síťového řešení data pro virtuální referenční stanici, jejíž polohu může uživatel definovat. Aby uživatel mohl tyto služby používat, musí mít na svém počítači umožněno skriptování apletů v jazyce Java a nainstalováno prostředí Java. Instalační program je možné získat prostřednictvím internetové stránky <http://czepos.cuzk.cz>.

Data jsou na internetu přístupná pro stažení po dobu tří měsíců od data jejich vzniku. Po té jsou ze serverů automaticky smazána. Starší data jsou pro uživatele dostupná v řídicím centru, kde lze z archivovaných dat vyhledat hodinové soubory

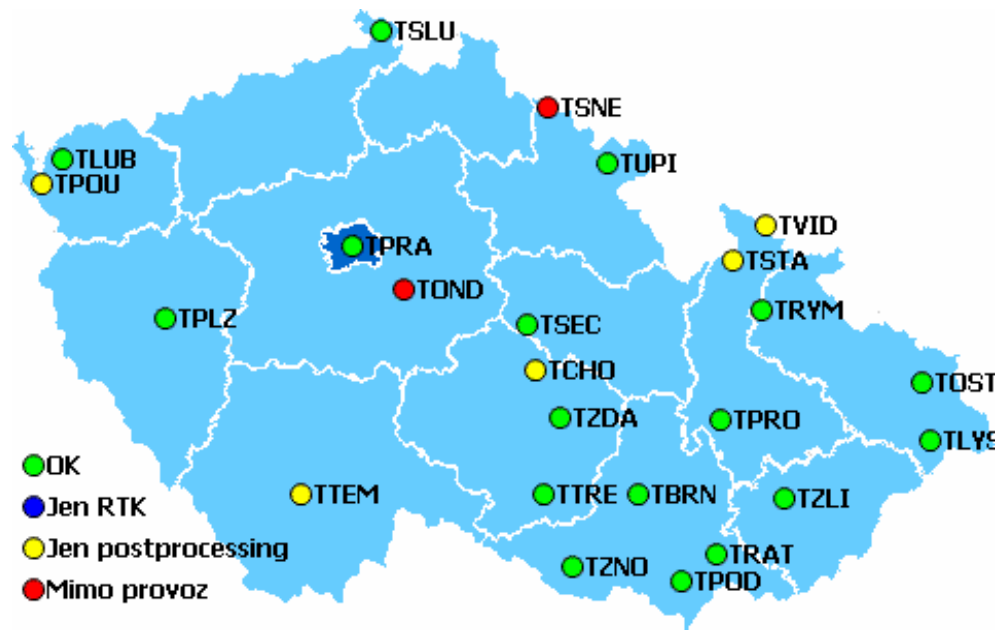
měřených dat ve formátu RINEX s intervalem záznamu 1 s při 5° elevační masce pro všechny stanice sítě. Obnovení dat pro virtuální stanici je možné provést opětovným vložením potřebných dat do všech obslužných programů.

4.2 TOPNET [11]

Sít' TopNET je složena z mnoha stanic, které neustále měří GPS souřadnice svého místa. Tím sít' poskytuje uživatelům GPS korekční data pro přesné určení jejich měřené pozice. Za předpokladu, že chyby z příjmu GPS signálu jsou stejné na měřeném místě i na okolních permanentních stanicích, dokážeme pomocí neustálého měření známých souřadnic permanentních GPS stanic tyto chyby pro měřené místo určit a eliminovat.

4.2.1 Historie

Sít' začala být budována v roce 2005 jako podpora terénních prací pracovníků GEODIS GROUP. První stanice sítě byly zřízeny na vlastních objektech a objektech spřátelených firem. Takto byla pokryta šesti stanicemi střední část Moravy.



Obrázek 4.2 Sít' permanentních stanic TopNET [11]

Po dohodě s Akademií věd ČR byly ke stávajícím stanicím přidruženy stanice sítě GEONAS Ústavu struktury a mechaniky hornin. Firma GEODIS převzala náklady na provoz těchto stanic a začlenila vybrané stanice do systému TopNET. K síti byly dále v roce 2006 připojeny vybrané stanice sítě VESOG provozované VÚGTK – Výzkumným ústavem geodetickým, topografickým a katastrálním ve Zdíbech.

V roce 2007 bylo rozhodnuto zpřístupnit služby sítě TopNET ostatní geodetické veřejnosti. V této době síť poskytovala data z 18 stanic, dalších 5 stanic sítě je neveřejných a slouží k záložním účelům.

4.2.2 Popis sítě

Stanice sítě jsou zřízeny na vybraných objektech. Pro sběr dat jsou použity aparatury Topcon GB-1000 s anténou TPS CR3GGD se sněžným krytem. Statická data ze stanic jsou odebírána v hodinových intervalech a ukládána na servery GEODIS za použití firemního software Topcon TopNET, RTK korekce ze stanic jsou opět transportovány přes servery společnosti GEODIS.

4.2.3 Kompatibilita s CZEPOS

Souřadnice stanic systému byly určeny pracovníky VÚGTK v dubnu a květnu 2007 a jsou uvedeny v hlavičce RINEX poskytovaných dat a jsou kompatibilní se systémem CZEPOS. Stabilita stanic je monitorována za pomoci Akademie věd ČR.

4.2.4 Získání dat

Z jednotlivých stanic sítě jsou dostupná statická data pro postprocessing ve formátu RINEX. Data jsou běžně dostupná vždy za posledních 10 dní, starší data jsou pak k dispozici na vyžádání.

K odběru dat je určeno uživatelské rozhraní na adrese <http://obchod.geodis.cz/topnet>.

Před prvním vstupem do systému je nutné se zaregistrovat. Statická data jsou dostupná ihned po registraci, RTK korekce po potvrzení e-mailem od správce systému.

Kromě statických dat jsou dostupné i RTK korekce ve formátech DGPS, CMR+, RTCM 2.3 a RTCM 3.0. Tyto korekce je možné odebírat na NTRIP casteru

na adrese <http://www.geodis.cz>, případně 212.65.218.98 na portu 8006. Zde je dostupný pro každý formát jeden mountpoint (N1DG pro DGPS, N1CM pro CMR+, N1R2 pro RTCM 2.3 a N1R3 pro RTCM 3.0) – RTK korekce jsou vždy automaticky poskytovány z nejbližší referenční stanice systému. GEODIS dále v systému TopNET provozuje další nezávislý NTRIP caster, zde je možné přizpůsobit RTK korekce potřebě konkrétního uživatele na základě zvláštního ujednání.

Všechny stanice systému poskytují služby pro GPS i GLONASS. Dohled nad systémem probíhá v pracovní dny, v případě dohody je možné zajistit zvýšený dohled i mimo tyto dny.

Pro čerpání služeb je nutné, aby byl uživatel zaregistrovaný. Cena za RTK korekce byla stanovena na 80 Kč za hodinu s účtováním po vteřinách. Cena statických dat pro postprocessing je 40 Kč za hodinu u dat s hustotou záznamu 1 až 9 sekund a 20 Kč za hodinu u nižší hustoty záznamu. Statická data jsou účtována po minutách, o ceně za odebíraná data je uživatel informován při jejich odběru.

5. DIFERENCIÁLNÍ GPS [1][2]

Podstatného zlepšení lze dosáhnout opravou naměřených vzdáleností. Princip spočívá v tom, že do bodu o známých souřadnicích umístíme tzv. referenční stanice a budeme porovnávat mezi sebou referenční a měřenou polohu. Z porovnání získáme korekce měřených zdánlivých vzdáleností. Tyto korekce přenášíme k navigačním přijímačům uživatelů vhodně zvolenou komunikační linkou např. rádiovým signálem. Přijímače uživatelů si zpřesňují pomocí těchto korekcí údaje o své poloze.

Nevýhodou DGPS je omezené krytí. Informace o něm jsou různé. Nejčastěji se uvádí, že opravy účinně zvyšují přesnost v okruhu do 400 km od referenční stanice.

Přesnost DGPS rovněž závisí na tom jaká doba uběhla od získání korekcí. Lze říci, že korekce lze použít asi do 15 s od jejich získání.

Systému GPS-NAVSTAR lze využít i pro navigaci rychle se pohybujících objektů. Při navigaci je třeba poskytovat průběžné informace o poloze, rychlosti a směru pohybujícího se objektu.

Určování navigačních prvků (poloha, rychlost, vzdálenost, azimut, čas atd.) je závislé na znalosti drah družic, na měřených veličinách (jsou odvislé na typu používaného přijímače) a na jeho softwarovém vybavení.

Z hlediska přesnosti lze navigační úlohy rozdělit na:

navigaci s nižší přesností. Přesnost určení polohy je řádově od několika desítek metrů do několika stovek metrů. Tento způsob navigace postačuje pro navigaci osob a dopravních prostředků. Úloha se řeší pomocí přijímače vybaveného C/A kódem. Při vyšších nárocích je třeba souřadnice určovat v klidovém stavu přijímače a to buď průměrováním měření z určitého časového intervalu, nebo průměrováním měření realizovaných v různých dobách. Tento způsob neumožňuje určení polohy v reálném čase.

Navigaci s vyšší přesností. Přesnost je od několika metrů do několika desítek metrů. Získání okamžitých a přesnějších navigačních informací umožňuje systém diferenční navigace.

Systémy diferenční navigace GPS (DGPS) využívají předpokladu, že chyby v měřených pseudovzdálenostech ke stejným družicím dvěma nepříliš vzdálenými jsou silně korelované. Této skutečnosti se využívá k významnému zvýšení přesnosti v určování polohy uživatelských přijímačů.

Základem DGPS je referenční stanice, která je umístěna na bodě se známou polohou (v systému WGS-84).

Referenční stanice má mít dostatek přijímacích kanálů, aby v okamžiku vystoupení družice nad zvolenou výškou mohly být přijímány signály družice. Referenční stanice porovnává měřené pseudovzdálenosti k jednotlivým družicím s vypočítanou vzdáleností (souřadnice stanice – souřadnice družice). Rozdíly (diferenční korekce) předává referenční stanice uživatelům, kteří využijí jako opravy svých měřených pseudovzdáleností. Přenos dat mezi referenční stanicí a měřicími aparaturami lze realizovat při blízkých bodech krátkovlnným spojením, při větších vzdálenostech lze využít mobilních telefonních sítí. Pro kinematické měření toto není vhodné. Pro přenos dat na větší vzdálenosti lze využít družicový komunikační systém (INMARSAT).

Míra potlačení chyb závisí jednak na vzdálenosti uživatelské stanice od referenční stanice, jednak na době, která uplyne od určení korekce do jejího využití. Chyby způsobené ionosférickým zpožděním se zvětšují v závislosti na zvětšující se vzdálenosti od referenční stanice. Zařazením SA vznikají chyby, které málo závisí na vzdálenosti od referenční stanice. Rychle se však zvětšují se “stárnutím“ diferenčních korekcí. V oblasti do 200 km kolem referenční stanice by chyba v určení polohy neměla překročit 10 m.

Jakmile referenční stanice přijme data od družice, začíná vysílat korekce o této družici. Korekce se vysílají až do západu družice. Referenční stanice využívá pro měření jak fázi kódu tak fázi nosné. Znaménko korekcí je zvoleno tak, aby se korekce v uživatelských přijímačích přičítaly ke změřeným pseudovzdálenostem.

Systém DGPS lze využít ke zvýšení věrohodnosti měřených informací. Činnost referenčních stanic v dané oblasti je totiž sledována řídicí stanicí. Na řídicí stanici jsou stejným přístrojovým vybavením jako na referenčních stanicích monitorovány signály vysílané z družic a porovnávány s diferenčními opravami

vysílanými těmito referenčními stanicemi. Pokud rozdíl překročí určitou mez, referenční stanice je upozorněna a musí zařadit do vysílání varovné hlášení.

Předpokladem pro správnou funkci systému DGPS jsou provozní pravidla, jednotný protokol potřebný pro sestavení diferenčních korekcí a způsob předání těchto informací. Komise RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Service) v roce 1983 pověřila výbor SC-104 (Special Committee 104 on Differential NAVSTAR/GPS Service) vypracováním doporučení SC-104 V2.0, které je respektováno většinou výrobců. Toto doporučení specifikuje činnost referenční stanice, uživatelské stanice a definuje formát předávaných zpráv. Formát přenášených dat vychází z formátu dat GPS. V hlavičce je synchronizační slovo, udává typ zprávy, kód identifikující referenční stanici, pořadí zprávy a počet slov ve zprávě. Je zde též udáván časový údaj (t_0), ve kterém byly určeny vysílané korekce. Zpráva se skládá ze slov po 30 bitech. Slova slouží k přenosu příslušných údajů. Data jsou členěna do zpráv (doporučení připouští 64 typů zpráv). Formát umožňuje přenášet kromě diferenčních korekcí i řadu dalších údajů. Obsah a formát zprávy určuje typ zprávy. Minimální přenosová rychlost je 50 b/s.

6. SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY ZEMĚ

Abychom mohli určovat polohu nějakého objektu na Zemi, musíme mít k dispozici nějaký souřadný systém, ve kterém se tento objekt bude pohybovat. Proto si ve stručnosti popíšeme dva hlavní zástupce těchto systémů pro navigaci, se kterými budeme dále pracovat.

6.1 WGS-84 [12]

World Geodetic System 1984 (zkratka WGS 84), Světový geodetický systém 1984, je světově uznávaný geodetický standard vydaný ministerstvem obrany USA roku 1984, který definuje souřadnicový systém, referenční elipsoid a geoid pro geodézii a navigaci. V roce 1996 byl rozšířen o zpřesněnou definici geoidu EGM96. Nahrazuje dřívější systémy WGS 60, WGS 66 a WGS 72.

Souřadnicový systém WGS-84 je pravotočivá kartézská soustava souřadnic se středem ve těžišti zeměkoule (včetně moří a atmosféry). Kladná osa x směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku, kladná osa z k severnímu pólu a kladná osa y je na obě předchozí kolmá ve směru doleva (90° východní délky a 0° šířky), tvoří tak pravotočivou soustavu souřadnic.

6.2 UTM [13]

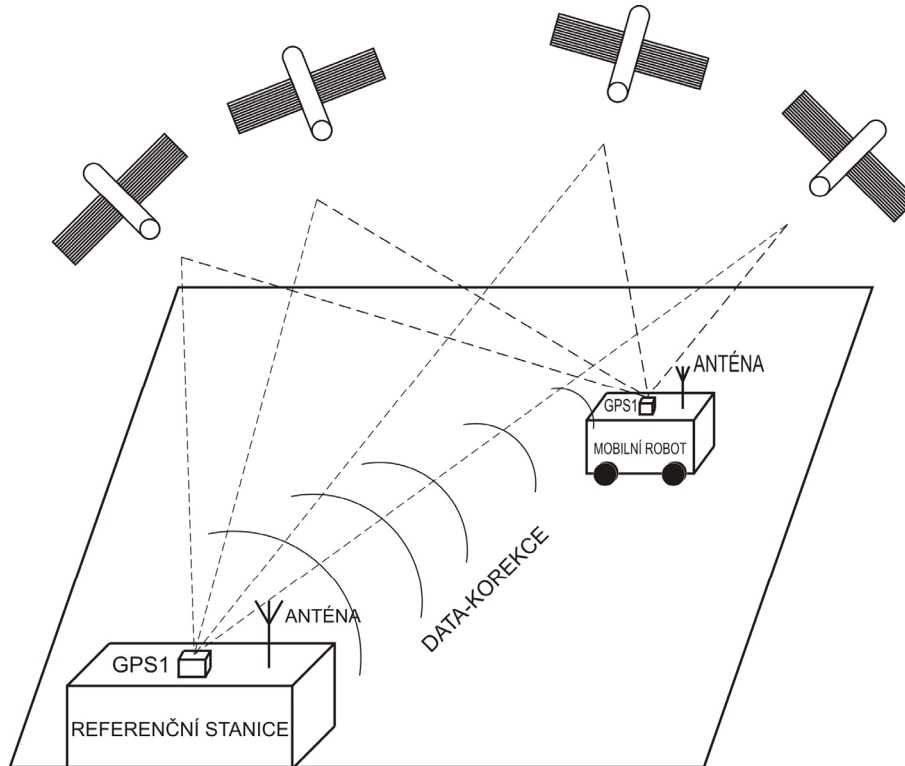
Univerzální Transverzní Mercatorův systém souřadnic (UTM) je způsob určování polohy na povrchu Země založený na mřížkách. Od systému šířka-délka se liší v několika zásadních směrech.

Nejedná se o jedno mapové zobrazení, ale o síť šedesáti zón zobrazených pomocí transverzního Mercatorova zobrazení. Protože se jedná o zobrazení částí elipsoidu do roviny, lze na mapách v UTM měřit vzdálenost dvou bodů pomocí Pythagorovy věty. Ale pouze v případě, že oba body leží ve stejné zóně.

Střed souřadnic je pro každou zónu jiný a tvoří jej průsečík středového poledníku zóny s rovníkem. Od tohoto středu se měří vzdálenosti v metrech po ose x rostoucí od středového poledníku směrem na východ (tzv. *eastings*) a po ose y rostoucí od rovníku směrem na sever (tzv. *nordings*).

7. POUŽITÉ PŘÍSTROJE PRO REALIZACI DGPS

Názorná ukázka jak tento systém pracuje je vidět na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1 Schématické znázornění principu vlastního DGPS

Jeden GPS přijímač je umístěn na referenční stanici. Referenční stanice (*base station*) zná svou polohu a zjišťuje pouze chyby, které vznikají při přenosu signálu z družic k přijímači. Předpokládáme, že tyto chyby jsou přibližně stejné jak pro GPS snímač umístěný na referenční stanici, tak i pro snímač na pohybujícím se mobilním robotovi (*remote station*). Tato chyba se zjistí rozdílem přesně určených souřadnic a souřadnic měřených v reálném čase. Chybu budeme nazývat korekce. Ta se rádiovým modem přeneše do *remote station*, kde se provede přepočítání a poloha robota v prostoru se tak zpřesní.

7.1 PŘIJÍMAČ GPS SIGNÁLU

Pro návrh diferenciálního GPS systému byly k dispozici dva přijímače DG14 od výrobce Magellan. Tento přijímač GPS signálu zpracovává signály z GPS a GLONASS satelitů. Dále využívá SBAS zahrnující WASS, EGNOS, MSAS systémy.



Obrázek 7.2 DPS DG14 od výrobce Magellan [15]

7.1.1 Technické parametry

Přijímač DG14 MAGELLAN má celkem 14 komunikačních kanálů. Další důležité parametry jsou uvedeny v následujících dvou tabulkách.

Physical Specifications	
Size	Board: 2.300" x 4.250" (± 0.005); 107.95 mm x 57 mm (± 0.13) Sensor: 178 mm x 105 mm x 52 mm
Weight	Board: 2.8 oz Sensor: 1 lb, 4 oz
Humidity	95% Non-condensing
Shock	RTCA DO-160C - op/crash safety: <ul style="list-style-type: none"> Operational — ± 40 G's in the X, Y, or Z axis Non-operational — ± 75 G's in the X, Y, or Z axis
Vibration	<ul style="list-style-type: none"> MILSPEC 810E Category 10: Minimum Integrity Test - General
Acceleration	20 G
Maximum Speed	1,000 knots
Maximum Altitude	60,000 ft

Tabulka 7.1 Technické parametry DG14 od výrobce Magellan [14]

Position Accuracy (DGPS)	
Horizontal CEP	40 cm
Horizontal (95%)	90 cm
Vertical (95%)	1.6 m
Time to First Fix (TTFF)	
Re-acquisition	3 seconds
Hot Start	11 seconds
Warm Start	35 seconds
Cold Start	90 seconds

Tabulka 7.2 Technické parametry DG14 [14]

7.2 GPS MODULY – KONEČNÁ PODOBA

Pro práci v terénu bylo třeba DPS ukrýt do nějakého přepravního boxu a tím ji ochránit před vnějším prostředím. Tyto provedené úpravy jsou znázorněny na obrázku 7.3. Vidíme zde dva boxy označené nápisy „GPS REMOTE STATION“ a „GPS BASE STATION“.

U první krabičky vlevo vidíme na čelním panelu konektor pro připojení externí antény. Dále můžeme spatřit 2 LED diody nad nápisem SAT, který identifikuje počet viditelných družic a 2 LED diody nad nápisem DGPS, které nám identifikují, zda je do tohoto přijímače zasílána korekce ze vzdálené stanice, kterou budeme dále v textu označovat jako *base station*. Na zadním panelu jsou vyvedeny 3 kabely. Kabel zakončený USB konektorem, slouží pouze jako externí napájení z notebooku a další dva kabely jsou porty A, B pro komunikaci po sériové lince.

U druhé krabičky vidíme rovněž na čelním panelu konektor pro připojení externí antény. Dále vyvedené porty A, B. 4 LED diody mají stejnou funkci jako v předchozím případě. Externí napájení je v terénu prováděno z 12V baterie, kde se tímto napětím napájí i jeden z bezdrátových modulů.

Vnitřní zapojení krabiček tj. vyvedení příslušných portů, připojení externího a interního zdroje napájení a zapojení LED diod bylo provedeno v souladu s dokumentací výrobce, která je obsažena v příloze 7.



Obrázek 7.3 DGPS stanice

7.3 EXTERNÍ ANTÉNY

K GPS přijímačům se připojují externí antény s označením AT575-62 od výrobce AeroAntenna Technology, Inc. pro co nejlepší příjem GPS signálu.

Technické parametry antén:

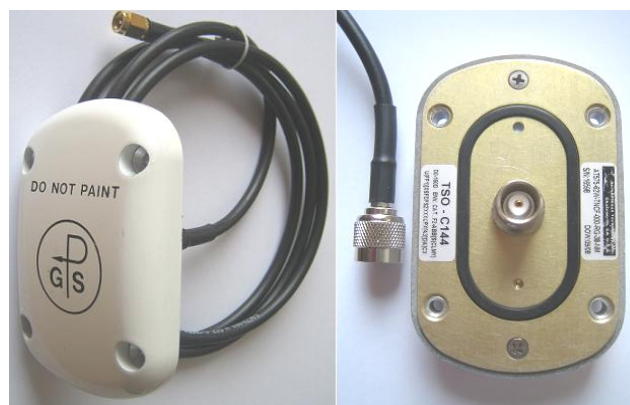
Frekvence: (1575±10) MHz

Potlačené pásmo: 35dB@1625 MHz

Zesílení: pasivní, 14dB, 26dB, 38dB

Typ konektoru: TNCF, SMAF

Povrchová úprava: polyuretanový povlak



Obrázek 7.4 Externí antény pro příjem GPS signálu

7.4 RADIOVÉ KOMUNIKAČNÍ MODULY

Pro bezdrátový přenos korekčních dat mezi GPS stanicemi byly zvoleny radiové modemy 805U od výrobce ELPRO. Jsou naprosto dostačující pro účel bezdrátového přenosu korekcí. Hlavní výhodou je přenos dat až na vzdálenost 5 km při přímé viditelnosti. Nevýhodou těchto modulů je ovšem cena, která se pohybuje kolem 30 000 Kč za kus.

Technické parametry ELPRO 805U:

Napájecí napětí: 10-30 VDC, 10-24 VAC

Odběr proudu: 350 mA / 12 VDC, 250 mA / 24 VDC při přenosu dat

Komunikace : RS232 nebo RS485

Radiový vysílač: frekvence = 869,4 – 869,65 MHz

výkon = 500 mW

dosah = 5 km při 19200b/s

Modemy 805U jsou vidět na obrázku 7.5. Další informace jsou na internetových stránkách výrobce [15].

Jako další vhodné řešení by mohlo být použití vývojového kitu od výrobce Radiocrafts, který nabízí 2 desky pro sériovou linku a bezdrátový přenos mezi nimi. Bohužel výrobce neuvádí dosah bezdrátové komunikace mezi moduly ani cenu.

Technické parametry RC1xx0/RC2xx0:

Napájecí napětí: 4-10 VDC

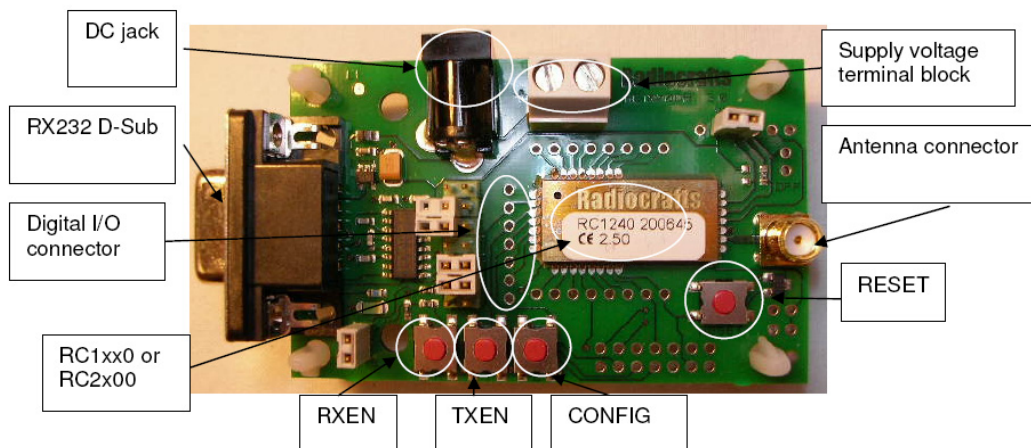
Komunikace : RS232

Radiový vysílač: frekvence = (433, 868, 915) MHz a 2.45GHz

Vývojový kit s popisem jednotlivých částí je na obrázku 7.6. Další informace o tomto vývojovém kitu lze nalézt na internetových stránkách výrobce [16].



Obrázek 7.5 Radiové modemy Elpro 805U



Obrázek 7.6 Demostrační deska RC1xx0/RC2xx0 [16]

8. PROGRAM PRO DGPS

V následujícím textu bude stručně popsán protokol NMEA, uveden postup transformace mezi souřadnicovými systémy WGS-84 a UTM, se kterými se pracuje v programu. Velká část této kapitoly je zde věnována popisu a ovládání vytvořeného programu.

8.1 PROGRAMOVÁNÍ – VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ

Program byl vytvořen pro operační systém Windows XP ve vývojovém prostředí Visual Studio 2005 programovacím jazykem C++ při použití rozhraní CLR. Nebudeme se zde zabývat popisem tohoto prostředí, protože to není náplní této práce. Je důležité podotknout, že program pracuje v operačním systému Windows XP i Windows Vista, za předpokladu nainstalovaného balíčku .NET Framework v2.0 a vyšší. Je nutný pro běh aplikací vyvinutých pro rozhraní .NET Framework v2.0, což je náš případ. Soubor s tímto doplňujícím balíčkem obsahuje příloha 7.

8.2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL NMEA

Asociace NMEA (National Marine Electronics Association – národní asociace pro námořní elektroniku) na svých stránkách <http://www.nmea.org/pub/0183/index.html> uvádí, že komunikační standard je dokument podléhající copyrightu a lze jej pouze zakoupit od asociace NMEA. Cena představuje řádově stovky dolarů. Ostatní zdroje na internetu prý nejsou autorizované a mohou představovat porušení copyrightu. NMEA uvádí, že obsah rozličných stránek s touto tematikou mnohdy obsahuje zastaralé informace. [18]

Pomocí tohoto komunikačního protokolu se mohou vyměňovat informace na úrovni uživatelského segmentu.

V NMEA-0183 formátu jsou data posílána po řádcích. Každý řádek začíná znakem '\$', následuje dvou písmenná zkratka zařízení (GP = GPS) a dále tři písmenný kód určující formát zprávy. Každý řádek pak končí hvězdičkou a hexadecimálně zapsaným kontrolním součtem (XOR všech znaků na řádku mezi

znaky ‚\$‘ a ‚*‘). Délka řádku je omezena na maximálně 80 znaků a jednotlivé položky jsou od sebe odděleny čárkami.

8.3 TRANSFORMACE SYSTÉMU WGS-84 NA UTM

Námi zvolený přijímač DG14 umožňuje tento převod také zapnutím příslušné NMEA věty. To zaručuje pouze převod aktuální polohy. V programu je potřeba pro zadání trasy průjezdu robota převést zadaný bod ze systému WGS-84 do souřadnicového systému UTM. Pro tento převod využijeme zdrojové kódy, které jsou k dispozici volně ke stažení z internetového zdroje [19]. Jedná si o tyto soubory:

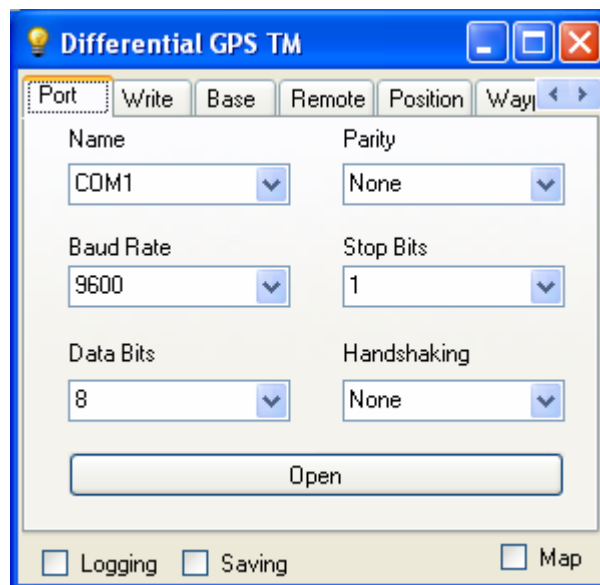
- *LatLong-UTMconversion.h*
- *LatLong-UTMconversion.cpp*
- *UTMConversions.cpp*
- *SwissGrid.cpp*
- *constants.h*

8.4 POPIS A OVLÁDÁNÍ PROGRAMU

Při spuštění programu vidíme okno jenž představuje obrázek 8.1. Vidíme zde několik záložek Port, Write, Base, Remote a další. Tyto záložky si postupně důkladně popíšeme a vysvětlíme jejich funkce.

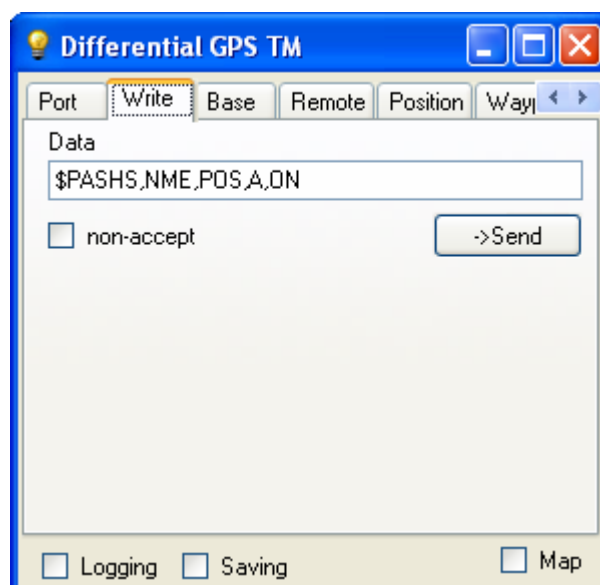
8.4.1 Záložky

Začneme záložkou **Port**, která se zobrazí ihned po spuštění programu. Můžeme zde nastavovat jméno sériového portu, komunikační rychlost, počet datových bitů, paritu a řízení toku dat. Program při startu rozpozná dostupné porty a zobrazí je do roletového menu. Ostatní parametry sériové linky lze samozřejmě měnit za předpokladu předchozí informace o připojovaném zařízení. Po nastavení všech potřebných parametrů můžeme otevřít zvolený port tlačítkem *Open*.



Obrázek 8.1 Okno programu po spuštění

Pokud se přepneme na záložku **Write** vidíme okno jaké je na obrázku 8.2. Do editačního okna můžeme psát příkazy a následně je odeslat do zařízení. Odeslání napsaného příkazu můžeme uskutečnit stisknutím klávesy enter nebo stisknutím tlačítka *Send*. To zda příkaz byl přijat či nikoliv, indikuje zatrhávací políčko s popisem *accept* resp. *non-accept*.



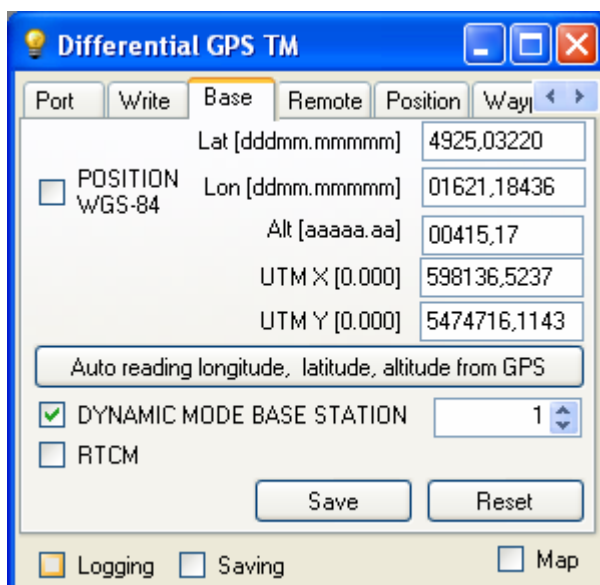
Obrázek 8.2 Záložka Write

Base – představuje parametry důležité pro referenční stanici. Pokud není žádný port otevřený, celý tento blok zůstává zašedlý a tudíž nepřístupný pro jakoukoliv další správu. Pro jednoduchost byl zvolen způsob nastavování pozice referenční stanice tak, že po připojení referenční stanice se po stisku tlačítka *Auto reading longitude, latitude, altitude form GPS* se automaticky do příslušných polí nakopíruje aktuální pozice referenční stanice. Je možnost psát tyto informace samozřejmě ručně, ale to není pro uživatele tak pohodlné. Vedle těchto polí se nachází políčko *POSITION WGS-84*, kterým tyto informace nahrajeme do referenční stanice. Platí zde pravidlo, že pokud se políčko po kliknutí nezatrhne data nebyla zařízením přijata a naopak. Dále je možné nastavit dynamický režim měření, který nejlépe vystihuje tabulka 8.1. Pro referenční stanici volíme režim 1.

Dynamic Mode	Description	Maximum Horizontal Velocity (m/s)	Maximum Vertical Velocity (m/s)	Maximum Horizontal Acceleration (m/s ²)	Maximum Vertical Acceleration (m/s ²)
1	Static	0	0	0	0
2	Quasi-Static *	0.1	0.02	0.1	0.02
3	Walking	2	0.5	1	0.5
4	Ship	20	1	1	0.5
5	Automobile	50	3	10	1.0
6	Aircraft	400	60	20	10
7	Unlimited	1000	1000	100	100
8	Adaptive Dynamic **	N/A	N/A	N/A	N/A

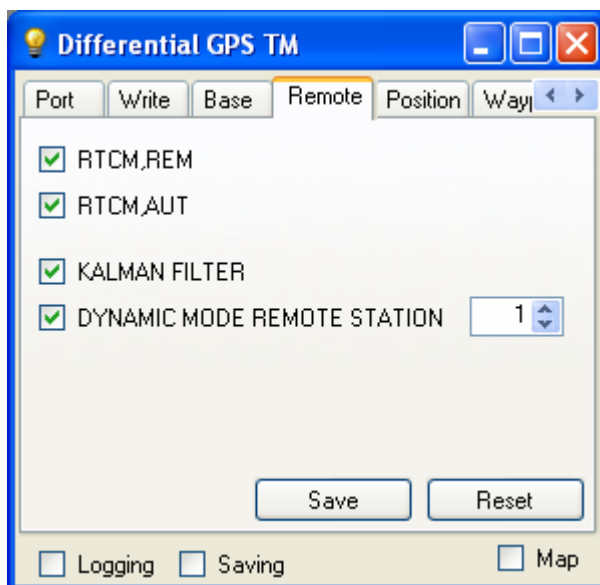
Tabulka 8.1 Dynamické režimy [14]

Dále zatrhneme pole s názvem RTCM, které zapne RTCM korekce na daném portu. Pokud je příkaz přijat, referenční stanice začne automaticky vysílat RTCM zprávu typu 1 s frekvencí 1 Hz. Na závěr je nutné vše uložit tlačítkem *Save*. To je nutné pouze v případě, že odpojíme napájení. Do referenční stanice je ještě implementována externí baterie pro uchování uložených dat. Pokud bychom chtěli dostat zařízení do továrního nastavení stačí stisknout tlačítko *Reset*, které vymaže i jeho vnitřní paměť.



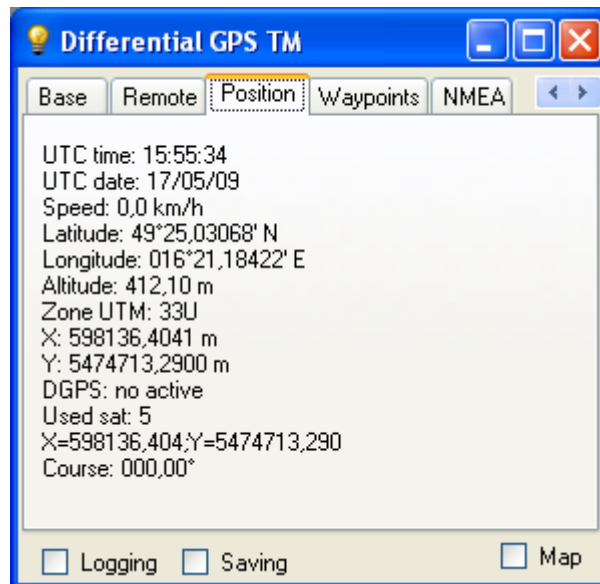
Obrázek 8.3 Záložka Base

Remote – slouží k nastavení parametrů vzdálené stanice. Políčkem s názvem *RTCM,REM* nastavíme přijímač pro příjem korekcí na port. *RTCM,AUT* zapneme automatický diferenciální mód. Dále *KALMAN FILTER* zapíná Kalmanův filtr pro predikci. Tím zajistíme to, že přesné pozice přijímače získáváme během predikčního módu. Dynamický mód pracuje stejným způsobem jako u referenční stanice. Vše musíme opět uložit tlačítkem *Save*.



Obrázek 8.4 Záložka Remote

Position – informuje o vybraných datech získaných z aktuálního měření. Jako příklad můžeme uvést zeměpisnou šířku a délku, rychlost, počet viditelných družic a zda je aktivní DGPS mód.

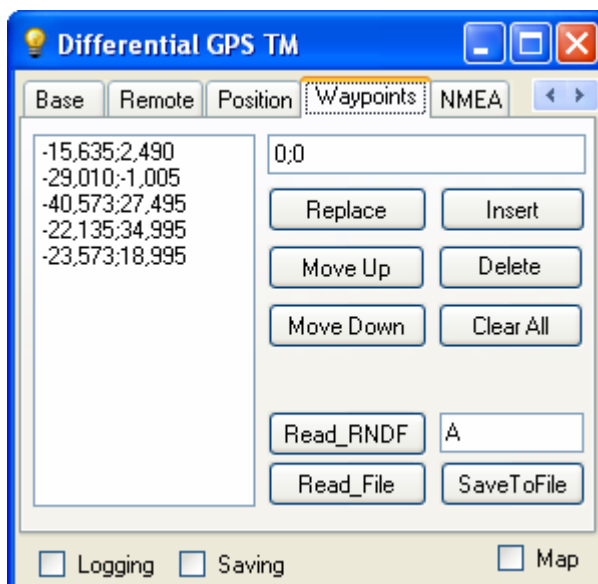


Obrázek 8.5 Záložka Position

Waypoints – slovo „waypoint” budeme chápat jako bod, kterým má mobilní robot projet. Waypoints tedy budeme považovat za trasu, jenž má absolvovat. Tato záložka tedy představuje body na trase zadání, které se zobrazují v levé části okna. Jsou zadávány jako relativní souřadnice, kde počátek souřadného systému odpovídá místu, kde se nachází referenční stanice. V editačním okně můžeme zadávat relativní souřadnice jednotlivých waypointů vztažených k nulovým souřadnicím. Tlačítka *Replace*, *Insert*, *Move Up*, *Move Down* a *Clear All* ovládají tabulku s waypointy vlevo v souladu s jejich pojmenováním.

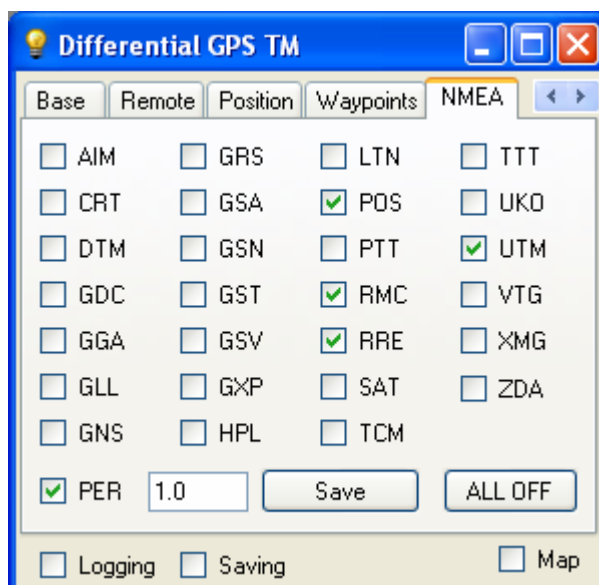
Tento blok programu může být dále využit pro načítání dat ze souboru ve formátu RNDF. Načítaný soubor musí být umístěn v adresáři spuštěného programu a musí být pojmenovaný jako *rndf.txt*. Jedná se v podstatě o soubor naměřených bodů uložených v dané struktuře ve formátu WGS-84. Příklad takového souboru můžeme nalézt na internetových stránkách věnovaných robotice [17]. Napravo od tlačítka *Read_RNDF*, kterým se načtou data seznamu bodů, je editační okno. Do toho okna se zadávají názvy jednotlivých segmentů např. „*ABCCBA*“. Tento zápis nám říká, že

body, které se budou zapisovat do seznamu v tabulce tak, že se vypisují body A segmentu A,B a C. Segment C je zadán znovu, a proto se začnou body zapisovat v obráceném pořadí, to samé platí i pro ostatní segmenty. Říkáme programu, aby vypsal body segmentů A, B, C do tabulky a pak se vrátil zpět do počátečního bodu přes tyto segmenty. Vložené body do tabulky si můžeme také uložit do souboru *waypoints.txt* tlačítkem *SaveToFile*. Tento soubor již není ukládán ve formátu RNDF. Jsou v něm pouze uloženy relativní souřadnice bodů a souřadnice UTM referenční stanice, při kterých se uložil. Chceme-li načíst tyto souřadnice musíme u záložky *Base* nastavit do tyto hodnoty editačního pole UTM X a UTM Y, aby to odpovídalo skutečnosti. Načtení provedeme tlačítkem *Read_File*.



Obrázek 8.6 Záložka Waypoints

NMEA – zde si zapínáme či vypínáme jednotlivé věty protokolu NMEA. Pro záložku *Position*, aby se korektně zobrazovaly informace je nutné mít povoleny věty POS, RMC a UTM. Tyto věty se automaticky zapnou po stisku tlačítka pro načtení souřadnic pro referenční stanici v bloku *Base*.



Obrázek 8.7 Záložka NMEA

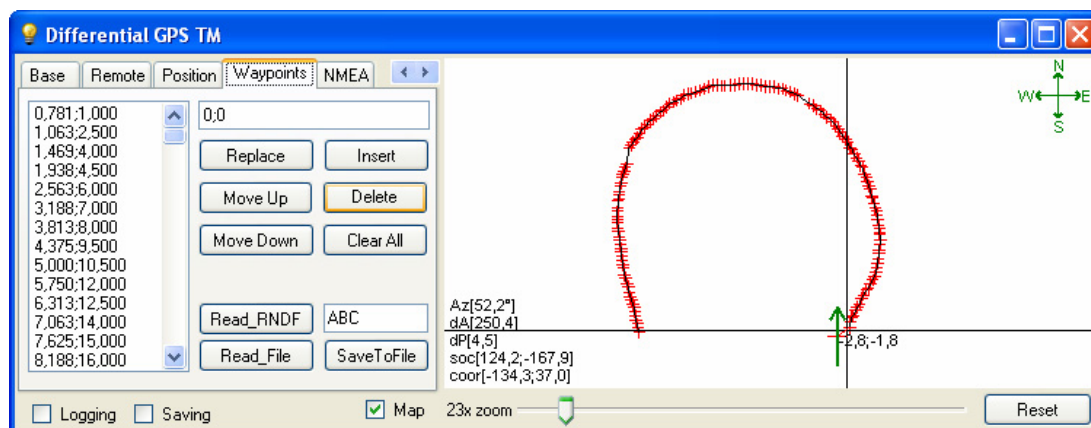
8.4.2 Mapa se zadanými body

Pro vizuální představu zadaných waypointů u záložky *Waypoints* byla vytvořena mapa s těmito body. Body jsou sice zadány v tabulce, ale je velice obtížné představit si je v reálném prostředí. Po stisknutí zatrhacího pole *Map* se zobrazí právě tato mapa, kterou můžeme vidět obrázku 8.8.

Můžeme vidět kříž, který představuje počátek souřadného systému, kde se teoreticky nachází referenční stanice. Orientaci na mapě znázorňuje symbol světových stran vpravo nahore. Vzdálená stanice je označena zelenou šipkou s červeným křížkem představující pozici vůči počátku (např. referenční stanice). Počátek souřadnic lze změnit. Pro lepší čtení z mapy se pod tímto bodem vypisuje text se souřadnicemi vzdálené stanice udávaných v metrech.

Šipka v současné době představuje azimut resp. natočení vůči severu, který se získá z GPS přijímače. Pokud se tedy vzdálený přijímač nepohybuje měl by být azimut roven 0° . Tato vlastnost samozřejmě není žádoucí, protože když se robot začne otáčet kolem své osy na místě ztratíme informaci o aktuálním úhlu natočení. Proto by bylo vhodné při implementaci na robota využít fúzi dat z více čidel např. akcelerometru, gyroskopu a GPS pro určení azimutu.

Na mapě dále vidíme waypointy označené červenými křížky, tak jak jsou napsány v tabulce waypointů. Sousední body jsou spojeny mezi sebou černou čarou. První waypoint, tzn. bod položený nejvýše v tabulce je na mapě spojen červenou úsečkou s pozicí vzdáleného přijímače. Tato křivka reprezentuje jak azimut, pod kterým se má robot pohybovat, tak i vzdálenost těchto dvou bodů. V levé dolní části mapy jsou některé informace, které mohou být důležité.



Obrázek 8.8 Jednoduchá mapa s waypointy

Proměnná Az informuje o tom, na jaký azimut se má natočit robot, aby směřoval přímo k prvnímu waypointu, dP sděluje vzdálenost mezi prvním waypointem a aktuální pozicí, dA říká jakou celkovou vzdálenost musí robot projet k poslednímu bodu, soc představuje souřadnice středového kříže vůči původní hodnotě. Lze totiž myší posunovat mapou. Proměnná $coord$ zase představuje souřadnice kurzoru myši vztažené k mapě. To je výhodné pokud chceme zjistit souřadnice určitého bodu, stačí nad tento bod najet myší a tím zjistíme přibližné souřadnice.

Další vlastností, kterou mapa disponuje je změna zobrazujícího měřítka posuvníkem umístěným pod mapou. Pokud stiskneme na tlačítko *Reset* vpravo dole pod mapou, nastavíme měřítko mapy na původní hodnotu a počátek se přesune opět do středu mapy.

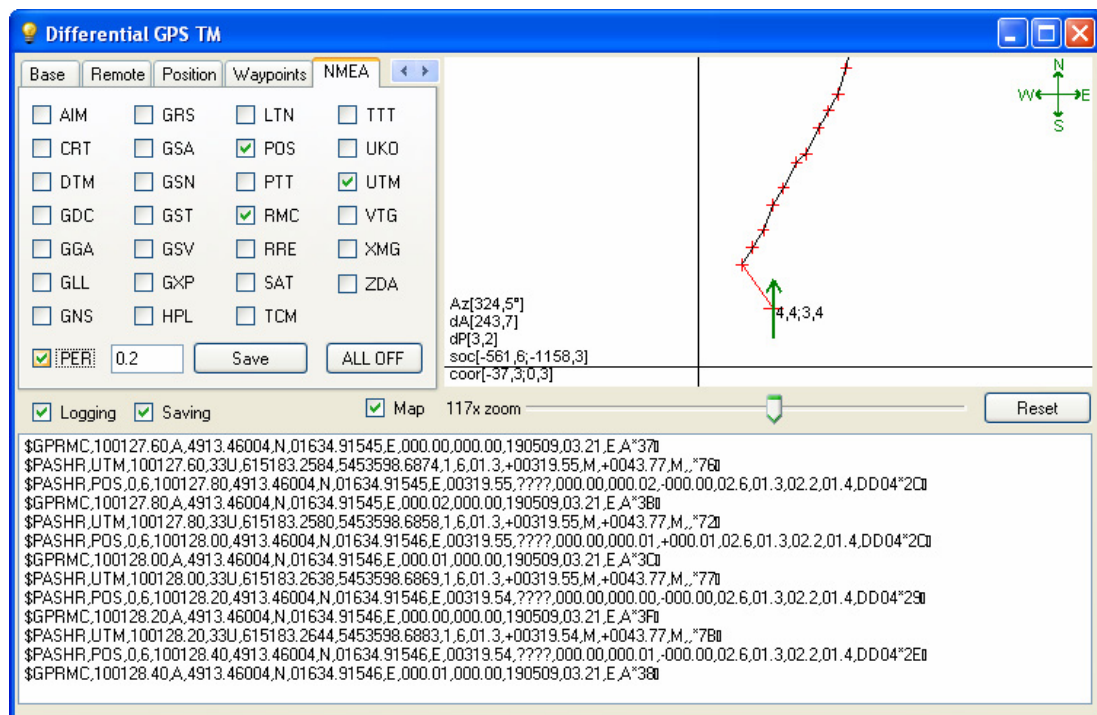
Jakmile se vzdálený přijímač přiblíží do okruhu 1 m od prvního waypointu, potom tento bod zmizí jak s tabulky, tak i z mapy. Body můžeme bez problému za chodu přidávat či odebírat viz záložka *Waypoints*.

8.4.3 Přenášená data

Pokud chceme vědět co se odehrává při příjmu na dat z přijímače, stačí kliknout na políčko *Logging*, a tím se otevře další část okna znázorněného na obrázku 8.9.

Ve spodní části okna je vidět veškerá komunikace ze strany přijímače GPS signálu. Tento blok byl velice důležitý při návrhu tohoto programu. Bylo pak jednoduché si přímo ověřit přijmutí příkazů přijímačem uvedených v jeho dokumentaci (zapínání či vypínání jednotlivých NMEA vět).

Pro pozdější záznam všech dat na sériové lince můžeme využít zatrhvacího tlačítka *Saving*. Tím zajistíme uložení dat při komunikaci do souboru *StreamGPS.txt*. Soubor můžeme využít pro pozdější analýzu a zpracování naměřených dat. Při ukládání dat se zaznamenávají datum i čas, jenž jsou získány z GPS snímače.



Obrázek 8.9 Celkový pohled na okno programu (nastavení, mapa, data)

9. TESTOVÁNÍ SYSTÉMU

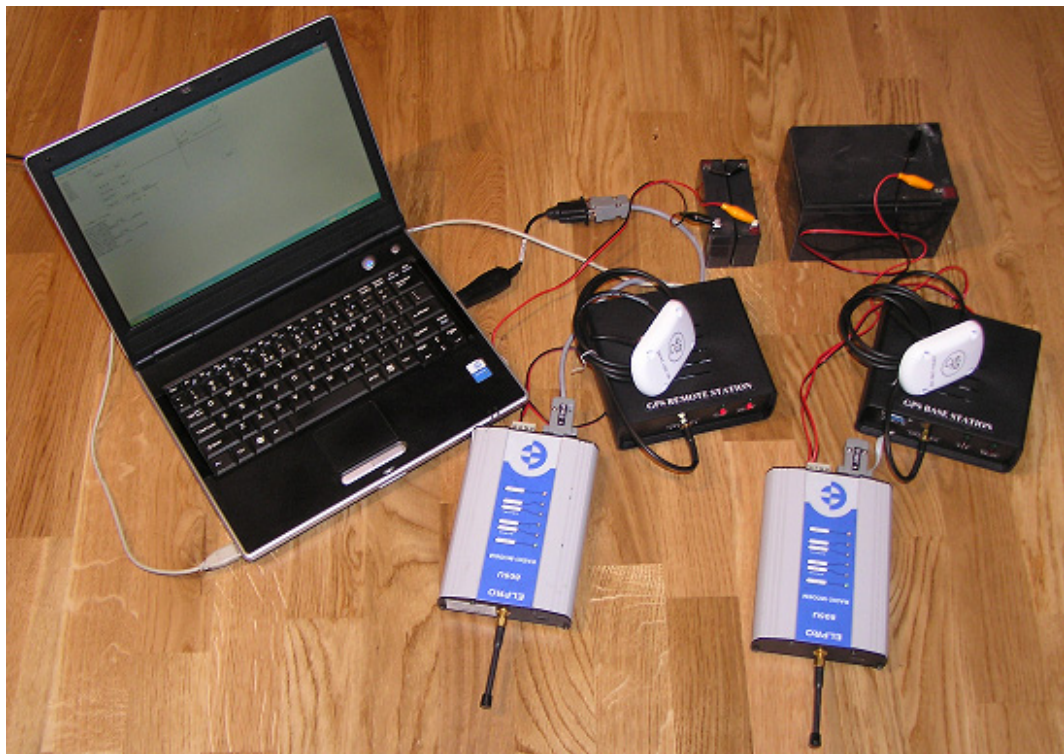
Na obrázku 9.1 je vidět skutečná podoba vytvořeného diferenciálního GPS systému. Jako napájení pro obě dvě stanice jsou použity dvě gelové 12 VDC baterie s kapacitou 12 Ah. Je tedy možné využít jednu baterii na straně *remote station* k napájení notebooku. Popíšeme si nyní z čeho se skládají GPS stanice a jak mezi sebou komunikují.

REMOTE STATION:

- vývojový kit DG14 Magellan + ochranný obal + propojovací kabely
- bezdrátový radiový modul 805U ELPRO + anténa
- externí GPS anténa
- notebook se sériovou linkou a vytvořeným programem

BASE STATION:

- vývojový kit DG14 Magellan + ochranný obal + propojovací kabely
- bezdrátový radiový modul 805U ELPRO + anténa
- externí GPS anténa



Obrázek 9.1 Náhled na praktickou realizaci DGPS systému

Komunikace probíhá takovým způsobem, že *base station* má v sobě uložené souřadnice své skutečné polohy, které pro referenční způsob měření nemusí být nijak přesné, přijímá signál z GPS družic, vyhodnotí rozdíl mezi statickou uloženou polohou a vypočtenou. Tento rozdíl resp. korekci zašle pomocí přes radiové moduly do druhé stanice – *remote station*. Ta se automaticky přizpůsobí těmto korekcím a na výstupu z této stanice již dostáváme výslednou přepočtenou hodnotu. Na obou stanicích můžeme zapínat či vypínat různé funkce. Jednou z nich je např. Kalmanův filtr, který jsme při měření měli aktivovaný.

9.1 LASEROVÝ MĚŘIČ VZDÁLENOSTI

Pro přesné určení vzdálenosti dvou GPS stanic (*remote – base station*) jsme použili laserový měřič vzdálenosti DISTO™ A5 od výrobce Leica.

Technické parametry:

<i>Dosah:</i>	0.05 m až 200m
<i>Přesnost měření:</i>	do 30m: +/- 1.5 mm, nad 30m až +/- 10mm
<i>Laser třídy:</i>	II
<i>Odolnost IP:</i>	IP 54
<i>Hmotnost:</i>	241g
<i>Další specifikace:</i>	integrovaná vodováha, integrovaný teleskopický hledáček



Obrázek 9.2 Laserový měřič vzdálenosti DISTO A5

9.2 PŘESNOST DGPS V RELATIVNÍCH SOUŘADNICÍCH

Pojem relativní souřadnice v tomto případě znamená, že existuje někde námi zvolený bod o nulových souřadnicích a k tomuto bodu se vztahují všechna měření.

K tomuto testovacímu měření se použilo kromě již výše zmiňovaného DGPS systému ještě laserové měřidlo vzdálenosti, pomocí něhož jsme si přesně definovali prostor dle obrázku 9.3. Byla tedy vytvořena proto polopřímka (definovaná oblast), na které jsme si stanovili 8 bodů označených čísly 0 až 7. V tomto jednoduchém prostoru si můžeme vyzkoušet zda s rostoucí vzdáleností *remote station* od referenčního bodu tj. *base station* se mění chyba měření.

Dále přistoupíme k postupu samotného měření. Nastavíme na *base station* souřadnice, od kterých potom budeme odčítat aktuální souřadnice *remote station*. Souřadnice v tomto stádiu testování mohou být jak v systému WGS-84 tak i v UTM.

Zvolíme si UTM souřadnicový systém z toho důvodu, že tento systém nám zaručuje uplatnění Pythagorovy věty a za předpokladu stejné nadmořské výšky stejné zóny UTM (v našem případě to byla zóna 33U). Tento popsany postup si ukážeme na následujícím příkladu.

- **Nastavení base station:**

- zeměpisná délka
- zeměpisná šířka
- výška
- další nastavení dle potřeb uživatele

- **Nastavení remote station:**

Zde si v programu jen zaškrtneme příslušná pole:

- RTCM,REM
- RTCM,AUT
- další nastavení dle potřeb uživatele

Další parametry nastavení byly probrány v kapitole 8.4.

- **Měření relativních souřadnic vzdálené GPS:**

Nyní přistoupíme k měření dat. Na počátku jak se nastavovali souřadnice u *base station*, tak jsme si vyčetli ze snímače, že souřadnice v systému WGS-84 odpovídají těmto souřadnicím v systému UTM tj. X_0 a Y_0 .

Dále pokračujeme tak, že přesuneme vzdálený GPS modul do určité změřené vzdálenosti od referenční stanice. A určitou dobu (přibližně 10 minut) na tomto místě ukládáme naměřená data. Je důležité podotknout, že čím delší bude doba měření, tím dostáváme věrohodnější výsledky. Po zprůměrování těchto dat jsme určili, že výsledné souřadnice v UTM systému *remote station* jsou X_1 a Y_1 .

- **Výpočet vzdálenosti dvou přijímačů**

Pro ulehčení dalších výpočtů provedeme rozdílovou korekci tzn. výsledná souřadnice vzdálené GPS bude:

$$X = X_1 - X_0 \text{ [m]} \quad (9.1)$$

$$Y = Y_1 - X_0 \text{ [m]} \quad (9.2)$$

Tímto jsme získali zjednodušení a prohlásili jsme hodnoty X_0 a Y_0 za nulové. Pomocí rovnice 9.3 si určíme vzdálenost mezi přijímači:

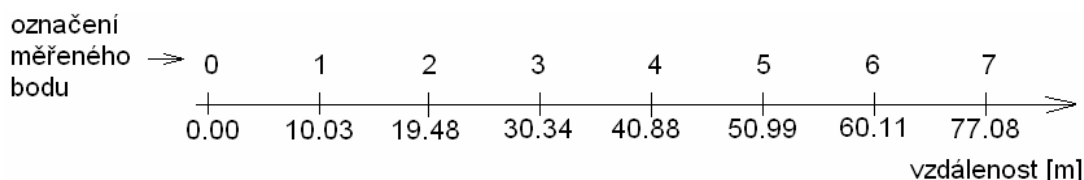
$$D = \sqrt{X^2 + Y^2} \text{ [m]} \quad (9.3)$$

- **Výpočet směru**

Pokud bychom chtěli určit i bod, který leží na kružnici, jenž nám udává onu vypočtenou předchozí vzdálenost, mohli bychom použít například kompas k určení směru od referenční stanice. Dalším možným způsobem je pohybuující se vzdálená stanice a na základě tohoto pohybu určit také azimut přímo z GPS přijímače. Tento způsob je velice nepřesný kvůli malé rychlosti pohybu snímače při testování. Bohužel kompas nebyl k dispozici a bez instalace vzdálené GPS na nějaké pohybuující se zařízení (např. vozidlo na kolejích) po přesně definované dráze byla tedy zvolena metoda třetí. Ta spočívala v tom, že se změřilo pomocí laserového snímače vzdálenosti více bodů na této přímce s přesností řádově centimetry. Hodnoty naměřené DGPS systémem byly proloženy přímkou a tím se určil směr.

Pro výpočet parametrů rovnice přímky se použily body změřené DGPS systémem. Pomocí nástroje MATLAB a jeho funkce *medián*, která odstraní šum v datech, vyfiltrujeme jednotlivé body jimiž bude proložena přímka. Funkcemi *polyfit* a *polyval* určíme onu rovnici přímky. Tato přímka je na obrázku 9.4 znázorněna modrou čárkovanou čarou.

Tabulka 9.1 představuje souřadnice laserového i DGPS měření. Hodnota *D* představuje vzdálenost mezi dvěma přijímači GPS měřenou laserovým snímačem. Hodnoty *laser_x* a *laser_y* jsou souřadnice v x-ových a y-ových osách námi vytvořeného systému. Souřadnice *x* a *y* byly odečteny z grafu na obrázku 9.4. Ty představuje průnik kružnice (znázorňující přesnou vzdálenost přijímačů GPS) a vypočtená přímka. V tom samém systému jsou zaneseny ještě souřadnice bodů změřených DGPS systémem tj. *x_dgps* a *y_dgps*.



Obrázek 9.3 Grafické znázornění měřených bodů

- **Naměřená data výsledky měření**

Na obrázku 9.4 jsou vidět záznamy z celého měření. Bylo provedeno celkem 8 měření označených čísly 0 až 7. Nula odpovídá pozici přímo referenční stanice tj. počátek systému a ostatní čísla korespondují s měřenými body jak je uvedeno na obrázku 9.4.

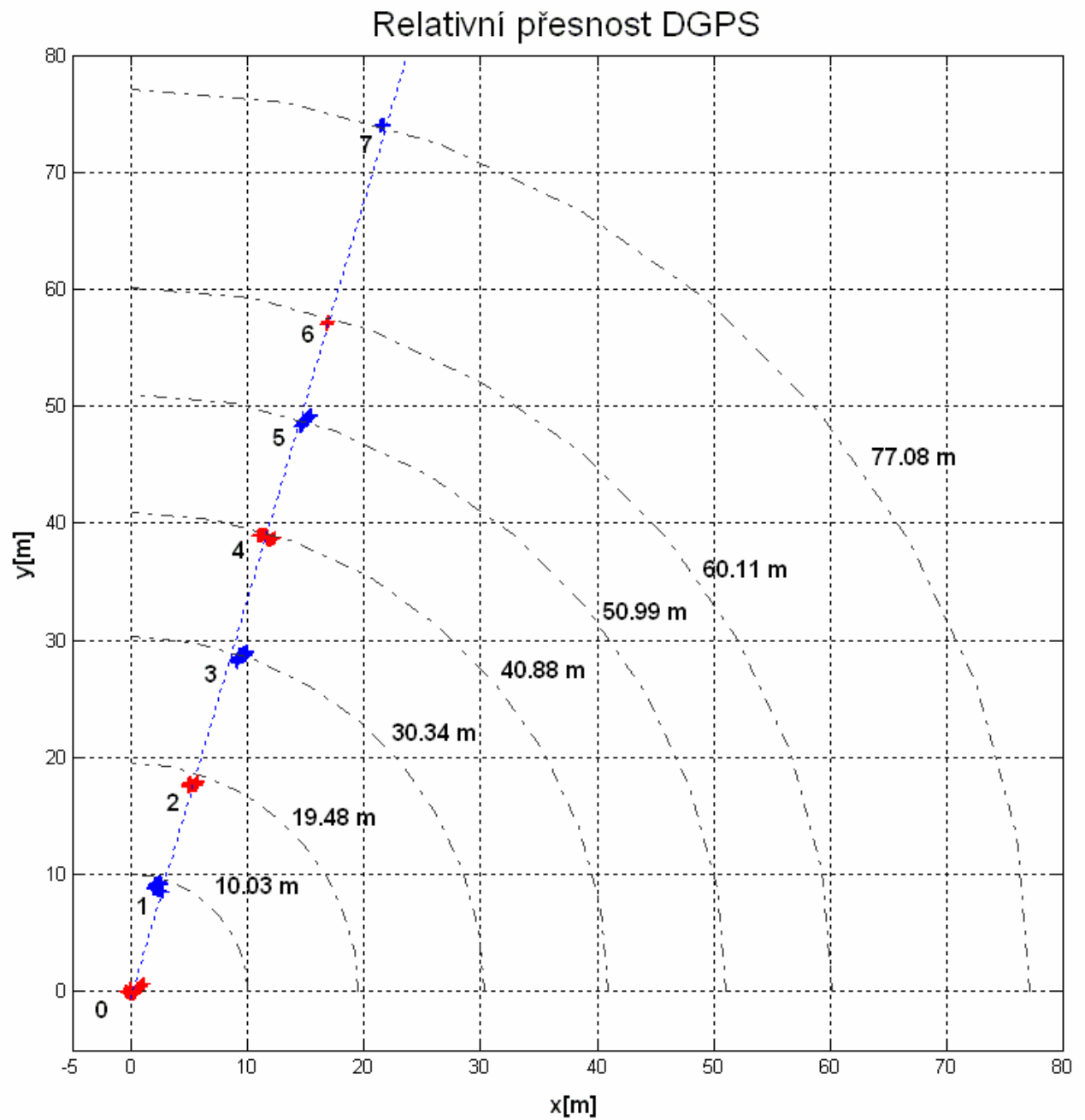
Pro všechny měřené body (0 až 7) byly vytvořeny detaily v přílohách 1 až 4, ze kterých je viditelná maximální chyba při konkrétních měřeních. Nebyl tedy použit výpočet, nýbrž grafické odečtení této chyby v programovém prostředí MATLAB.

měřený bod	1	2	3	4	5	6	7	popis
D_laser [m]	10.03	19.48	30.34	40.88	50.99	60.11	77.08	vzd. měřená laserem
x_laser [m]	2.98	5.64	8.69	11.65	14.50	17.06	21.83	laser x
y_laser [m]	9.55	18.58	28.96	39.04	48.70	57.42	73.5	laser y
x_dgps [m]	2.54	5.55	9.19	11.17	15.41	16.86	21.44	median dgps x
y_dgps [m]	9.19	17.69	28.46	30.1	49.14	57.21	73.96	median dgps y
odchylna [m]	1.29	1.31	1.30	0.85	1.16	0.52	0.57	max. chyba měření

Tabulka 9.1 Určení maximální chyby při měření DGPS

Poznámka k tabulce 9.1: Výsledné chyby jednotlivých měření jsou graficky znázorněny v příloze 5. Je zde vidět a to byl i smysl tohoto měření ověřit si, že s rostoucí vzdáleností dvou přijímačů se přesnost GPS nezmenšuje a je přibližně konstantní. Tyto vzdálenosti byly brány jako „nejhorší možné“ naměřené hodnoty, tzn. největší vzdálenosti od změřených bodů pomocí laserového měřiče. Testování probíhalo na vzájemné vzdálenosti přijímačů od 0 m do 77.08 m. Naměřená maximální vzdálenost mezi hodnotami měřenými laserovým měřičem vzdálenosti a DGPS systémem byla 1.31 m ve druhém měřeném bodu, tj. ve vzdálenosti 19.48 m. Střední hodnota chyby byla stanovena na 1.0 m, což přibližně odpovídá i údajům výrobce tj. horizontální chyba 0.90 m s pravděpodobností 95 %.

Snímače používající se v mobilní robotice jako akcelerometry, gyroskopy aj. integrují do sebe chybu, která s rostoucím časem resp. vzdáleností stále roste. Jak je vidět v příloze 5, tato chyba DGPS i u vzdálenosti 77.08 m od referenční stanice je přibližně konstantní a nezvětšuje se. Předpokládá se, že bude konstantní i tam, kde je zaručena viditelnost alespoň 6 satelitů GPS a komunikace mezi dvěma vzdálenými GPS moduly tj. přibližně na vzdálenost 5 km.



Obrázek 9.4 Relativní přesnost DGPS

9.3 PŘESNOST DGPS V ABSOLUTNÍCH SOUŘADNICÍCH

Výraz absolutní souřadnice v tomto případě znamená, že nemáme nikde námi pevně zvolený nulový bod, ale že se „opíráme“ resp. měříme stále v souřadnicích WGS-84 a nijak je nepřepočítáváme.

Pokud bychom si chtěli například určit s jakou přesností v globálních souřadnicích WGS-84 se nachází přijímač v konkrétním bodě použijeme tuto metodu. Nejdůležitější bylo nalezení bod o přesných souřadnic – řádově milimetry. Inspiroval jsem se tedy Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním, který na svých internetových stránkách [7] dává k dispozici tyto změřené body. Uvedu zde pouze základní postup jak se dá tato metoda uskutečnit.

Nejprve je nutné si najít tento zeměměřičský bod na internetových stránkách CUZK a vyhledat si jej v terénu. Většina těchto bodů je zaznamenána v souřadném systému S-JTSK, který je nutno převést do systému WGS-84 a UTM.

Absolutní měření je obdobné jako u relativního s tím rozdílem, že je možnost měřit na jednom místě (přímo nalezený bod). Problém této metody spočívá v tom, že čím přesněji budeme mít zjištěné souřadnice nalezeného bodu, tím bude měření dosahovat lepších výsledků přesnější.

Měření oběmi metodami (DGPS i GPS) probíhalo 60 minut tak, že se prvních 60 minut zaznamenávali data ze systému DGPS a hned po ukončení této metody se nastavilo měření pro samotný přijímač GPS bez příjmu korekcí. Porovnání obou metod měření můžeme vidět na obrázku 9.6.

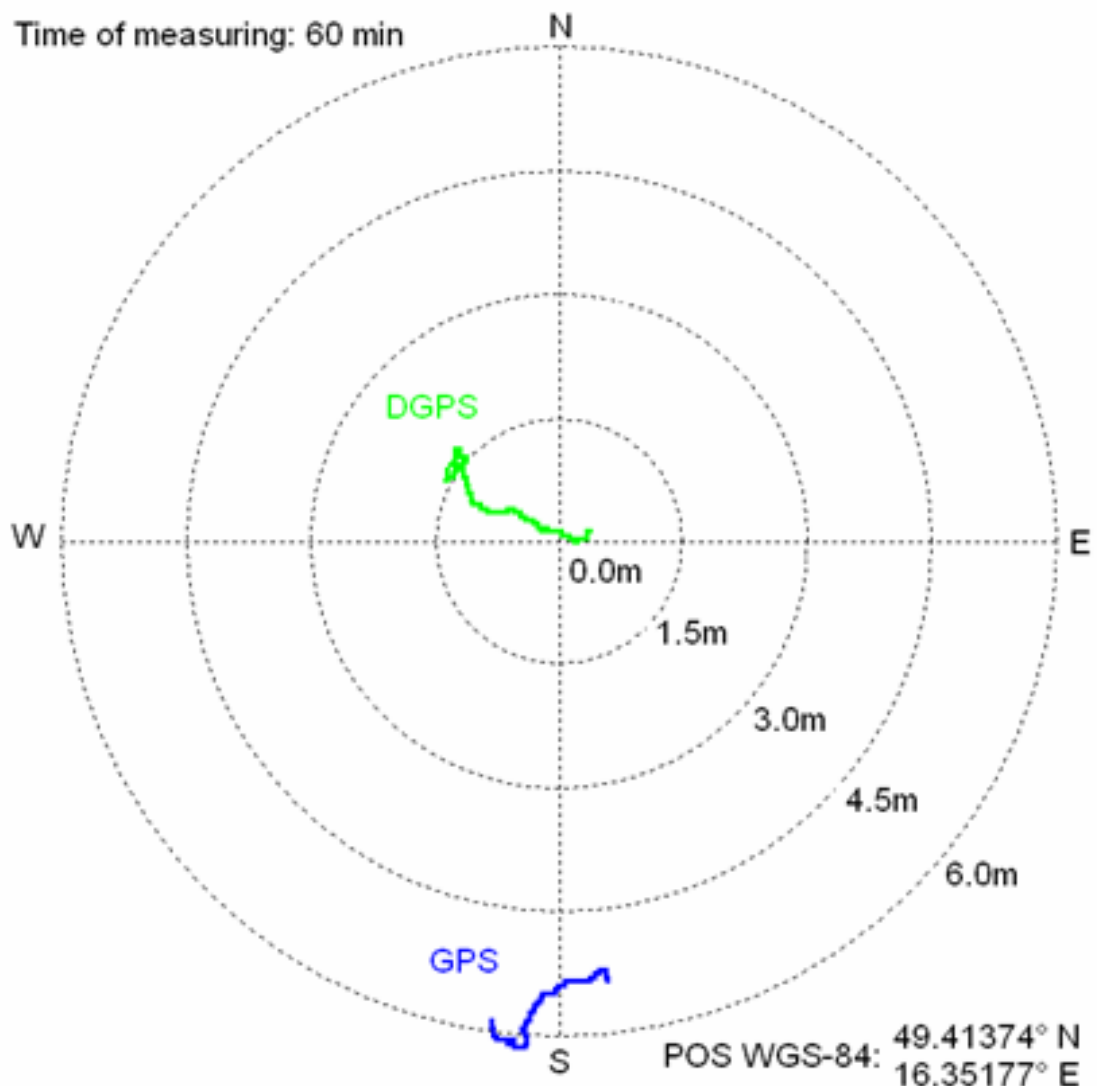
Zde je vidět, že i když se oba přijímače nacházeli v těsné blízkosti a počet viditelných družic se pohyboval kolem 10, tak tolerance chyby byla kolem 1.5 m v okolí referenční stanice tedy i vzdálené stanice a s rostoucím časem se remote station jakoby přibližoval k uloženým/skutečným souřadnicím. Tato vlastnost se dá předpokládat.

Poté byl otestován ještě samotný GPS přijímač bez korekcí. Na obrázku 9.5 jsou rovněž znázorněny tyto naměřené hodnoty modrou barvou. Je vidět, že hodnoty mají malý rozptyl, ale zase změřená poloha přijímače byl posunuta o 5.5 m na jih od skutečné. Podmínky při měření byly srovnatelné s DGPS měřením.

K této metodě lze říci to, že se v praxi moc často nepoužívá. Vše lze jednoduše udělat pomocí relativní metody.

Uvedeme si konkrétní praktický příklad. V zadání soutěže Robotour 2009 je, že robot má projet body, které jsou zadávány v systému WGS-84 (uloženy v souboru RNDF). Tak si jednoduše první bod prohlásíme za nulový. Od ostatních waypointů se odečtou souřadnice původního prvního bodu. Tím se sníží i výpočetní nároky. A pracuje se pouze v relativních souřadnicích, což je mnohem pohodlnější a praktičtější pro tvorbu nějakého navigačního systému. Dále si tyto hodnoty převedeme na souřadný systém UTM nebo S-JTSK apod. systémy, aby se mohli určovat např. vzdálenosti mezi těmito body.

Je velice důležité pro tuto metodu, aby obě GPS jak referenční tak dynamická GPS viděli přibližně stejný počet družic a dále, aby jedna z nich nebyla zastíněna budovou či nějakým objektem, protože tyto objekty vytvářejí šum (vznikají odrazy GPS signálu a přijímač si myslí, že se nachází někde jinde tzv. multipath). Ideální případ by nastal, kdyby se robot i referenční stanice umístili na otevřenou plochu s přímým výhledem na oblohu a v okolí snímače nebyly žádné objekty, od kterých by se signál mohl odrážet.



Obrázek 9.5 Porovnání absolutní přesnosti DGPS a samotného GPS přijímače

9.4 ZKOUŠKA DYNAMICKÉHO REŽIMU

Na závěr byl proveden test, jak se přijímač chová pokud s ním začneme pohybovat. Tento test je pouze informativní, protože pohyb vzdáleného přijímače byl prováděn pouze přenesením z jednoho bodu do druhého po nijak přesně vymezené dráze. Samozřejmě snaha byla dosáhnout pohybu po přímce. Tento průběh je zaznamenán v příloze 6.

Jediné co na DGPS musíme změnit je dynamický režim u *remote station* viz. tabulka 8.1. Tato zkouška spočívala v tom, že se vzdálený přijímač umístil do nulových počátečních souřadnic tj. místo kde je anténa *base station*. Poté se aktivoval záznam souřadnic po zhruba 10 sekundách se přenesl vzdálený přijímač do bodu 1 a měření se zastavilo. Poté se nastavili opět parametry pro měření pohybu z bodu 1 do bodu 2, aktivovalo se zaznamenávání v bodě 1, kde se čekalo se taktéž 10 sekund a přijímač se potom přenesl do bodu 2. Tento postup se opakoval do doby, kdy se přijímač dostal do bodu 7. Poté se tentýž pokus provedl, ale v obráceném pořadí. Jak je znázorněno v příloze 6. Pohyb vzdáleného přijímače od referenční stanice je znázorněn modrou barvou a pohyb k referenční stanici je znázorněn červeně. Přesná dráha, po které by sem měl přijímač pohybovat je znázorněna čerchovanou černou přímkou.

Z grafu je patrně vidět, že při zpětném pohybu z bodu 7 do bodu 3 se zvětšila vzdálenost od stanovené dráhy. Tento jev mohl být způsoben například nedodržením dráhy pohybu nebo zastíněním výhledu snímače na družice. Jsou vynechány některé body měření kvůli časové náročnosti měření. Tato metoda byla zvolena hlavně pro představu jak se snímač chová při pohybu a co můžeme čekat v reálných podmínkách.

Pro přesnější měření by bylo potřeba vytvořit systém měřících bodů, kterými by se zjistili přesné souřadnice pohybujícího se objektu v definovaném čase. Tento čas by byl synchronizován se systémem GPS.

10. ZÁVĚR

Termín DGPS obecně sice znamená zpřesnění autonomní polohy pomocí diferenciálních korekcí z referenční stanice, ale v praxi se tento termín používá nejčastěji pro diferenciální kódové měření v reálném čase se submetrovou přesností. Nicméně technologie satelitního určování polohy umožňuje rovněž řádově přesnější měření v reálném čase s řádově centimetrovou přesností. Tato metoda se nazývá RTK a využívá kromě kódového řešení též určování fáze nosné vlny satelitního signálu.

Navíc kromě signálů šířených americkým satelitním systémem GPS umožňují současné přijímače sledovat a využívat signály ruského systému GLONASS a některé dokonce i v současnosti plánovaného evropského systému GALILEO.

Pokud se týká poskytovatelů diferenciálních korekcí, existují v České republice v podstatě dva hlavní zdroje korekcí. Jedná se o pozemní síť permanentních referenčních stanic:

TopNET poskytuje GPS-NAVSTAR / GLONASS korekce, má celoplošné pokrytí jen pro submetrové aplikace.

CZEPOS poskytuje pouze diferenciální korekce pro GPS-NAVSTAR, má však celoplošné pokrytí i pro přesné aplikace.

Pokud bychom měli řídit mobilní robot, nabízí se tedy využití přesné aparatury pracující na principu RTK s řádově centimetrovou přesností. Jestliže by měl pohyblivý robot v databázi podrobný 3D model terénu, mohl by se spolehlivěji vyhýbat překážkám a sledovat stanovenou trasu.

Velký důraz je třeba klást na viditelnost co největšího počtu dostupných satelitů. Dá se říci, že pokud klesne počet sledovaných satelitů pod 6, stává se řešení přesné polohy nejisté a hrozí nebezpečí ztráty fixace polohy a přesnost bude řádově s metrovou odchylkou. Při měření v otevřeném terénu, kde je dobrý výhled na celou oblohu by se to stávat příliš často nemělo. V reálné praxi, kde výhled cloní budovy, stromy, terénní překážky apod. se to může stávat poměrně často. V této chvíli nepomůžou ani nové satelitní signály šířené z GPS-NAVSTAR, protože překážka, která zakryje satelit, zakryje současně všechny signály z tohoto satelitu. Řešením je

přidat více satelitů a to v současnosti pomohou satelity GLONASS nebo v budoucnosti i systém GALILEO. Již dnes jsou na trhu přijímače schopné sledovat a zpracovávat signály všech tří satelitních systémů, i když GALILEO ještě není v provozu. Námí použitý přijímač získává informace z GPS i GLONASS systémů. Výkony takových přijímačů se budou časem zlepšovat, tak jak poroste počet satelitů GLONASS a GALILEO. Nedá se prohlásit, že potom bude možné přesnou polohu určovat kdykoliv a kdekoliv, ale bude mnohem větší pravděpodobnost, že poloha bude zafixována i v místech, kde to doposud možné nebylo.

Zadáním diplomové práce bylo navrhnout systém pro diferenciální GPS. Dále navrhnout vhodný přenosový kanál a ověřit funkčnost a vlastnosti tohoto systému. Byl navržen a sestaven systém DGPS, u kterého byly ověřeny vlastnosti v reálných podmínkách tj. provedeny testy v relativních i absolutních souřadnicích a následné vyzkoušení dynamického režimu snímače GPS. Následně byl vytvořen program pro zpracování dat z DGPS systému. Celé zadání se tedy podařilo splnit v plném rozsahu. Nad rámec požadavků byla ještě do programu implementována mapa obsahující waypointy. Tyto body lze načítat z externího souboru ve formátu RNDP nebo z vlastního vytvořeného souboru. Můžeme je rovněž upravovat i za chodu běžící aplikace.

Na základě provedených měření a testů se tedy domnívám, že zařízení i program pro DGPS systém jsou vhodné jako součást navigačního systému autonomního mobilního robota, který se bude účastnit robotické soutěže Robotour 2009 v Brně.

11. SEZNAM LITERATURY

- [1] HRDINA, Zdeněk, PÁNEK, Petr, VEJRAŽKA, František. *Radiové určování polohy : Družicový systém GPS*. 1. dopl. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1999. 259 s. ISBN 80-01-01386-3.
- [2] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, WEIGEL, Josef, MACHOTKA, Radovan. Seminář GPS : Metodika GPS měření a vyhodnocení. *HE09 modul 01* [online]. 2007 [cit. 2008-05-04], s. 140.
- [3] BAIN, Jiří. EGNOS [online]. 2001 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <http://www.gpsweb.cz/egnos.htm>
- [4] ŠUNKEVIČ, Martin. *EGNOS* [online]. c2006-2008, 2007-02-12 [cit. 2008-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/EGNOS>>.
- [5] Wide Area Augmentation System [online]. 2000 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/WAAS>>.
- [6] LUŇÁK, Tomáš. Testování přesnosti měření GPS metodou RTK. [s.l.], 2007. 57 s. Bakalářská práce
- [7] *CZEPOS : Zeměměřický ústav* [online]. 2001 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://czepos.cuzk.cz/>>.
- [8] *Komora geodetů a kartografů* [online]. 1998, 17.03.2008 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <www.kgk.cz/SouboryClanku/Setkani_06_Taraba_CZEPOS.doc>.
- [9] *Diferenciální metody zpřesňování satelitní lokalizace* [online]. 2006 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2006010202>>.
- [10] *Snímání a zpracování údajů lokalizace dopravního prostěru* [online]. 2006 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=63>.
- [11] *TopNET od firmy GEODIS* [online]. [2007] [cit. 2008-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.geodis.cz/produkty/topnet>>.

- [12] *Základní informace o systému WGS-84* [online].2001 [cit. 2008-10-28].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/WGS_84>
- [13] *Základní informace o systému UTM* [online].2001 [cit. 2008-10-28]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/UTM>>
- [14] *Referenční manuál k DG14 Magellan*. Dostupný z příloženého CD:
<[//GPS_ref_manual/DG14_REFERENCE_MANUAL.PDF](http://GPS_ref_manual/DG14_REFERENCE_MANUAL.PDF)>
- [15] *Products : DG14* [online]. Magellan, c2008 [cit. 2008-12-31]. Dostupný z WWW: <<http://pro.magellangps.com/en/products/product.asp?PRODID=174>>.
- [16] *Informace o modulech RC1xx0/RC2xx0 RADIOCRAFTS* [online].
[cit. 2008-12-11]. Dostupný z WWW: <http://www.radiocrafts.com/uploads/rc1xx0dk_rc2x00dk_user_manual_3_2.pdf>.
- [17] DLOUHÝ, Martin. *RoboTour 2006 : Zdroje* [online]. 2001 , 2006-06-30
[cit. 2009-05-14]. Dostupný z WWW:
<<http://robotika.cz/competitions/robotour2006/src/cs>>.
- [18] Dekódování vět NMEA protokolu [online]. c1999-2007 [cit. 2007-02-23].
Dostupný z WWW: <<http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat>>.
- [19] Gantz, Chuck. Zdrojové kódy pro převod souřadnicových systémů na formát UTM [online]. 1996 [cit. 2007-03-26]. Dostupný z WWW:
<<http://www.gpsy.com/gpsinfo/geotoutm/>>.
- [20] *NAVIGAČNÍ SYSTÉM GPS - ZÁKLADNÍ INFORMACE* [online]. [1990] [cit. 2009-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.compexbrno.cz/gps-navigacni-system.html>>.

12. SEZNAM ZKRATEK

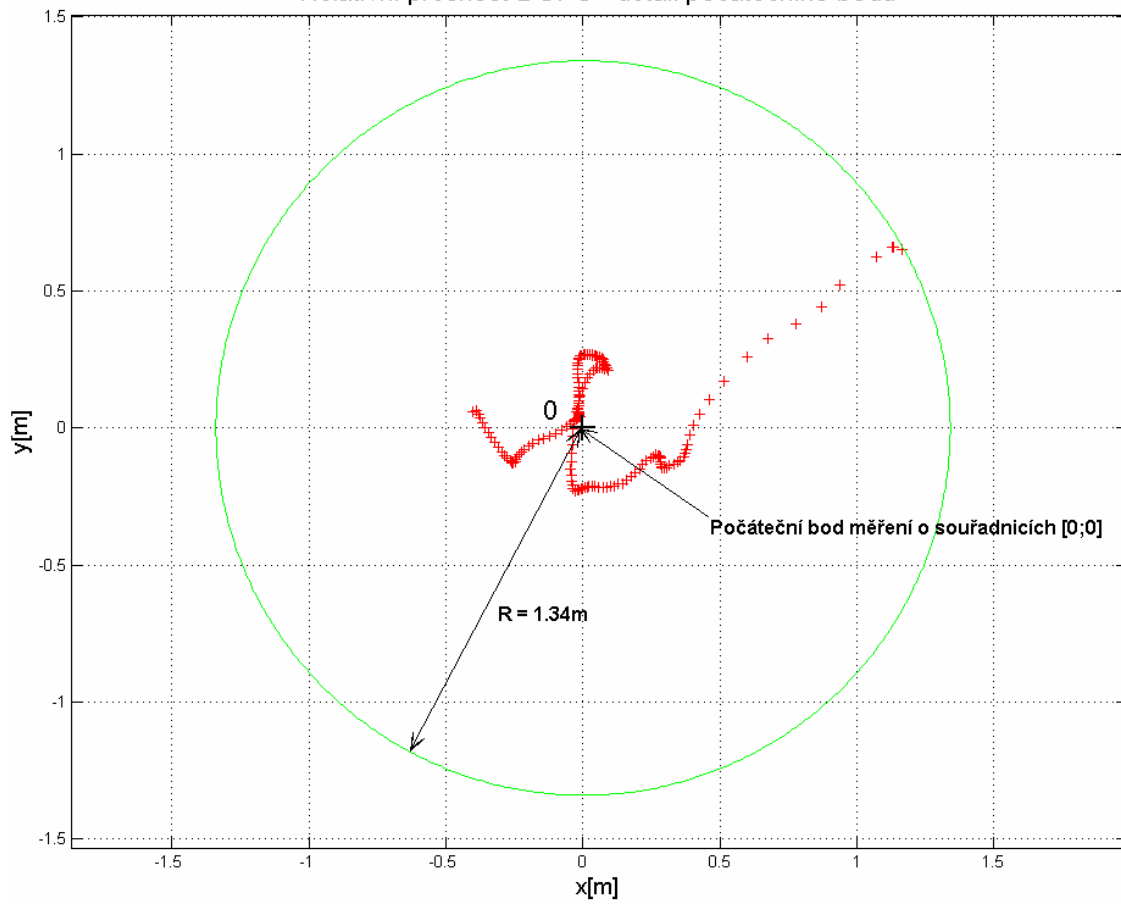
Zkratka	Popis
BEIDOU	Družicový navigační systém v Číně
CUZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
CWASS	Družicový navigační systém v Kanadě
CZEPOS	Síť permanentních GPS stanic v České republice
DGPS	Diferenciální GPS
DPS	Deska plošných spojů
EGNOS	Evropská podpůrná geostacionární navigační služba
GALILEO	Globální družicový polohový systém v Evropě
GLONASS	Globální navigační satelitní systém v Rusku
GNSS	Globální navigační satelitní systém
GPS	Globální polohový systém
MSAS	Družicový navigační systém v Japonsku
NMEA	Národní asociace pro námořní elektroniku
PRS	Pseudoreferenční stanice
RINEX	Formát pro předávání výsledků měření různými aparaturami GPS
RNDF	Road Definition Network File
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Měření GPS v reálném čase
SBAS	Satellite-based Augmentation System
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
UTM	Univerzální transversální Mercatorův systém souřadnic
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a katastrální
WASS	Družicový navigační systém v USA
WGS-84	Světový geodetický referenční systém 1984

13. SEZNAM PŘÍLOH

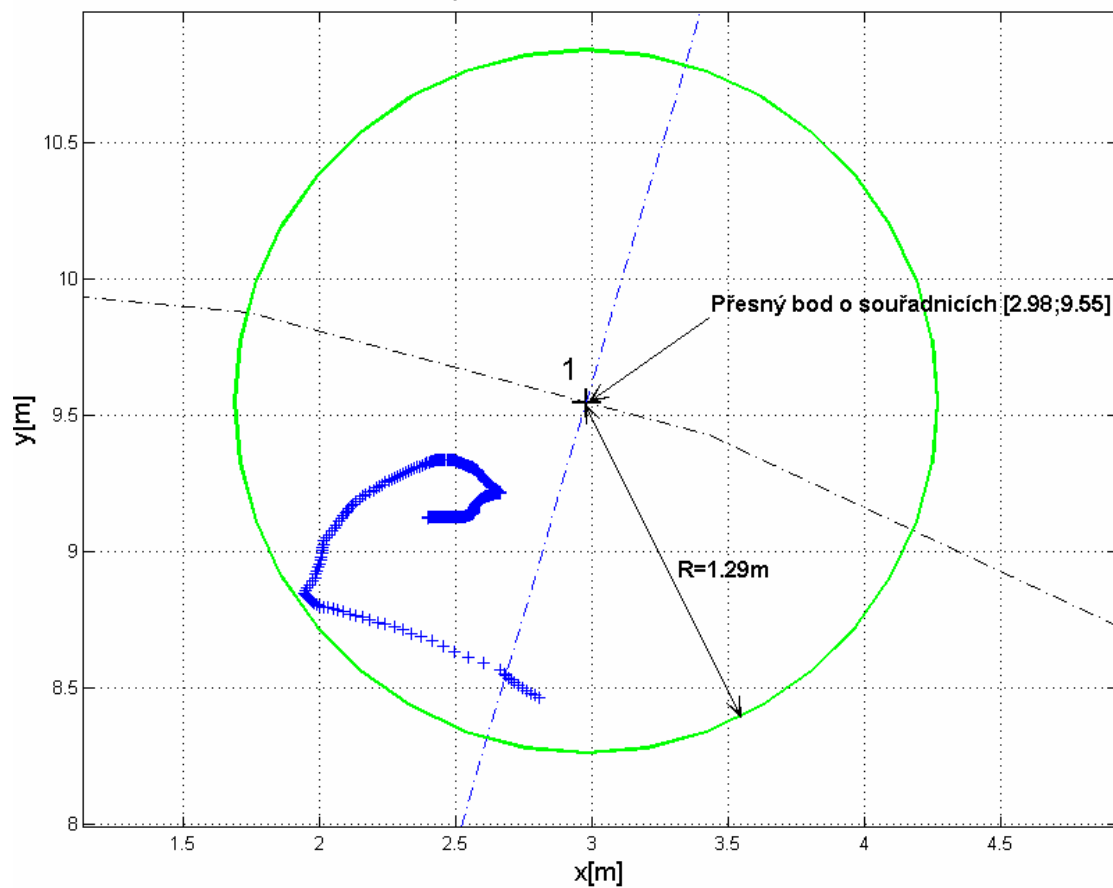
- Příloha 1** Relativní přesnost DGPS – detail 0. a 1. bodu
- Příloha 2** Relativní přesnost DGPS – detail 2. a 3. bodu
- Příloha 3** Relativní přesnost DGPS – detail 4. a 5. bodu
- Příloha 4** Relativní přesnost DGPS – detail 6. a 7. bodu
- Příloha 5** Závislost chyby DGPS systému na vzdálenosti přijímačů
- Příloha 6** Znázornění dynamického pohybu vzdáleného GPS
- Příloha 7** CD obsahující:
- elektronickou verzi diplomové práce
 - vytvořený program včetně zdrojových kódů
 - program pro nastavení radiových modemů Elpro 805U
 - změřená data při testování DGPS systému a jejich zpracování
 - balíček .NET Framework v2.0

Příloha 1

Relativní přesnost DGPS - detail počátečního bodu

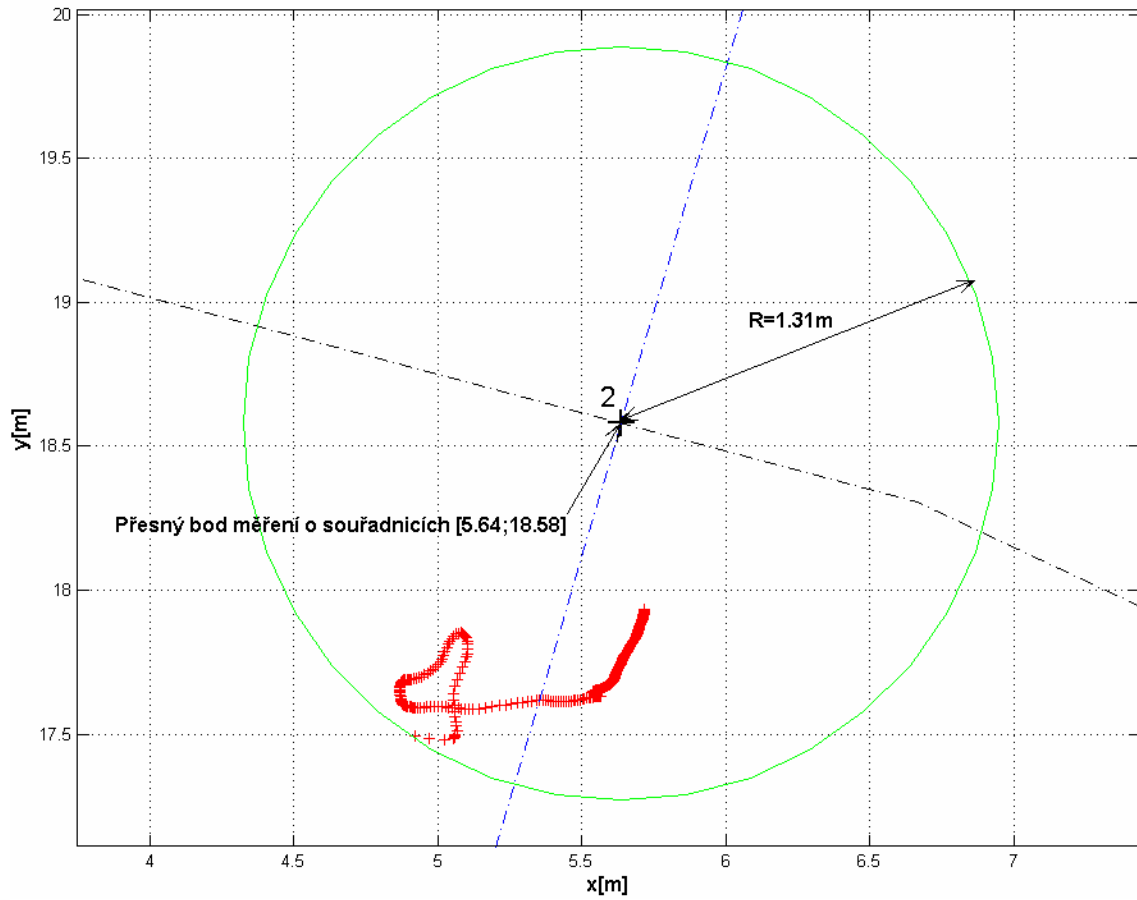


Relativní přesnost DGPS - detail 1. bodu

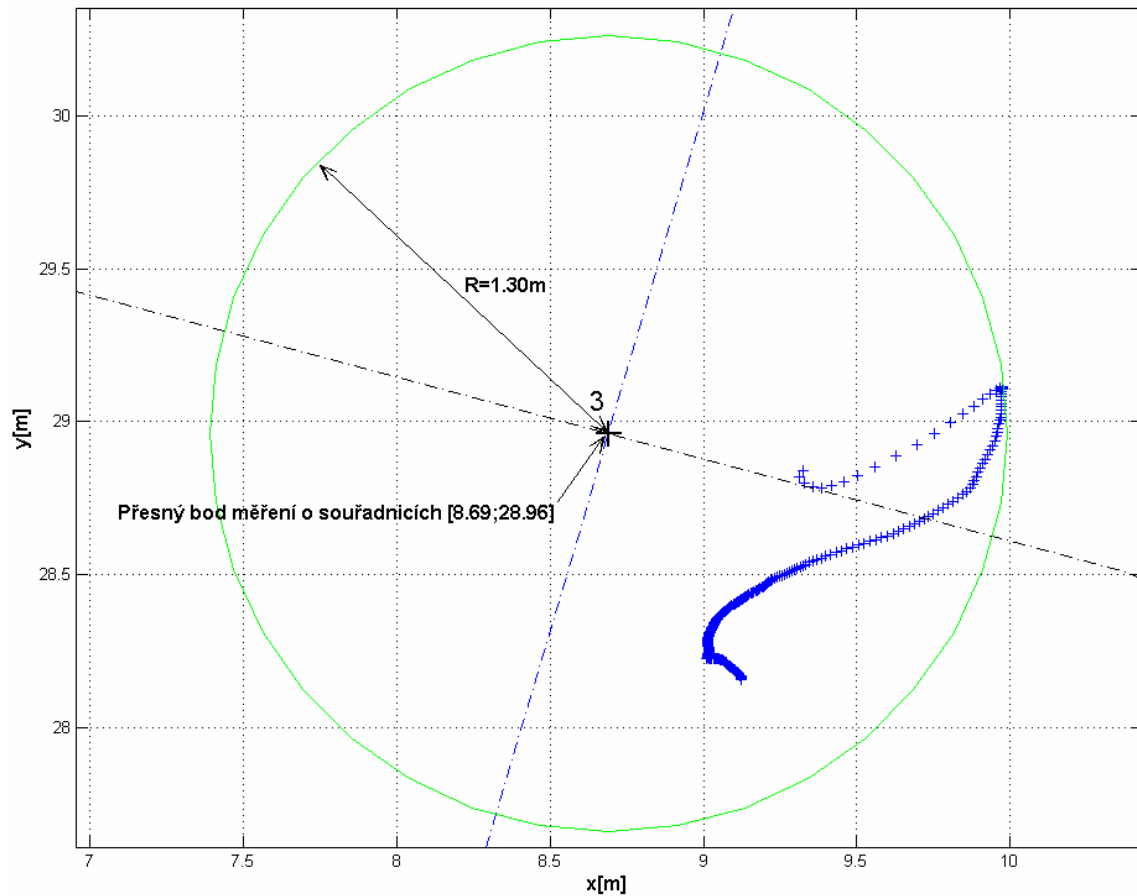


Příloha 2

Relativní přesnost DGPS - detail 2. bodu

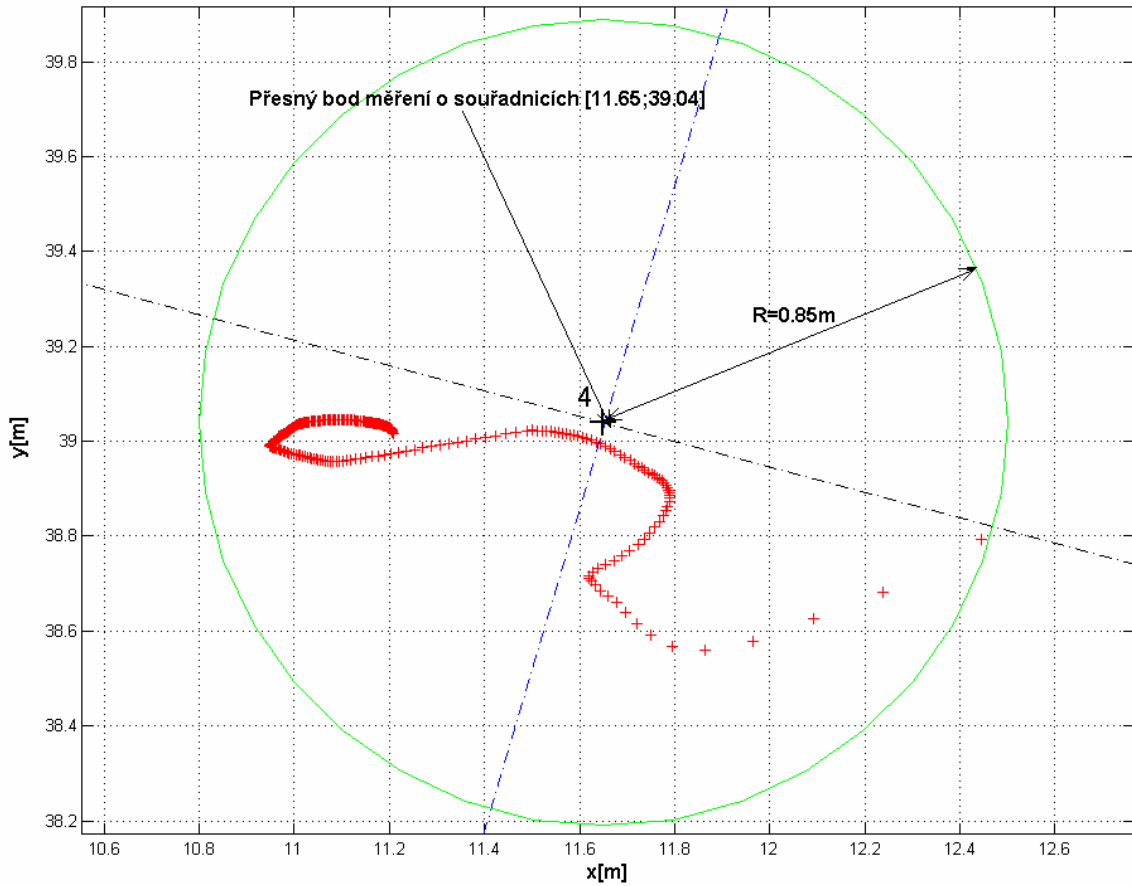


Relativní přesnost DGPS - detail 3.bodu

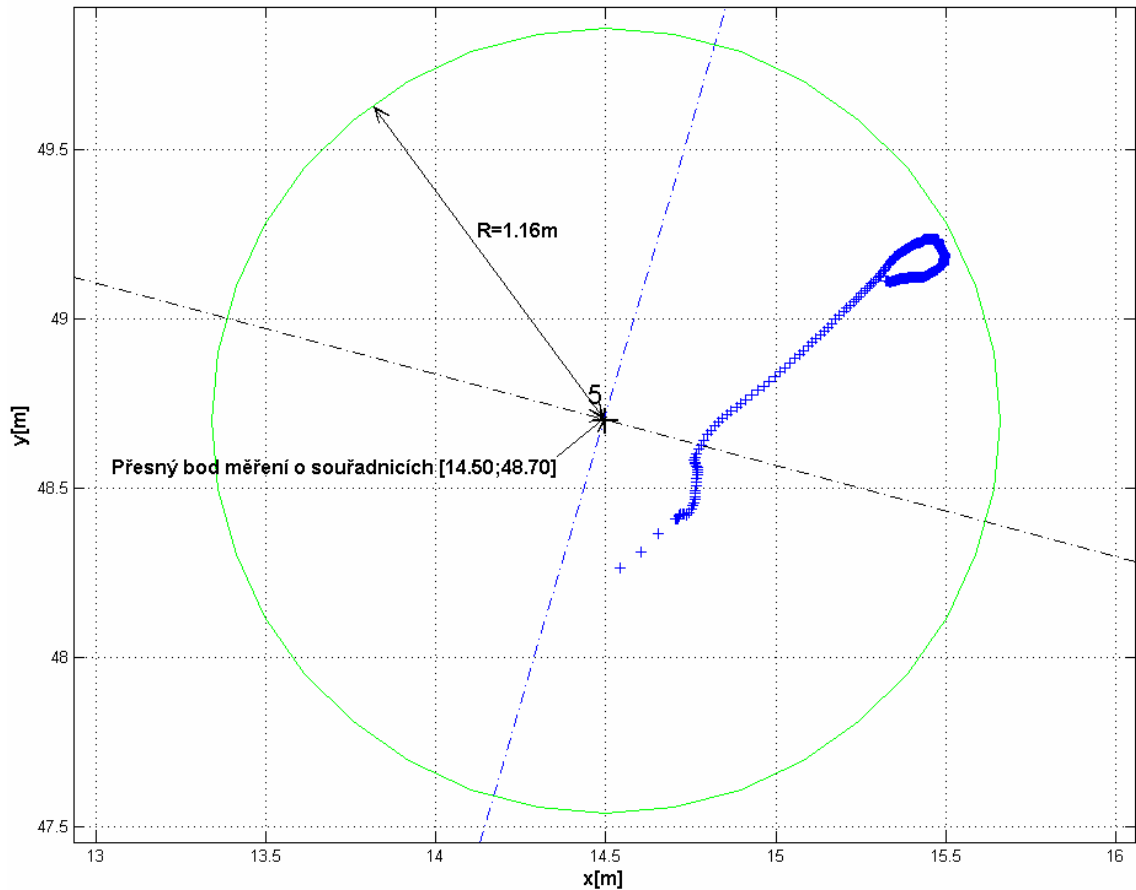


Příloha 3

Relativní přesnost DGPS - detail 4. bodu

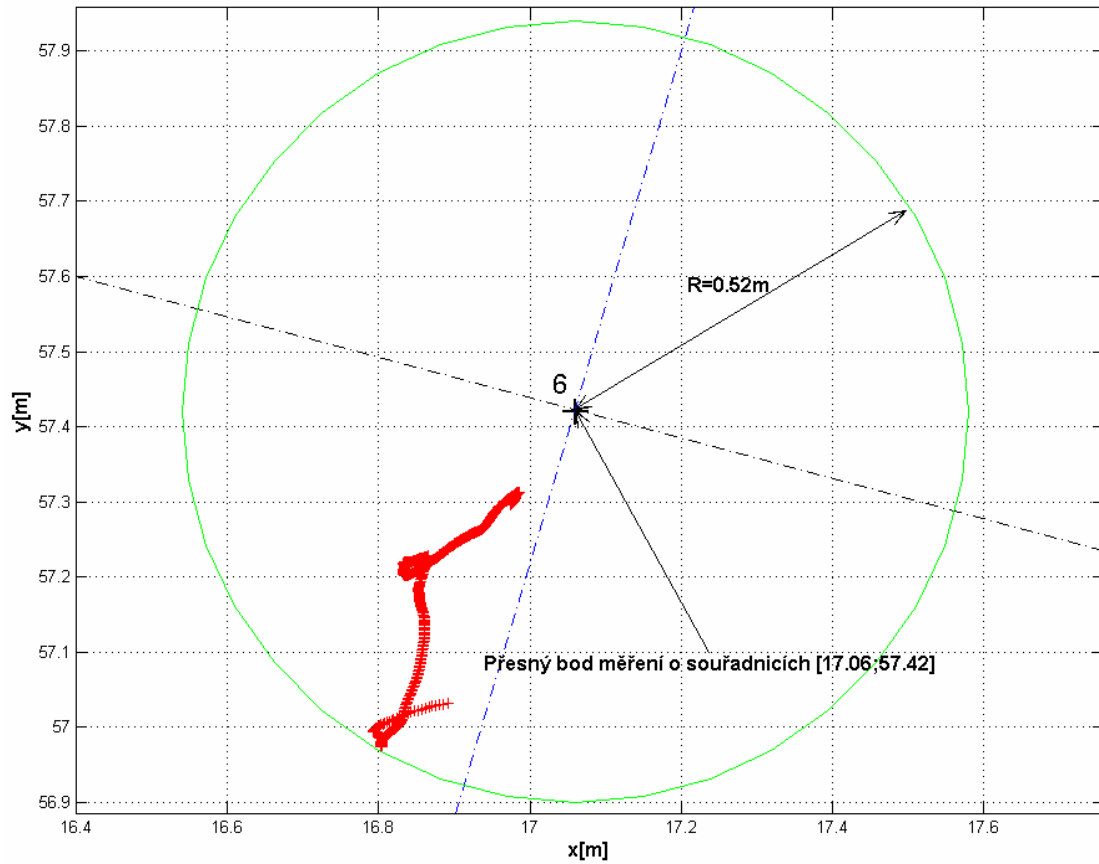


Relativní přesnost DGPS - detail 5. bodu

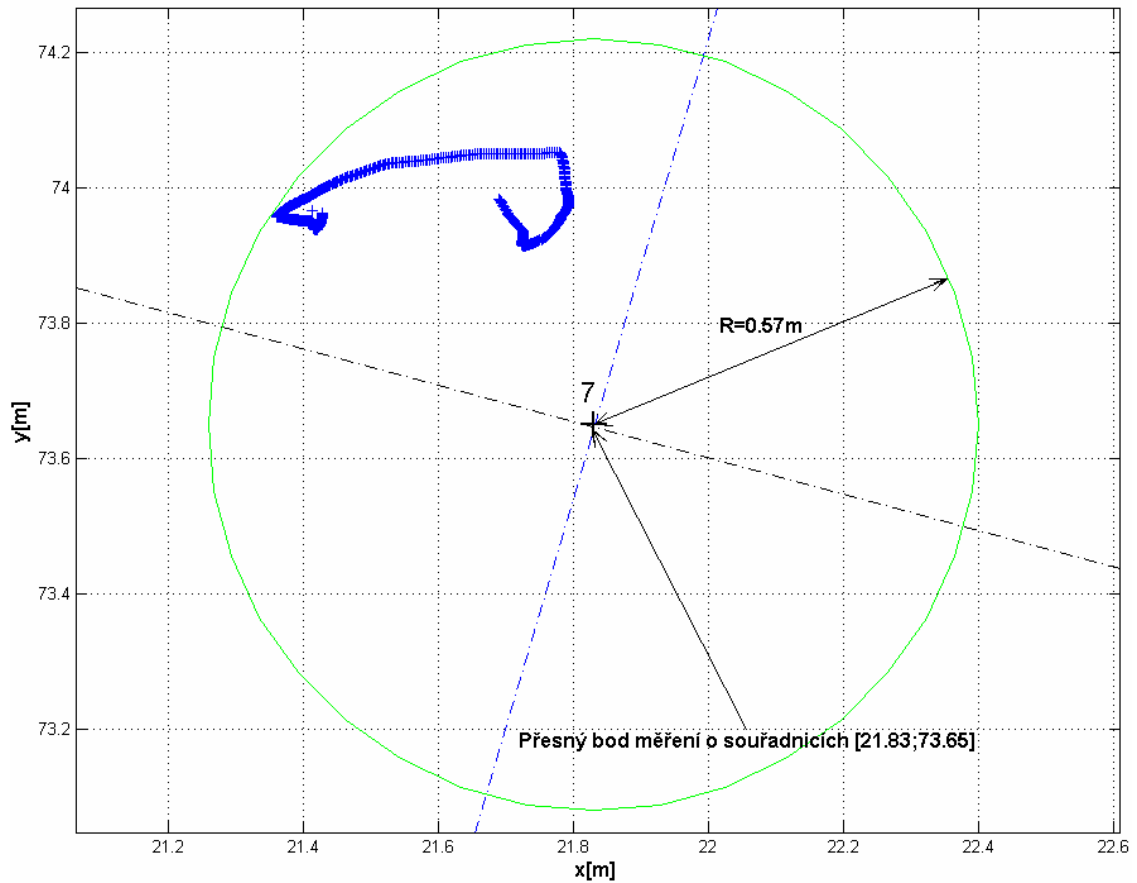


Příloha 4

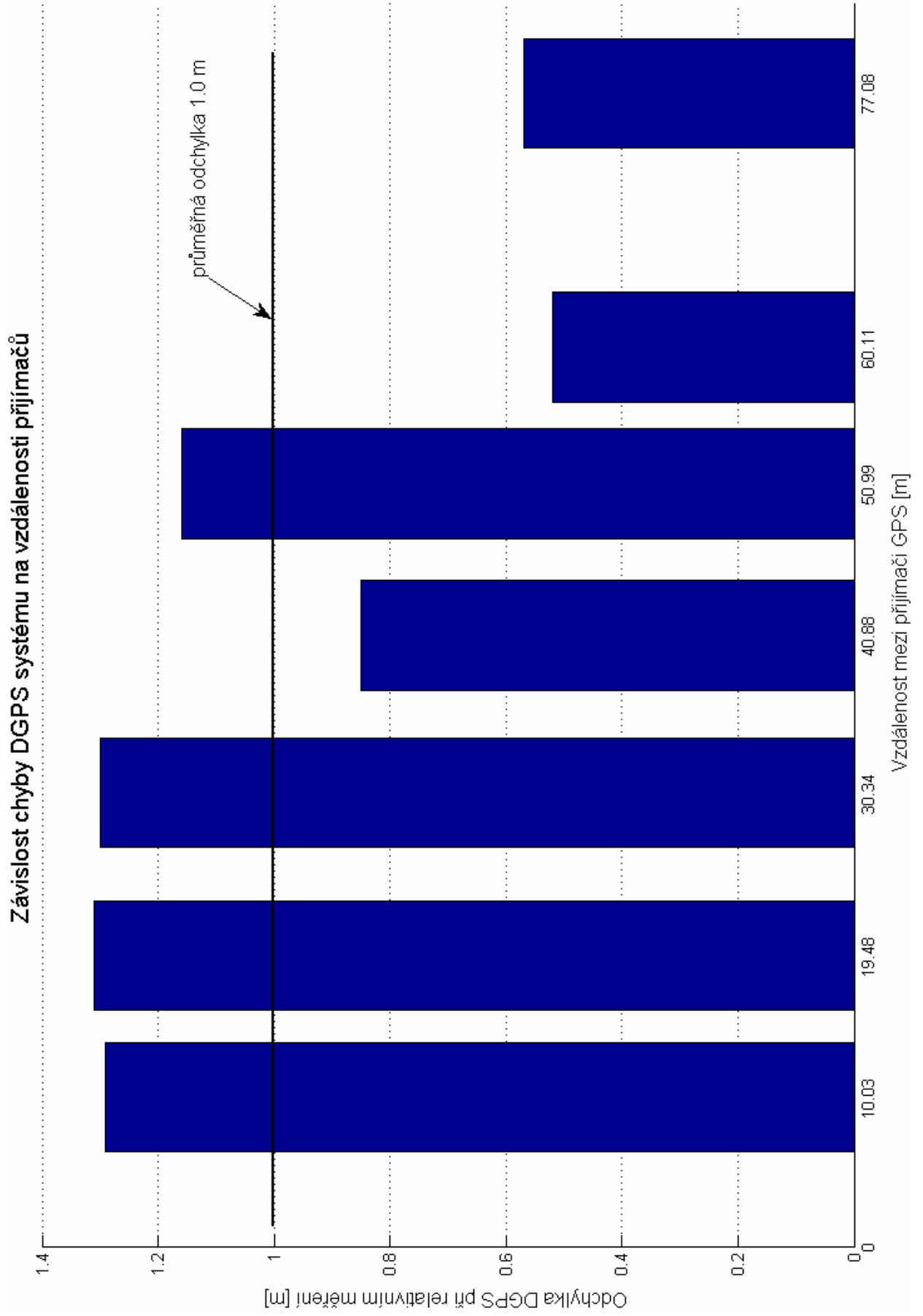
Relativní přesnost DGPS - detail 6.bodu



Relativní přesnost DGPS - detail 7. bodu



Příloha 5



Příloha 6

