

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra matematiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Testování přesnosti měření GPS metodou RTK

Zadání práce

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne 25. května 2007

.....  
podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Jedličkovi za odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Pavlu Novákovi Ph.D., Ing. Magdaléně Baranové, Ing. Radku Fialovi, studentce Aleně Šloufové a samozřejmě také mé rodině za jejich nekonečnou podporu v mém studiu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá testováním přesnosti měření GPS metodou RTK. Teoretická část se věnuje globálním polohovým systémům a dalším rozšiřujícím systémům určených pro zpřesnění signálu ze satelitů. Podrobně popsány jsou principy diferenciální GPS a jeho metody měření. V praktické části byla zpracována měření statickou a RTK metodou. Výsledné přesnosti byly vyhodnoceny a porovnány. Výsledkem je určení spolehlivosti RTK metody měření v závislosti na zakrytí obzoru a srovnání s přesností potřebnou pro zaměřování podrobných bodů.

## **Klíčová slova**

GPS, diferenciální GPS, RTK-GPS, statická metoda, statistika, Pinnacle, zákryt obzoru

## **Abstract**

This bachelor diploma thesis occupies by testing of measurement accuracy GPS by RTK method. The theoretical part attends to Global Positioning Systems and other augmentative systems which are determined for improvement of satellite signals. There is also a description of principles of differential GPS and its methods. The practical parts contains process of measurement by static and RTK method. The resulting accuracies were evaluated and compared. The result is to prove reliability of measuring method RTK. This result depends on two conditions. The first one is hiding horizon. The second one is comparing with accuracy needed for aiming detailed points.

## **Keywords**

GPS, Differential GPS, RTK-GPS, Static-GPS, statistic, Pinnacle, horizon covering

## Obsah

1. Úvod .....	7
2. Principy GPS měření .....	8
2.1 Globální polohové systémy .....	8
2.1.1 GPS NAVSTAR .....	8
2.1.2 GLONASS .....	9
2.1.3 Galileo .....	10
2.2 Rozšiřující systémy .....	10
2.2.1 WAAS .....	11
2.2.2 EGNOS .....	12
2.2.3 MSAS .....	12
2.3 Struktura GPS signálu .....	13
2.4 Metody měření s geodetickou přesností – diferenciální GPS.....	14
2.4.1 RTK-GPS .....	14
2.4.2 Statická metoda .....	15
2.4.3 DGPS .....	16
2.4.4 RTK-PRS (Pseudo-Reference Station).....	16
2.4.5 RTK-FKP (Flächenkorrekturparameter) .....	16
2.4.6 Pseudodružice .....	16
3. Realizace měřické kampaně .....	17
3.1 Zpracování obzoru .....	18
3.1.1 Postup zpracování obzoru.....	18
3.1.2 Výpočet podílu zakrytého obzoru .....	19
3.2 Statická metoda .....	21
3.2.1 Zpracování statické metody v programu Pinnacle .....	21
3.3 Metoda RTK-GPS .....	27
3.4 Příprava naměřených dat pro vyhodnocení .....	27
3.4.1 Postup zpracování a přípravy dat pro statické vyhodnocení .....	28
3.4.2 Odstranění odlehlých měření.....	30
4. Vyhodnocení měřické kampaně .....	32
4.1 Zhodnocení relativní přesnosti RTK-GPS.....	32
4.1.1 Postup vyhodnocování.....	33
4.1.2 Výsledky statistického vyhodnocení přesnosti RTK.....	36
5. Závěr.....	41
Literatura.....	43
Seznam příloh.....	45
Přílohy.....	46

# 1. Úvod

Při určování polohy kdekoli na Zemi jsme byly dlouhou dobu odkázáni na astronomická měření. Rozvoj kosmonautiky otevřel světu nové možnosti a jednou z nich byla i schopnost určovat polohu pomocí satelitů. Teprve poměrně nedávno byl takovýto systém otevřen a nyní je hojně využíván v civilním sektoru, a tím byl umožněn rychlý vývoj přijímačů zpracovávajících satelitní signály. Problematika globálních polohových systémů mě už delší dobu zajímá, a proto jsem si vybral jako téma bakalářské práce vybral testování přesnosti měření GPS metodou RTK, abych si své znalosti v problematice GPS prohloubil.

Globální polohový systém pracuje na základě určení vzdálenosti mezi přijímačem a alespoň čtyřmi satelity, jejichž poloha je v daném čase známá. Výsledkem je třírozměrné určení polohy přijímače. Pro funkčnost tohoto systému je zapotřebí přímá viditelnost mezi přijímačem a satelity.

V geodézii je požadována při měření vysoká přesnost. Mezi metody, které nám zaručí tento požadavek, je metoda RTK (Real Time Kinematic), která byla celosvětově úspěšně použita pro zjišťování relativní centimetrové polohové přesnosti v reálném čase. Pro získání takové přesnosti pro RTK aplikace je třeba použít měření nosné diferenciální fáze ze dvou přijímačů. Jeden přijímač se známými souřadnicemi se nazývá referenční stanice a druhý stanice měřická. Referenční stanice by měla být umístěna na bodě, kde se předpokládá možnost sledování velkého množství satelitů, zatímco poloha měřického přijímače, a to jak stacionárního, tak mobilního, může být absolutně libovolná, a to buď na otevřeném místě s dobrým výhledem na oblohu nebo i v zastavěných oblastech mezi domy atd.

Další metodou využívající měření z referenčních stanic je metoda statická. Obecně se tvrdí, že statická metoda je přesnější z důvodu mnohem delších observací a možnosti využití většího počtu korekcí z více referenčních stanic. Cílem práce je určit relativní přesnost GPS měření klasickou metodou RTK a porovnat s přesností statické metody.

## 2. Principy GPS měření

### 2.1 Globální polohové systémy

V této kapitole se budeme zabývat základními globálními polohovými systémy. Jako zdroje nám posloužily [3], [4] a [22].

#### 2.1.1 GPS NAVSTAR

System GPS NAVSTAR (angl. Global Positioning System - NAVigation Satellite Timing and Ranging) má dnes rozsáhlé civilní využití, přesto nesmíme zapomínat, že se jedná primárně o vojenský systém, který byl vyvinut a je dodnes spravován ministerstvem obrany USA. Svého času proběhla ve Spojených státech amerických diskuse o jeho budoucím spravování, a to až na úrovni kongresu USA. Hlavním zájemcem o správu systému GPS bylo sice ministerstvo dopravy USA, nicméně zatím trvá zařazení tohoto systému pod ministerstvo obrany USA a v nejbližší době ani nelze očekávat změny.

I když je to americký vojenský systém, dnes má uživatele na celém světě. Je to hlavně díky tomu, že byla v roce 2000 odstraněna tzv. selektivní chyba (S/A – Selective Availability), která zhoršovala přesnost určení polohy okolo 100 metrů. Počet civilních uživatelů systému GPS lze již odhadnout na desítky miliónů. Důvody tohoto nevšedního zájmu jsou následující:

- relativně vysoká polohová přesnost, od desítek metrů až po milimetry,
- schopnost určovat i rychlost a čas s přesností odpovídající přesnosti polohové,
- dostupnost signálů kdekoli na Zemi (na moři, na povrchu, ve vzduchu i v blízkém kosmickém prostoru,
- standardní polohová služba systému GPS je civilním uživatelům dostupná bez omezení, bez jakýchkoli poplatků a její nejběžnější využívání je možné i při použití relativně levného zařízení,
- je to systém pracující za každého počasí a dostupný 24 hodin denně,
- polohu je možné určovat v třírozměrném prostoru.

Globální polohový systém byl navržen tak, aby umožňoval všem uživatelům, kteří jsou odpovídajícím způsobem vybaveni, vysoce přesné určování třírozměrné polohy a rychlosti pohybu a dále určování přesného časového signálu.



## Konstelace družic

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, rozmístěných systematicky na oběžných drahách a vysílajících navigační signály. Plná konstelace kosmického segmentu systému GPS sestává z 24 družic (21 navigačních a 3 aktivních záložních družic). Kromě toho jsou další čtyři záložní družice připravené v pohotovosti na Zemi tak, aby je bylo možné umístit na oběžné dráze a uvést do plného provozu do 48 hodin. Oběžné dráhy mají stálou polohu vůči Zemi. Oběžná doba družic je přibližně 12 hodin (přesněji to je polovina siderického dne). Konstelace je tvořena šesti oběžnými drahami se čtyřmi družicemi na každé z nich a sklon oběžné dráhy je okolo 55 stupňů vzhledem k rovníku. Toto uspořádání garantuje, že na kterémkoli místě na Zemi jsou trvale dostupné signály z minimálně čtyř družic po celých 24 hodin. Ve většině případů je však viditelných více družic, v ideálním případě až 12. Díky kruhové oběžné dráze a relativně velké oběžné výšce je systém dlouhodobě velice stabilní a případné změny oběžných drah se dobře modelují, na rozdíl od družic umístěných na nízkých oběžných drahách.

Družice systému GPS se prakticky vyskytují v nadhlavníku pouze v pásu mezi přibližně 60 stupni severní a jižní šířky. Pokud se pohybujeme dále směrem k pólům, jsou družice systému GPS stále dostupné, ale postupně se zhoršuje jejich geometrie při měření. Družice po vypuštění pracují prakticky nepřetržitě, s výjimkou krátkých přestávek vynucených potřebou provádění periodické údržby. Jedním z důvodů těchto odstávek je například údržba césiových hodin, které vyžadují periodicky (přibližně dvakrát za rok) odpumpování plynové trubice, aby byl zajištěn jejich řádný chod. Tato operace trvá průměrně 18 hodin a po tuto dobu je družice označena jako nezdravá.

### 2.1.2 GLONASS

GLONASS (rusky **G**lobalnaja **N**avigacionnaja **S**putnikovaja **S**istěma) je stejně jako GPS NAVSTAR pasivní dálkoměrný družicový radiový navigační systém umožňující určování polohy, rychlosti a času v třírozměrném prostoru, kdekoli a kdykoli na Zemi a v přilehlém kosmickém prostoru. Je určen pro:

- řízení a zvýšení bezpečnosti letecké a námořní dopravy
- geodézii a kartografii
- monitorování pozemní dopravy
- synchronizaci času mezi odlehlými místy
- ekologický monitoring
- pro potřeby vyhledávacích a záchranných služeb

System GLONASS je zatím nedokončen. Družicový kontingent by se měl skládat ze 24 družic. Ve vesmíru nyní operuje 16 družic, z nichž poslední byla vypuštěna dne 31. 12. 2006 (čerpáno z [22]).

### 2.1.3 Galileo

Galileo je globální družicový navigační systém, který bude plně vyvinut a provozován Evropou a jeho uvedení do provozu je plánováno na rok 2012. Bude využívat stejného principu jako nynější americký systém GPS a ruský GLONASS, se kterými se bude vzájemně doplňovat. Oba současné systémy jsou vojenské a ani jeden z provozovatelů nedává záruku, že v případě potřeby signály ze svých družic nevypne. Pokud by na jejich využívání byla založena některá z dopravních služeb, měl by takový čin nebezpečné důsledky pro jejich uživatele.

Kompletní systém Galileo bude obsahovat 30 družic obíhajících ve třech rovinách po kruhových drahách ve výšce cca 23.500 km. Každá z rovin dráhy bude svírat s rovinou rovníku úhel  $56^\circ$ , což umožní využívat navigační systém bez potíží až do míst ležících na  $75^\circ$  zeměpisné šířky. Velký počet družic, z nichž tři budou záložní, zajistí spolehlivou funkci systému, i když některá družice přestane správně pracovat. Do této chvíle (květen 2007) byla vypuštěna pouze jediná družice.

## 2.2 Rozšiřující systémy

Uživatel může polohu přijímače pomocí GPS zpřesnit dvojnásobným způsobem. Buď pomocí korekcí získaných z referenčních stanic na Zemi (viz. DGPS, LAAS) nebo pomocí korekcí získaných ze satelitů na geostacionárních drahách (viz. WAAS, EGNOS). Z globálního hlediska je mnohem jednodušší získávat korekce ze satelitů, jelikož výstavba referenčních stanic na celé Zemi je nerealizovatelná. Takové systémy jsou v současnosti v provozu již tři a označují se jako systémy typu SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems). Jeden pracuje nad územím USA a má název WAAS, druhým z nich je MSAS a pokrývá Japonsko a třetím je systém EGNOS a pokrývá Evropu. V této kapitole si podrobně popíšeme systémy WAAS, resp. EGNOS, které jsou spravovány Úřadem pro letectví a kosmonautiky (FAA), resp. Evropskou vesmírnou agenturou (ESA). Informace o těchto systémech byly čerpány z [19] a [18].

### **2.2.1 WAAS**

WAAS (angl. Wide Area Augmentation System) vedle toho, že poskytne uživatelům především z oblasti letectví větší přesnost při určování polohy, jim bude schopen nabídnout i zlepšení integrity nezbytné pro většinu fází letu, včetně přiblížování k letišti. Po dokončení bude pozemní část systému WAAS neustále vyhodnocovat integritu signálu družic GPS, bude určovat potřebné korekce a bude varovat uživatele tohoto systému, kdykoli bude zjištěno selhání některé z družic systému GPS. V případě přiblížování k letišti bude varovný signál vyslán do 5,2 sekundy od selhání.

WAAS je budován pro potřeby letectví na území USA a první civilní použití tohoto systému se datuje k březnu roku 2003.

Systém se skládá ze dvou částí: z referenční stanice a z geostacionárních satelitů. Na území USA je 29 referenčních stanic (Wide-area Reference Stations – WRS), které získávají data z GPS NAVSTAR. Naměřená data se posílají do dvou řídicích center (Wide-area Master Stations – WMS) pro zpracování. Upravená data se následně posílají do dvou geostacionárních družic typu Inmarsat III (Pacific Ocean Region – POR, Atlantic Ocean Region-West), které vysílají informace o korekcích GPS. V roce 2007 by měly být zprovozněny další dva satelity (Galaxy XV, Anik F1R).

Přesnost určování polohy je závislá na počtech řešených satelitů, tedy na množství zakrytého obzoru. Pro příjem signálu z družic na geostacionárních drahách je zapotřebí mít viditelnost jižním směrem. Přesnost určení polohy je udávána do několika metrů.

Systém WAAS by měl umožnit mimo jiné zkrácení doby letů a díky přesnější navigaci i zkrácení minimální vzdálenosti mezi letadly, a tím i intenzivnější využívání nejfrekventovanějších tras.

### **LAAS**

LAAS (angl. Local Area Augmentation System) bude pracovat obdobně jako WAAS, ale v mnohem menším měřítku. Referenční stanice LAAS bude umístěna na přesně zaměřeném bodě v okolí oblasti, kterou má pokrývat korekcemi. Vzhledem k tomu, že referenční stanice zná svoji přesnou polohu, je schopná detekovat jakékoliv chyby určování polohy pomocí viditelných družic a v rámci přenášených korekcí předávat i informace o integritě signálů družic GPS. LAAS bude poskytovat ještě vyšší úroveň integrity než WAAS, potřebnou pro automatické přistávání letadel. Systém používá kombinaci běžné referenční stanice umístěné na letišti s pseudodružicí (více v kapitole 2.4.6). Dvojice pseudodružic (z nichž je každá umístěna po jedné straně přistávací dráhy) může letadlu

poskytnout dostatečné prostředky pro určování polohy, které v kombinaci s DGPS umožní dosáhnout přesnosti až na úrovni centimetrů a zajistit i požadovaný stupeň integrity.

### **2.2.2 EGNOS**

Jedná se o obdobu systému WAAS, vyvíjenou a budovanou pro potřeby letectví v Evropě. Provoz byl zahájen v červenci 2005, ale pro použití v aplikacích pro lidskou bezpečnost se plánuje zahájení plného provozu až v roce 2008. EGNOS (angl. European Geostationary Navigation Overlay Service) by měl sloužit nejen jako prostředek pro zdokonalení služeb systému GPS a GLONASS, ale i jako základ připravovaného systému Galileo. Sloužit by měl pro potřeby všech fází letu až po přiblížení k letišti. Přesnost určování vertikální i horizontální polohy je podobně jako u WAAS do několika metrů.

Po dobudování by se systém EGNOS měl skládat z 30 pozemních monitorovacích stanic (Ranging and Integrity Monitoring Station - RIMS). Každá stanice monitoruje signály ze všech viditelných družic GPS NAVSTAR a GLONASS. Naměřená data jsou posílána do jednoho ze tří hlavních řídicích center (Master Control Centre – MCC). Z nich jedno pracuje a dvě jsou záložní. V řídicím centru jsou data zpracována a jejich výsledkem jsou informace o stavu družic GPS (přesnost atomových hodin, odchylky od dráhy pohybu, výpadky...) a o chybách měření zaviněných stavem zemské ionosféry. Data jsou pak předána třem vysílacím stanicím. Tyto stanice posílají data satelitům na geostacionární oběžnou dráhu, tedy nad rovník. Jedná se o dvě družice komunikačního systému INMARSAT (International Maritime Satellite Organization). Jeden satelit typu Inmarsat III je nad Atlantikem - Atlantic Ocean Region-East (AOR-E) na 15,5° západní délky a druhý je nad Indickým oceánem - Indian Ocean Region (IOR) na 64° východní délky. Zmíněné satelity vysílají data již s pořízenými korekcemi.

### **2.2.3 MSAS**

Systém MSAS (angl. Multi-functional Satellite Augmentation System) je obdobný jako předchozí dva systémy až na to, že je určen pouze pro oblast Japonska a blízkého okolí.

## 2.3 Struktura GPS signálu

Podle [3] a [8] je každý signál vyslaný družicí GPS kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Vytváření signálu, který je vysílaný, probíhá v celé řadě kroků. Vychází se při tom z faktu, že veškeré složky signálu jsou odvozeny násobením a dělením základní frekvence<sup>1</sup>.

Družice vysílají signály na dvou nosných frekvencích. Frekvence L1 (1575,42 MHz) je modulována dvěma dálkoměrnými kódy reprezentovanými tzv. pseudonáhodnými šumy (angl. Pseudo Random Noise – PRN). Jedná se o přesný nebo též P-kód (angl. Precision nebo P-code), který může být pro vojenské účely zašifrován (a pak se označuje Y-kód) a hrubý/dostupný nebo též C/A kód (angl. Coarse/Acquisition), který není šifrován. Druhá frekvence označována L2 (1227,60 MHz) je modulována jen P-kódem (resp. jeho šifrovanou variantou – Y-kód). U budoucích satelitů se počítá se zavedením třetí nosné vlny L5 (1176,45 MHz) vzniklé lineární kombinací L1 a L2 označované jako wide-lane, viz [20] a [5]. Pro měření metodou RTK je v našem případě využíváno obou frekvencí L1 a L2 a civilního C/A kódu.

### Výhody použití GLONASS při měření

Obecně, čím více společných satelitů sleduje referenční a měřickou stanici, tím rychlejší je postup fixace a vyšší přesnost polohy. Tuto výhodu využívají systémy, které kromě GPS signálu používají také signály GLONASS. Nicméně pouze dvoufrekvenční GPS systémy obecně mají výhodu proti jednofrekvenčním GPS/GLONASS systémům u vektorů delších než několik kilometrů. Dvoufrekvenční GPS/GLONASS systémy mají výhodu v oblastech s omezeným výhledem na oblohu, jako jsou otevřené doly, zastavěná a říční údolí (v takových oblastech vyžaduje speciální pozornost radiové spojení mezi přijímačem a referenční stanicí). Nejlepších RTK výsledků lze dosáhnout, jestliže referenční a měřická stanice sledují stejných osm a více satelitů s PDOP (faktor snížení přesnosti) 2 a méně. Dobré výsledky nicméně můžete získat se dvěma přijímači sledujícími pět společných satelitů a s PDOP 4 a lepším.

---

<sup>1</sup> Základní frekvence – základní frekvence je odvozována z frekvence atomových hodin a její přesná hodnota je nastavena tak, aby byly eliminovány relativistické efekty, způsobené pohybem družic. Její hodnota činí  $f = 10.23$  MHz.

## 2.4 Metody měření s geodetickou přesností – diferenciální GPS

Určovat polohu pomocí GPS můžeme různými způsoby. Ve světě je běžně využíváno měření pomocí jednoho přijímače v oblasti dopravy a turistiky a nazývá se *navigační GPS*. Pro geodetické účely jsou tato měření nepoužitelná a je zapotřebí vnést do naměřených hodnot jisté opravy, které zpřesní výsledné souřadnice. Podle [23] jsou všechny metody, využívající korekce z referenčních stanic pro zpřesnění měření, označovány jako *diferenciální GPS*. Popis a rozdělení metod vychází ze zdrojů [3], [1], [13]. Metod, jak využívat korekce, je několik:

- a) Použití korekcí z jedné nebo z více referenčních stanic při následném zpracování (postprocessing).
- b) Použití diferenčních korekcí nebo korekcí získaných z kódového měření z referenční stanice v reálném čase.
- c) Použití korekcí z referenční stanice získaná z kódového i fázového měření v reálném čase.
- d) Použití korekcí ze sítě referenčních stanic v reálném čase.

Pro možnost a) se užívá termínu *relativní GPS* nebo též statická metoda. Pro metody b) až d) je způsob měření označován jako *diferenciální GPS* (DGPS) s jinými vlastnostmi. Možnost b) je nazývána jako *obyčejné DGPS* (angl. Ordinary DGPS), kdežto c) je označováno jako měření GPS v reálném čase (angl. Real-Time Kinematic GPS RTK-GPS). Metody měření využívající korekce z více referenčních stanic v reálném čase se souhrnně nazývají *síťové RTK*. Mezi ně patří například metody RTK-PRS a RTK-FKP. V České republice tyto dvě služby poskytuje síť referenčních stanic CZEPOS [1].

### 2.4.1 RTK-GPS

Tato progresivní metoda určí polohu měřeného bodu v reálném čase, tudíž není nutné následné zpracování jako tomu bylo u statické metody. Je to díky tomu, že měřická stanice je pomocí nějakého datového přenosu přímo spojena s jednou referenční stanicí, která v reálném čase zasílá korekce, které ihned opravují naměřené hodnoty, a tím zpřesní výsledné souřadnice. Aby se dosáhlo co nejlepších výsledků, měla by být anténa referenční stanice umístěna na místě pokud možno bez vedlejších odrazů a co nejvýše, aby se maximalizovalo pokrytí daty. Některé RTK instalace používají přijímače s kombinací GPS/GLONASS na referenčním a měřickém stanovišti. Použitím GLONASS dat spolu s GPS může poskytnout rychlejší řešení ambiguit<sup>2</sup> a vyšší polohovou přesnost.

---

<sup>2</sup> ambiguita – celý počet cyklů v nosné vlně mezi družicí a přijímačem [5]

## Principy měření metodou diferenciální GPS (RTK)

Jak již bylo řečeno v úvodu, RTK měření určuje polohu pomocí fáze nosné vlny. Pro přesné určení polohy musí metoda simultánně pracovat s dalším přijímačem GPS, který je umístěn na bodě o známých souřadnicích (pokud přijímač nezískává korekce z referenční stanice znamená to, že pracuje v tzv. *stand alone* režimu). Pomocí radiomodemu nebo bezdrátového datového přenosu se přenášejí difference z referenční stanice na měřicí stanici a ty jsou poté zpracovány metodou nejmenších čtverců kvůli určení relativních souřadnic antény přijímače.

Klíčovou vlastností umožňující vysokou přesnost dosažitelnou RTK provozem je schopnost určit ambiguity nosné fáze přijímače v pohybu, tzv. „on-the-fly“ řešení ambiguity. Takové řešení je na přijímači označeno jako float. Vyhodnocené výsledky mají nižší přesnost než při vyřešených ambiguïtách, přesto výsledná přesnost může dosáhnout od metru až po decimetr. Přesnost *float* řešení závisí na tom, jak dlouho měřicí přijímač sledoval GPS signály. Výzkumníci navrhli mnoho algoritmů pro určení nebo řešení těchto ambiguity „on the fly“ (OTF). Obecně měřené pseudovzdálenosti<sup>3</sup> jsou použity pro zúžení prostoru pro vyhledání ambiguity. Tato procedura redukuje počet celých kombinací, které musí být testovány. Čím přesnější nebo méně zašuměné jsou hodnoty pseudovzdáleností, tím menší je prozkoumávaný prostor a rychlejší řešení. Mnoho OTF implementací používá wide-lane (viz kapitola 2.3) kombinací dat L1 a L2 nosné fáze. I když je více zašuměná než data L1, má wide-lane kombinace nejednoznačnost 86 centimetrů, což je mnohem snadnější vyřešit než L1 19-centimetrovou nejednoznačnost. Výsledná pozice z wide-lane kombinace může být použita pro přímý výpočet L1 ambiguity.

Po konečném zpracování korekcí je řešení ambiguity označeno jako *fixed*. Rychlost s jakou mohou být ambiguity fixovány (vyřešeny) závisí na několika faktorech, včetně počtu sledovaných satelitů, geometrii satelitů, použití dat pseudovzdáleností spolu s nosnou fází, šum měření, a použití dvoufrekvenčního měření. Za dobrých podmínek může být doba fixace (řešení) kratší než 1 minuta a optimální méně než 10 vteřin.

### 2.4.2 Statická metoda

Pro zaměřování bodů, kde vyžadujeme vysokou přesnost srovnatelnou s jinými geodetickými metodami, použijeme statickou metodu. Tato metoda využívá od několikaminutové až po několikahodinové observace, které nám zajistí centimetrovou, případně až milimetrovou přesnost. Získáme ji ale až následným zpracováním v kanceláři

---

<sup>3</sup> pseudovzdálenost – vzdálenost mezi přijímačem a satelitem po dráze přijímaného signálu

(postprocessing), kde zahrneme do výpočtů ještě korekce referenčních stanic v době měření. Více o zpracování naměřených dat v kapitole 3.2.1

### **2.4.3 DGPS**

Metoda DGPS určuje relativní polohu pomocí kódových měření. Korekce se určují pomocí referenčního přijímače, který umístíme na bod o přesně známých souřadnicích. Z jeho měření je možné vypočítat odchylku přijímačem určené polohy od polohy skutečné. Zjištěné odchylky lze přenášet jako tzv. korekce do druhého přijímače a použít je pro opravu jeho měření. Přitom se předpokládá, že oba přijímače jsou zatíženy přibližně stejnou velikostí geometrických a časových chyb a že většina běžných chyb se touto cestou vyruší.

### **2.4.4 RTK-PRS (Pseudo-Reference Station)**

U této metody získává uživatel korekce vygenerované z tzv. pseudo-referenční stanice. Jedná se o virtuální stanici, která je umístěna zhruba 5 km od stanoviště směrem k nejbližší referenční stanici. Přesnost je stejná jako v případě RTK-PRS, jedná se pouze o jiný způsob implementace síťového řešení.

### **2.4.5 RTK-FKP (Flächenkorrekturparameter)**

Metoda RTK-FKP využívá k výpočtu data ze všech stanic sítě, tzv. síťové řešení. Dosahuje přesnějších výsledků než metoda RTK. Výhodou metody je, že již prakticky nezáleží na vzdálenosti přijímače od referenční stanice. Uživatel sítě získává korekce z nejbližší referenční stanice doplněné o tzv. plošné parametry určené na základě síťového řešení. Dosažitelná přesnost je řádově v centimetrech.

### **2.4.6 Pseudodružice**

Jiným přístupem k řešení problematiky zpřesňování určování polohy je budování pozemních vysílačů, které se přijímači jeví jako další družice systému GPS. Označují se proto termínem pseudodružice. Nevýhodou pseudodružic je, že musí být vždy zajištěna přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem. Maximální dosah nesmí překročit 50 km, minimální vzdálenost mezi dvěma vysílači musí být alespoň 54 km. Rovněž musí být vymezena minimální vzdálenost přijímače od pseudodružice. Pokud se přijímač dostane do menší



vzdálenosti, hrozí nebezpečí zahlcení jeho vstupních obvodů silným signálem pseudodružice, a tím přehlušení signálů vysílaných družicemi. Jiným řešením tohoto problému je, že pseudodružice nevysílá trvale, ale jen po velice krátké časové okamžiky, které jsou v čase náhodně rozmístěny. Předpokládá se přitom, že sice silné, ale velice krátké rušení nemůže ohrozit činnost přijímačů GPS, pokud se vyskytuje jen po malé procento času.

Koncepčně tedy mohou být pseudodružice řešeny dvěma způsoby:

- Jako samostatný vysílač imitující družice GPS, který vysílá zpravidla nepřetržitě celou škálu signálů, vysílaných družicí GPS na frekvenci L1.
- Jako vysílač spojený s referenční stanicí. V tomto případě data vysílaná pseudodružicí obsahují i diferenční korekce a vysílač obvykle nevysílá trvale, ale přerušovaně podle určitého pseudonáhodného schématu.

### 3. Realizace měřické kampaně

Cílem bakalářské práce je zhodnotit přesnost měření metodou RTK-GPS a zjistit, zda je tato metoda srovnatelná s přesností jiných geodetických metod, které se v praxi běžně používají, ale nejsou zdaleka tak efektivní jako metoda RTK. Této metody by se pak dalo použít například při zaměřování katastrálních hranic, což by přispělo k zjednodušení měřických prací na katastru. Podle přílohy 1 bodu č. 9 vyhlášky 31/1995 Sb., Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením (viz [24]) pro zaměřování bodů podrobného polohového pole pomocí GPS musí být provedeny dvě měření. Časový interval mezi jednotlivými měřeními musí být minimálně 3 hodiny (druhé měření musí být provedeno v jiné konstelaci družic). Pokud se měřilo v jiných dnech, tak pro interval platí obecný časový vzorec ( v hodinách)  $\langle 3 + 24k ; 21 + 24k \rangle$ , kde  $k$  představují dny. Tyto podmínky byly splněny na většině bodů. Pouze u bodu 519 byl u statické metody časový rozestup mezi měřeními 2 hodiny 41 minut, u bodu 5002 byl 2 hodiny 53 minut a u bodu 608 2 hodiny 36 minut. U ostatních měření byly podmínky vyhlášky splněny. V těchto případech se při vyhodnocování druhé statické měření zkrátilo o příslušný časový překryt tak, aby časový interval činil tři hodiny. Pak můžeme tvrdit, že všechna realizovaná měření splňují kritéria bodu č. 9 vyhlášky 31/1995 [24].

Pokud by přesnost RTK splňovala kritéria pro zaměřování bodů podrobných polohových polí, tak by teoreticky stačily pro zaměření bodu pouze 3 hodiny, jelikož observační doba trvá zhruba 5 vteřin (opomineme-li postavení a stabilizaci stroje).

### **3.1 Zpracování obzoru**

Pro všechna GPS měření má největší vliv na přesnost množství zakrytého obzoru. Pokud je zapotřebí co nejobjektivněji určit přesnost měření, musíme výsledky zhodnotit společně s vlivem zákrytu obzoru a určit velikost vlivu na přesnost GPS měření.

Před zahájením měřických prací pomocí GPS proběhlo na bodě polární měření pomocí teodolitu, kdy se zaměřovaly všechny významné lomové body (např. hrany budov, stromy, terén atd.). Poté se přešlo k samotnému zaměřování bodu pomocí GPS přijímače. Měření probíhala i na takových místech, kde zákryt obzoru dosahoval přes 50 %, přesto i tam se podařilo získat poměrně uspokojivé výsledky. To si ovšem vyžádalo dlouhé čekání na správnou konstelaci satelitů a vyřešení ambiguit. Pro lepší efektivitu práce by bylo zapotřebí znát přesné trajektorie letu potřebných satelitů, orientaci a tvar volného obzoru pro lepší načasování našeho měření a ušetření cenného času. V současnosti je tento problém neustále minimalizován zvyšováním počtu navigačních satelitů, což umožňuje získat přesnější výsledky i v krajinou zakrytých oblastech.

#### **3.1.1 Postup zpracování obzoru**

Vymodelování zákrytu obzoru bylo provedeno v programu AutoCAD 2005 (N.63.15). U každého bodu byl polární metodou změřen vodorovný a zenitový úhel všech důležitých bodů hranice mezi viditelnou a zakrytou částí oblohy. Do programu byly přepsány prostorové sférické souřadnice všech naměřených lomových bodů. Byla vytvořena síť bodů, které se nacházely v konstantní vzdálenosti 1 od daného bodu. Tyto body tedy ležely na pomyslné polokouli představující nebeskou klenbu. Poté všechny sousední body byly spojeny křivkou, která opisuje plášť naší polokoule. Tím nám vznikla výsledná hranice viditelného obzoru. V konečné fázi byl na polokouli učiněna ortogonální projekce, a tím byl celý model převeden do dvojrozměrného pohledu. Podíl zakrytého obzoru byl počítán následujícím způsobem. Volný obzor byl rozdělen na jednotlivé sférické trojúhelníky, jejichž vrcholy tvořily vždy dva sousední body a pól (zenit). Stačilo tedy vypočítat povrchy všech takto vytvořených sférických trojúhelníků a odečíst jejich součet od plochy polokoule o poloměru 1, a tím byla

vypočtena celková plocha zakryté části obzoru. Podíl s celkovou plochou polokoule vynásobený 100 nám přesně řekne, z kolika procent je obzor zakryt.

### 3.1.2 Výpočet podílu zakrytého obzoru

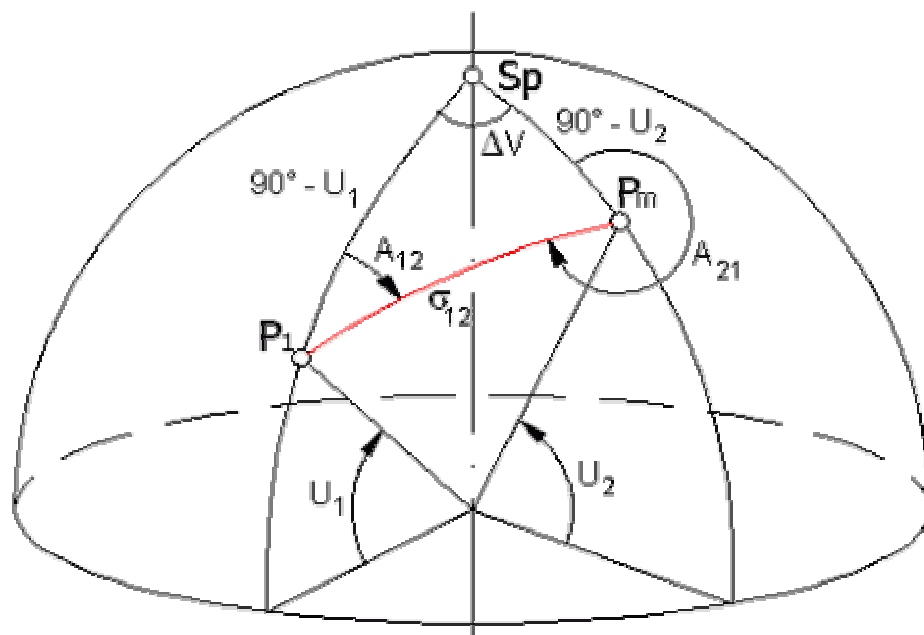
Jako spojnicí dvou sousedních bodů budeme uvažovat ortodromu. Pro výpočet ortodromy je zapotřebí znát azimuty v obou bodech, pomocí kterých následně spočteme vnitřní úhly sférického trojúhelníka. Buď azimut bude přímo odpovídat vnitřnímu úhlu trojúhelníka nebo se musí přičíst ještě 180°.

*Výpočet azimutu*

$$A_{12} = \text{Arctg} \left[ \frac{\sin(90 - U_2) \cdot \sin(\Delta V)}{\cos(90 - U_2) \cdot \sin(90 - U_1) - \sin(90 - U_2) \cdot \cos(90 - U_1) \cdot \cos(\Delta V)} \right] \quad (3.1)$$

$U_1, U_2$  .....zeměpisná šířka bodu 1 a 2

$\Delta V$ .....rozdíl zeměpisných délek



Obr.3.1: Ortodroma protínající poledníkový pás [14]

*Výpočet povrchu sférického trojúhelníka*

Pro výpočet povrchu je třeba znát vnitřní úhly trojúhelníka, které jsme získali z vypočtených azimutů. Vzorec pro povrch vypadá takto:

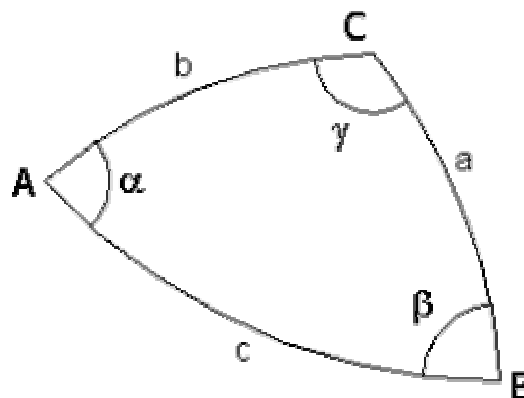
$$P = R^2 \cdot \varepsilon \quad (3.2)$$

Kde  $\varepsilon$  představuje excés, který se spočte jako:

$$\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ \quad (3.3)$$

Pro kouli o poloměru 1 se v podstatě excés rovná obsahu.

$$P = \varepsilon \quad (3.4)$$



Obr 3.2: Sférický trojúhelník [14]

Součet povrchu všech sférických trojúhelníků představuje ve skutečnosti povrch viditelné části oblohy. Doplněk k povrchu polokoule tedy bude tvořit povrch zakryté části obzoru  $P_z$ .

$$P_z = 2 \cdot \pi - \sum_i P_i \quad \text{pro } R = 1 \quad (3.5)$$

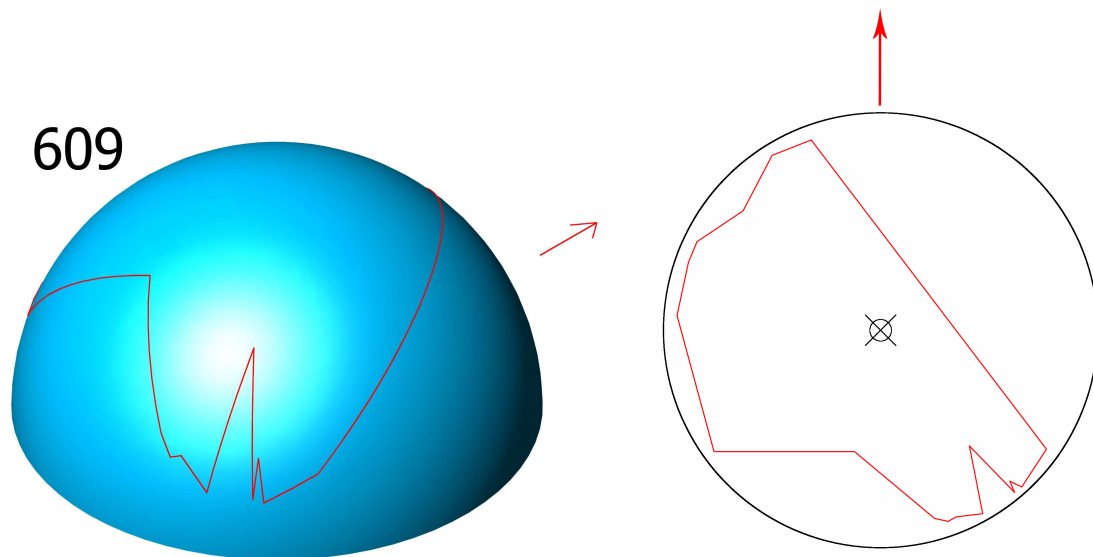
Zakrytá část obzoru vyjádřená v procentech se vypočítá jako podíl povrchu zakryté části ku povrchu polokoule vynásobené 100.

$$p = \frac{2 \cdot \pi - \sum_i P_i}{2 \cdot \pi} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.6)$$

V naší měřické kampani byly využity body, kde zákryt oblohy byl minimální, a body, s více jak 50% zákrytem, čímž vznikly docela veliké rozdíly v přesnosti měření.

Bod	Zákryt
519	14.88%
603	12.73%
604	22.95%
606	81.56%
608	44.98%
609	66.98%
610	39.75%
625	31.73%
5002	3.67%

Tab. 3.1: Podíl zakrytého obzoru



*Obr.3.3: Výsledný grafický výstup zpracovaného obzoru*

## 3.2 Statická metoda

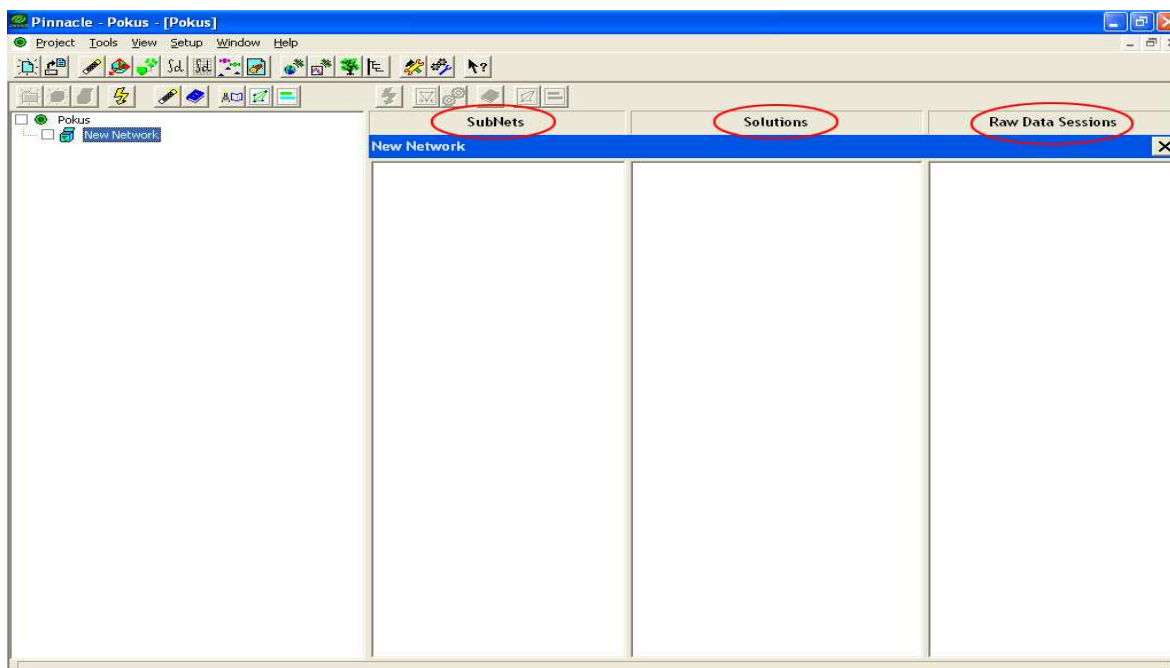
Další práci na bodě bylo statické měření, jehož výsledky později poslouží jako referenční pro porovnání přesnosti s RTK metodou.

V našem případě jsme podnikli na každém bodě dvě dvouhodinové observace začátkem měsíce června 2006. Žádná dvě měření nenavazují časově hned po sobě. Minimální pauza mezi dvěma observacemi činila tři hodiny, z důvodu změny geometrie a počtu družic. K měření byly použity antény Legacy E a Hiper+. Měřilo se na bodech PPBP v okolí zámku Nečtiny v Plzeňském kraji.

Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu Pinnacle. Observace byly opraveny o vektory určené z permanentních stanic Plzeň (PLZE), Karlovy Vary (CKVA) a Rakovník (CRAK) ze sítě CZEPOS. Při zpracování byly určeny vektory z těchto permanentních stanic na daný změřený bod, které určily korekce změřených souřadnic určených pouze pomocí GPS signálu. Ty nám zaručily přesnosti do několika centimetrů jak v poloze, tak i ve výšce.

### 3.2.1 Zpracování statické metody v programu Pinnacle

Pinnacle je podle [6] objektově orientovaný program. Základem jeho struktury jsou relace prvotních dat (**Raw Data Session**), řešení (**Solution**), podsít' (**Subnet**), síť (**Network**) a některé další typy objektů (viz obr 3.3).



Obr. 3.3: Základní uživatelské rozhraní programu Pinnacle verze 1.0 s vyznačenými základními strukturami.

Když uživatel importuje prvotní data do projektu, vytvoří program Pinnacle nový objekt relace prvotních dat (**Raw Data Session**) obsahu a uloží importovaná data do tohoto objektu. Každý takový objekt prvotních dat potom slouží jako „skladovací schránka“ pro uchování importovaných dat naměřená GPS přijímačem. Poté, co jsou prvotní data nahrána do příslušného objektu relace prvotních dat (**Raw Data Session**), bude třeba, aby uživatel vytvořil další objekt - řešení (**Solution**). Tento typ objektu slouží v programu Pinnacle k mnoha důležitým účelům. Vektor, nebo trajektorii není možné v programu Pinnacle zpracovat bez předchozího vytvoření vhodného řešení (**Solution**) tohoto vektoru, nebo trajektorie. Při vytváření nového nebo při editaci již existujícího řešení, musí uživatel určit následující podmínky:

- Které vektory existující v objektu řešení (**Solution**) budou zpracovávány. Uživatel má možnost dočasně odpojit, nebo trvale smazat některé nebo i všechny vektory obsažené v objektu řešení.
- Která z dostupných prvotních měřických dat budou použita k výpočtu existujících vektorů. Prvotní data mohou být různými způsoby editována, například mohou být zkrácena na menší časový interval, některé satelity mohou být znepřístupněny atd.
- Způsob, jakým výpočet vektorů proběhne. Uživatel bude potřebovat zvolit správný typ zpracovatelského modulu (**engine**), mód zpracování (viz dále) atd.

## Vytvoření relace prvotních dat (Create Raw Data Session)

Pro vytvoření relace prvotních dat sítě v aktuálním projektu v programu Pinnacle, musí uživatel provést následující kroky:

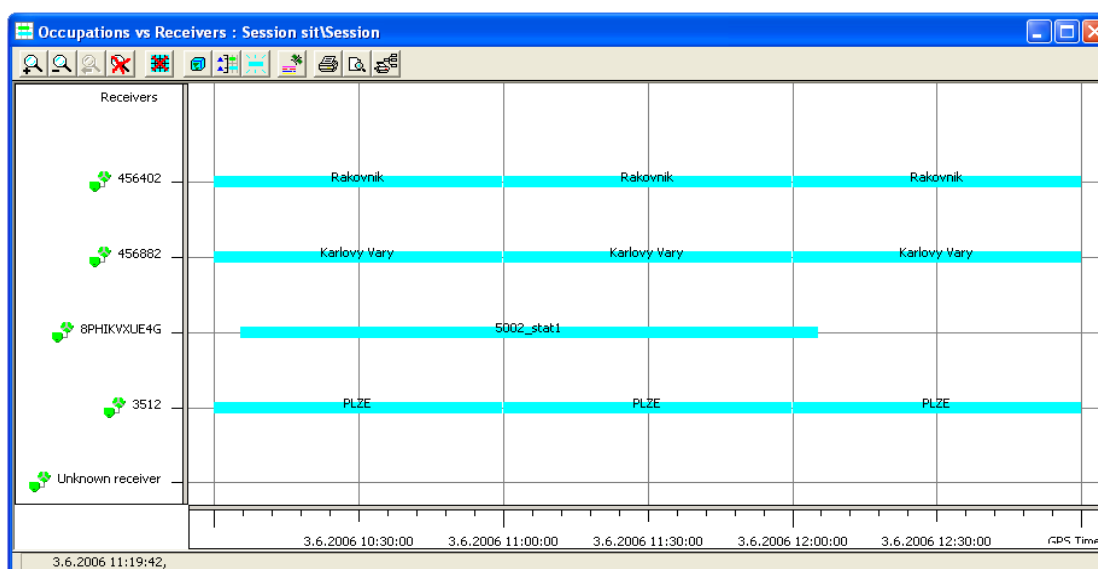
1. Kliknout pravým tlačítkem myši na název sítě v panelu nejvíce vlevo v hlavním zobrazení programu Pinnacle. Objeví se vysunovací menu.
2. Vybrat volbu **Import** z tohoto menu. V okně **Import <Network name>** kliknout na ikonu:

„Local“ – pokud si uživatel přeje importovat data z lokálního disku vašeho počítače

„Remote“ – pokud si uživatel přeje importovat data ze vzdáleného URL

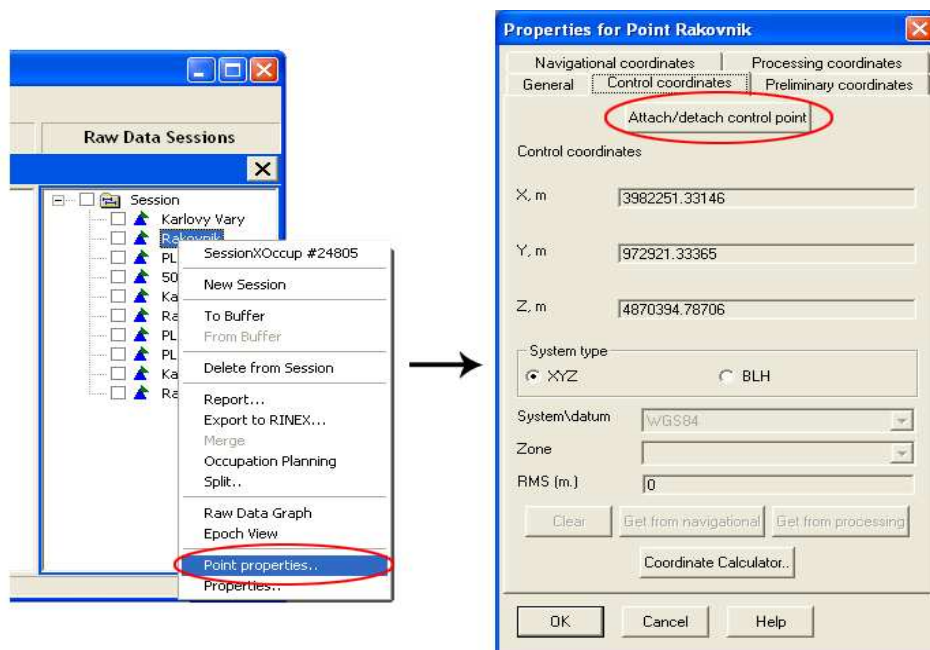
„Receiver“ – pokud si uživatel přeje přenést prvotní data z paměti přijímače přímo do databáze programu Pinnacle.

Při zpracování statiky byly vždy importovány soubory z lokálního disku (Local). Byly to soubory s příponou s \*.tps (formát firmy Topcon), který obsahoval měření z měřické stanice z terénu, a soubory s naměřenými daty z referenčních stanic ve formátu RINEX (výměnný formát) \*.rxn a \*.rxo, kde \*.rxn obsahuje obecné informace o době měření, a kde \*.rxo obsahuje veškerá naměřená data. Je důležité, aby se naimportovala taková data, která se budou časově překrývat s naší statikou (viz kapitola 2.4). To je možno následně ověřit, když se pravým tlačítkem myši klikne na Session a vybere View Occupation (viz obr. 3.4). Zde se objeví přehledný graf všech naimportovaných měření, kde lze snadno rozeznat, zda se data časově překrývají či nikoliv.



Obr. 3.4: Graf časově se překrývajících se měření

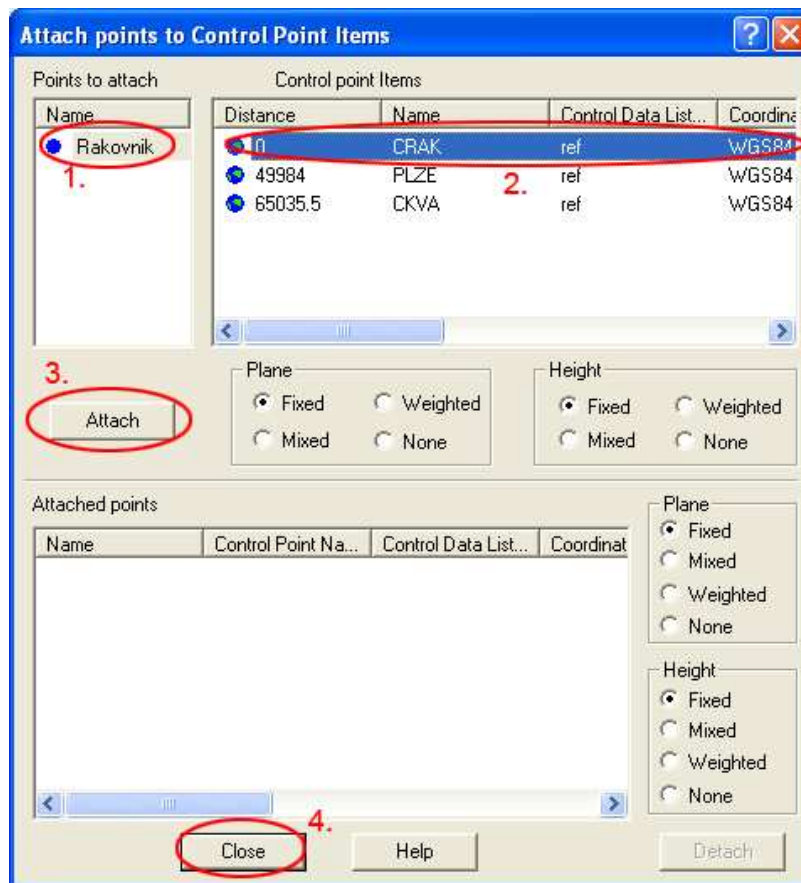
Další důležitá věc, kterou je třeba udělat, je nastavit přesné souřadnice referenčních stanic (ETRS-89). Ty byly získány ze serveru czepos.cuzk.cz. Souřadnice se ukládají do **Control Data List** (soubor s příponou \*.lst), kam byly tyto souřadnice uloženy. Souřadnice byly pak upraveny tak, že po kliknutí pravým tlačítkem na jednu z referenčních stanic se otevřely Vlastnosti bodu (**Point Properties**). V záložce **Control Coordinate** je možno nalézt tlačítko **Attach/Detach Control Point** (viz obr. 3.5).



Obr. 3.5: Obrázek znázorňuje, jakým způsobem se dostaneme do nabídky pro zadání implicitních souřadnic.

Po stisknutí se otevře okno, kde je vidět uložený soubor \*.lst se souřadnicemi referenčních stanic. V pořadí naznačeném v obr. 3.6 vybereme ETRS souřadnice hledaného bodu. Poté se ukáže upozornění, o kolik se tyto implicitní souřadnice lišily od průměru souřadnic z jedné referenční stanice. Zpravidla tato odchylka činila kolem jednoho metru. Tuto operaci stačí vždy podniknout jenom u jedné epochy měření, protože u ostatních epoch se stejným názvem se souřadnice již změní automaticky. Například budeme-li mít tři dvouhodinová měření z referenční stanice „RAKOVNIK“ se po změně souřadnic u jednoho z nich změní souřadnice i u ostatních dvou měření s názvem „RAKOVNIK“.





Obr. 3.6: Postup vybrání souřadnic pro referenční body uložených v Control Data List.

### Vytvoření řešení (Create Solution)

Existují dva způsoby jak vytvořit řešení (Solution):

- Metoda „Táhni a upust“ (drag&drop). Vybere se požadovaná relace prvotních dat a pomocí myši se přetáhne a upustí do panelu řešení (**Solutions**).
- Kliknutí pravým tlačítkem myši kdekoliv v panelu řešení (**Solutions**) a potom zvolit z vysunovacího menu položku „**New Solution**“ (Nové řešení).

Při vytvoření řešení bude uživatel vyzván, aby zvolil typ řešení (**Solution type**). Program Pinnacle nabízí tři typy: statické (dlouhé observace), stop&go (krátké observace) a kinematické (krátké observace v kombinaci s liniovým měřením). Při vytváření statického řešení budou brány v úvahu pouze statická data (tzn. Statická stanoviště). Pro rozvinutí stromu řešení je potřeba kliknout na odpovídající uzel. Když uživatel klikne na uzel názvu řešení (tj. na jádro), bude strom řešení částečně expandován, takže se objeví uzly „vektory“ a „stanoviště“. Pro zobrazení seznamu vektorů a stanovišť, které jsou v řešení přítomny, je třeba, aby uživatel rozbalil ještě uzly „vektory“, respektive „stanoviště“.

Zpracovatelský modul slouží jako rozhraní mezi databází programu Pinnacle a specializovanými submoduly nazývanými *engines*, obsahující algoritmy pro řešení tří typů naměřených dat. Jsou to submoduly *static*, *stop&go* a *kinematic*. Všechny jsou navrženy pro zpracování dvoufrekvenčních měřických dat získaných jak ze satelitního systému GPS, tak GLONASS.

Z hlediska bakalářské práce je podstatný submodul *static*, jenž je určen výhradně pro výpočet vektorů. Umožňuje několik módů statického zpracování založených na využití různých zjistitelných kombinací a technik zpracování. Statický zpracovatelský submodul pracuje na základě klasické techniky nejmenších čtverců. Vektory jsou zpracovávány nezávisle jeden za druhým. Zpracování dat se přizpůsobuje v závislosti na délce vektoru, celkového počtu měření, observačním čase a dalších činitelích. Řešení vektoru může být *fixed* (fixní), *float* (plovoucí) nebo *unambiguous* (bez určení ambiguit) podle zvoleného módu zpracování a podle „kvality“ odhadu ambiguit vektoru. U fixních řešeních, která jsou normálně nejpřesnější, jsou všechna celočíselná zkreslení pevně určena. V případě plovoucího řešení mohou být sice některá celočíselná zkreslení zafixována, ale jiná zůstávají na úrovni *float*. Dokonce i v případě, že v odhadu ambiguit vektoru existuje pouze jediné *float* zkreslení, bude přesto celé odpovídající řešení označeno jako *float* (částečné). Pro spuštění tohoto statického submodulu stačí kliknout pravým tlačítkem myši na podsložku s vektory a vybrat „**Run Process**“.

Po zpracování vektorů přejdeme k vyrovnání sítě. Postup vyrovnání může být rozdělen do tří etap podle [7]:

- **Předvyrovnání** umožňuje uživateli kontrolovat konzistenci dané sítě jako celku a zároveň je možno zjišťovat hrubé chyby ve vektorových datech.
- **Volné nebo minimálně vázané vyrovnání** je prováděno pro vyhodnocení vnitřní přesnosti sítě. Jeden bod sítě může být brán jako *fixní* nebo může být využito vnitřní vázání sítě.
- Při **závěrečném vyrovnání** je síť vázána více lokálními body. Po ukončení vyrovnání bude mít uživatel souřadnice bodů sítě v definovaném místním systému.

Zpracovaná data připravená k vyrovnání se přesunou do panelu **SubNets**. V menu subsítě se vyberou *Vlastnosti* a zde se zvolí parametry vyrovnání dle potřeby. Poté se v menu klikne na **Run Adjustment** a zahájí se proces vyrovnání sítě. Výsledek vyrovnání je možno uložit pomocí tlačítka **Report**, kde se doporučuje vybrat možnost uložení do textu a poté zadat cestu, kam se má soubor uložit. Soubor dostane příponu \*.rep, se kterou umí pracovat

i program TranGPS na transformaci souřadnic z WGS-84(ETRS-89) do S-JTSK, který bude později použit.

### **Výpočetní protokol**

V každém výpočetním protokolu lze nalézt souřadnice měřeného bodu ve formátu, jaký byl zvolen při zpracování měření v Pinnacle a směrodatné odchylky v jednotlivých složkách souřadnic přepočtené na milimetry. Další důležitou položkou v protokolu jsou spočtené vektory v síti bodů mezi referenčními stanicemi a naším měřeným bodem a opět směrodatné chyby v jednotlivých směrech. Pro další výpočty nás budou zajímat už jen souřadnice měřeného bodu. Jednotlivé protokoly u měřených bodů jsou k dispozici v příloze B.

### **3.3 Metoda RTK-GPS**

Zpravidla na začátku a na konci observace statickou metodou byl bod zaměřen ještě pomocí RTK-GPS a pro větší nezávislost měření byl ještě alespoň dvakrát doměřen v jiné dny. Doba měření trvala 2 sekundy. Při zaměřování byly získávány korekce pomocí GPRS z referenční stanice Plzeň ze sítě VESOG, což nám umožnilo sledovat družice typu GPS NAVSTAR a GLONASS. V síti CZEPOS bychom byli odkázáni pouze na družice GPS NAVSTAR, takže teoreticky se dá říct, že bychom měli naměřit přesnější výsledky z důvodu více řešených družic. Tato referenční stanice byla od místa měření vzdálena 30 kilometrů. Na každém bodě proběhlo minimálně šest měření metodou RTK-GPS s náhodným časovým rozestupem. Opět byly použity antény Legacy E a Hiper+.

### **3.4 Příprava naměřených dat pro vyhodnocení**

Statická a RTK měření byla získána s určitou přesností. Obecně se tvrdí, že statická metoda dosahuje větší přesnosti a pomocí tohoto testování přesnosti se pokusíme určit, zda tato hypotéza platí, či ne. Budeme tedy porovnávat dvě přesnosti měření a určovat, zda tyto přesnosti jsou srovnatelné, případně která metoda je přesnější.

Pro podrobné body platí kritérium přesnosti pro střední souřadnicovou chybu  $u_{XY} = 14$  cm a střední chybu ve výšce  $u_H = 12$  cm (kód kvality bodu 3). Veškerá měření, která jsme určovali statickou metodou měly střední chyby v určení polohy a výšky, přibližně o řád menší než u bodů kódu kvality 3. Aby metoda RTK měla v geodézii či katastru uplatnění,

musela by být výsledná přesnost minimálně srovnatelná s těmito středními chybami (směrodatnými odchylkami).

### 3.4.1 Postup zpracování a přípravy dat pro statické vyhodnocení

U každého bodu určíme prostorové souřadnice ve formátu zeměpisná šířka, zeměpisná délka a elipsoidická výška (dále již jen  $BLH_{el}$ ) a ve formátu pravoúhlých souřadnic (dále již jen  ${}^E X^E Y^E Z$ ) v systému ETRS-89. Převod ze zeměpisných souřadnic na pravoúhlé byl proveden podle [16] následujícím způsobem:

1. V daném bodě se vypočetl příčný poloměr křivosti podle vzorce

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (3.7)$$

2. Pro jednotlivé souřadnice (XYZ) platí

$$\begin{bmatrix} {}^E X \\ {}^E Y \\ {}^E Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + H_{el}) \cdot \cos B \cdot \cos L \\ (N + H_{el}) \cdot \cos B \cdot \sin L \\ [N(1 - e^2) + H_{el}] \cdot \sin B \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

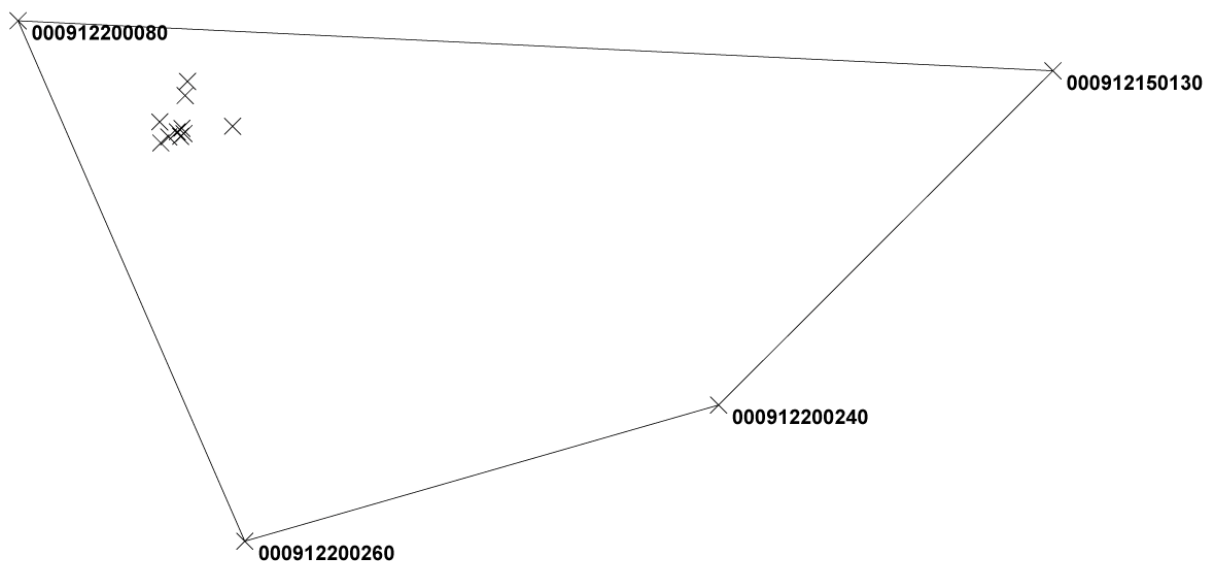
Koeficienty  $a$ ,  $e$  jsou hlavní poloosa a první excentricita elipsoidu. Jako referenční elipsoid byl uvažován GRS-80, jelikož měření byla prováděna v souřadnicovém systému ETRS-89. Rozdíl rozměru mezi elipsoidem GRS-80 a WGS-84 je zanedbatelný, viz [15].

Hlavním cílem bude určit přesnost v souřadnicovém systému S-JTSK, který je závazným souřadnicovým systémem na území České republiky pro civilní mapování. Proto bude ještě potřeba přetransformovat naměřené souřadnice do S-JTSK. Pro transformaci byl použit program TranGPS, vyvinutý pro společnost GEODIS s.r.o Brno. Transformace převádí eliptické souřadnice  $BLH_{el}$  na pravoúhlé v ETRS-89. Následuje převod na Besselův elipsoid pomocí sedmiprvkové transformace a následný převod do Křovákova zobrazení pravoúhlých rovinných souřadnic  $YX$  a přepočtení elipsoidické výšky na výšku normální (Moloděnského) v systému Bpv (Balt po vyrovnání). Koeficienty sedmiprvkové transformace byly určeny na základě čtyř identických bodů, pro které známe jak souřadnice ETRS-89, tak i v S-JTSK [2]. Použité body jsou v následující tabulce.

	Y	X	H (Bpv)	B	L	H(el.)
000912200080	836348.52	1042711.38	548.79	N 49°58'05.8470"	E 13°07'43.9165"	595.45
000912150130	823588.36	1043326.31	471.13	N 49°58'49.0650"	E 13°18'21.5699"	517.58
000912200240	827711.41	1047440.62	596.92	N 49°56'17.2200"	E 13°15'28.3428"	643.49
000912200260	833553.17	1049116.56	582.1	N 49°54'54.8183"	E 13°10'51.6467"	628.77

Tab.3.2: Identické body v S-JTSK a ETRS-89

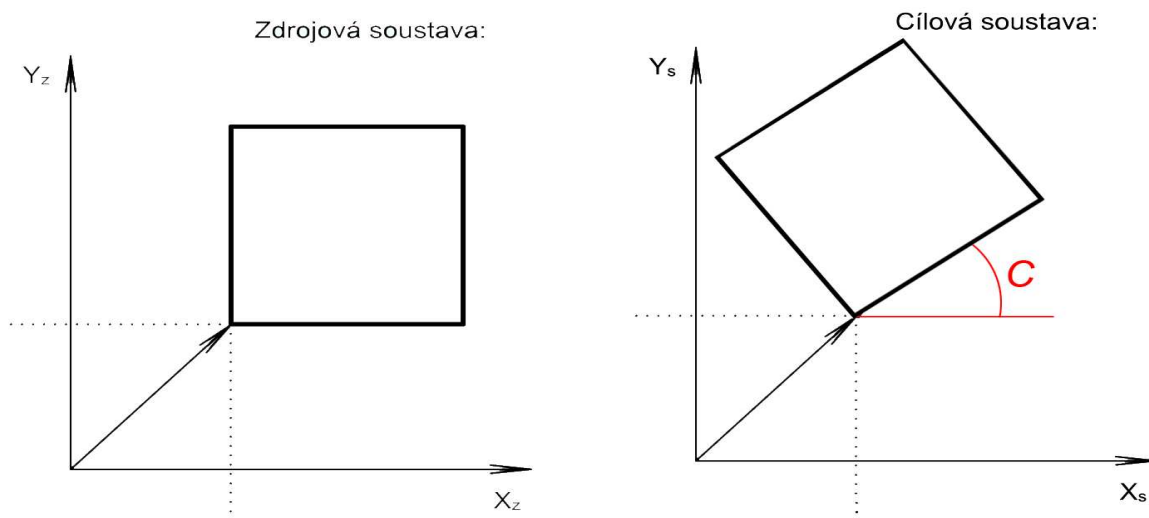
Body, na kterých proběhlo měření, musí ležet uvnitř oblasti vymezené identickými body uvedené v tabulce 3.2 (viz obr. 3.7).



Obr. 3.7: Geometrie transformačního klíče s vyznačenou měřickou oblastí

Porovnávání směrodatných odchylek bylo provedeno v S-JTSK. Bylo tedy zapotřebí přetransformovat směrodatné odchylky určené ze statiky ze systému ETRS-89 do systému S-JTSK. Program Pinnacle určil tyto odchylky jako změny v milimetrech ve směru zeměpisné šířky a délky. Předpokládejme, že můžeme aproximovat okolí měřeného bodu do roviny, z důvodu zanedbání křivosti Země. Pouhým natočením (podle Obr. 3.8) zeměpisné sítě o meridiánovou konvergenci dostaneme chyby v ose  $Y$  a  $X$  v S-JTSK. Změnu chyby ve výšce zanedbáme z důvodu velmi malých změn mezi směrem elipsoidické a normální (Moloděnského) výšky. V tomto případě se jedná o *lineární konformní transformaci*.

## Deformace obdélníka při použití LKT



Obr.3.8: Natočení dvou souřadnicových systémů o úhel meridiánové konvergence. [21]

Transformační rovnice:

$$\begin{aligned}\sigma(Y) &= \cos(C) \cdot \sigma(L) - \sin(C) \cdot \sigma(B) \\ \sigma(X) &= \sin(C) \cdot \sigma(L) + \cos(C) \cdot \sigma(B)\end{aligned}\tag{3.9}$$

*C...meridiánová konvergence*

*$\sigma(B)$ ,  $\sigma(L)$ ...směrodatné chyby ve směrech zeměpisné šířky a délky*

### 3.4.2 Odstranění odlehlých měření

Z našeho souboru naměřených hodnot bylo zapotřebí určit, s jakou přesností byla data získána a jak přesné hodnoty jsme naměřili. Před zahájením statistického vyhodnocení bylo zapotřebí eliminovat hrubé chyby a odlehlá pozorování ze souboru naměřených hodnot. Měření byla vyloučena v případě, že chyba měření překročila trojnásobek výběrové směrodatné odchylky. Tyto odchylky mohly být důsledkem značného zakrytí obzoru, nedobré konstelace družic, atmosférických vlivů, odražených vln a jiných vnějších vlivů. Bohužel nelze ani vyloučit měřické chyby.

Tato situace nastala v pěti případech:

*Bod 606*

- eliminována dvě měření
- odlehlé měření v určení všech tří složek souřadnic (zeměpisná šířka, délka, elipsoidická výška) v 1. měření
- odlehlé měření v určení zeměpisné šířky a délky ve 2. měření

Pravděpodobné důvody:

- značný zákryt obzoru

*Bod 609*

- eliminováno jedno měření
- odlehlé měření v určení všech tří složek souřadnic (zeměpisná šířka, délka, elipsoidická výška) v 1. měření

Pravděpodobné důvody:

- značný zákryt obzoru

*Bod 625*

- eliminováno jedno měření
- odlehlé měření v určení zeměpisné šířky v 11. měření

Pravděpodobné důvody:

- atmosférické vlivy, odrazení vln, měřické chyby

*Bod 5001*

- bod byl ze statistického souboru vypuštěn
- hrubá chyba v určení výšky

Důvod:

- nebyla změřena výška antény

*Bod 5002*

- eliminována dvě měření
- odlehlá měření v určení zeměpisné šířky ve 2. i 4. měření

Pravděpodobné důvody:

- atmosférické vlivy, odrazení vln, měřické chyby.

## 4. Vyhodnocení měřické kampaně

Všechny metody určování polohy jsou zatíženy chybami, které závisí na specifických podmínkách daného stanoviska<sup>4</sup>. Stejně tak je tomu i v případě GPS. Jak již bylo uvedeno, přesnost tohoto systému ovlivňuje především rozsah zakrytí oblohy na daném stanovisku, geometrie družic, atmosférické vlivy a další. Ovlivněno je jak určení polohy, tak určení elipsoidické výšky stanoviska. Chyba způsobená zhoršeným příjmem signálu vysílaného družicemi není na daném stanovisku konstantní – určovaná poloha a výška se s časem mění.

Pokud chceme zjistit přesnost měřické metody RTK, je nutné určit relativní přesnost – směrodatné odchylky naměřených dat. Výslednou relativní přesnost porovnáme s relativní přesností statické metody a určíme, která metoda je přesnější na daném stanovisku. Obvykle se uvádí, že klasická metoda RTK vykazuje přesnost v poloze do několika centimetrů a ve výšce až 10-15 cm. Cílem této práce je potvrdit či vyvrátit tyto domněnky a zjistit, zda je metoda RTK vhodná pro měření podrobných bodů, které by značně urychlily práce při zaměřování vlastnických hranic v katastru nemovitostí.

Pro co nejlepší zhodnocení přesnosti vycházíme ze zdrojů zabývajících se statistikou (viz [9], [10]) a ze zdrojů zabývajících se zpracováním GPS dat (viz [5],[11],[12]).

### 4.1 Zhodnocení relativní přesnosti RTK-GPS

Při určování výběrového rozptylu (viz vzorec 4.1) vycházíme ze souboru dat, kde počet měření se pohyboval v intervalu  $6 < n < 13$ . Z toho vyplývá, že náš statistický soubor hodnot je příliš malý na to, abychom získali nějaké přesné hodnoty. Vždy byl určen výběrový rozptyl a směrodatná odchylka pro daný směr. V systému ETRS-89 byly tyto hodnoty určeny pro pravoúhlé ( ${}^E X^E Y^E Z$ ) i eliptické ( $BLH_{el}$ ) souřadnice a v systému S-JTSK pro pravoúhlé souřadnice i s normální výškou v systému Bpv ( ${}^J Y^J X^N H$ ).

Relativní přesnost je úzce spjata hlavně s množstvím zakrytého obzoru (viz kapitola 3.1). Mezi další důležité vlivy patří například geometrie satelitů, kterou nám popisuje koeficient PDOP. Obecně platí, že čím je menší koeficient PDOP, tím lepší geometrii satelitů máme, a tím je možno dosáhnout přesnějších hodnot. Všechny koeficienty PDOP lze nalézt v měřických zápisnících v příloze C.2.

---

<sup>4</sup> Hrubé chyby a odlehlá pozorování byly již vyloučeny v kapitole 3.4.2



### 4.1.1 Postup vyhodnocování

Většina zeměpisných souřadnic byla zapsána v protokolu ve formátu dd.mmsssss, kde proměnné d,m,s představují stupně, minuty, sekundy. S takto zapsanou souřadnicí se samozřejmě nedá matematicky počítat, a tak byly nejprve všechny hodnoty přepočteny na stupně, tedy do formátu dd.ddddddd.

Veškerý další postup výpočtu výběrového rozptylu a směrodatné chyby ve všech složkách souřadnic byl proveden podle následujícího postupu:

1. Budeme předpokládat, že naměřené hodnoty  $X_i$  mají normální rozdělení. Střední hodnotu určíme tedy prostým aritmetickým průměrem

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i . \quad (4.1)$$

2. Vypočtená průměrná hodnota posloužila k výpočtu výběrového rozptylu a směrodatné odchylky.

$$\sigma^2(X) \approx s^2(X) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2 \quad (4.2)$$

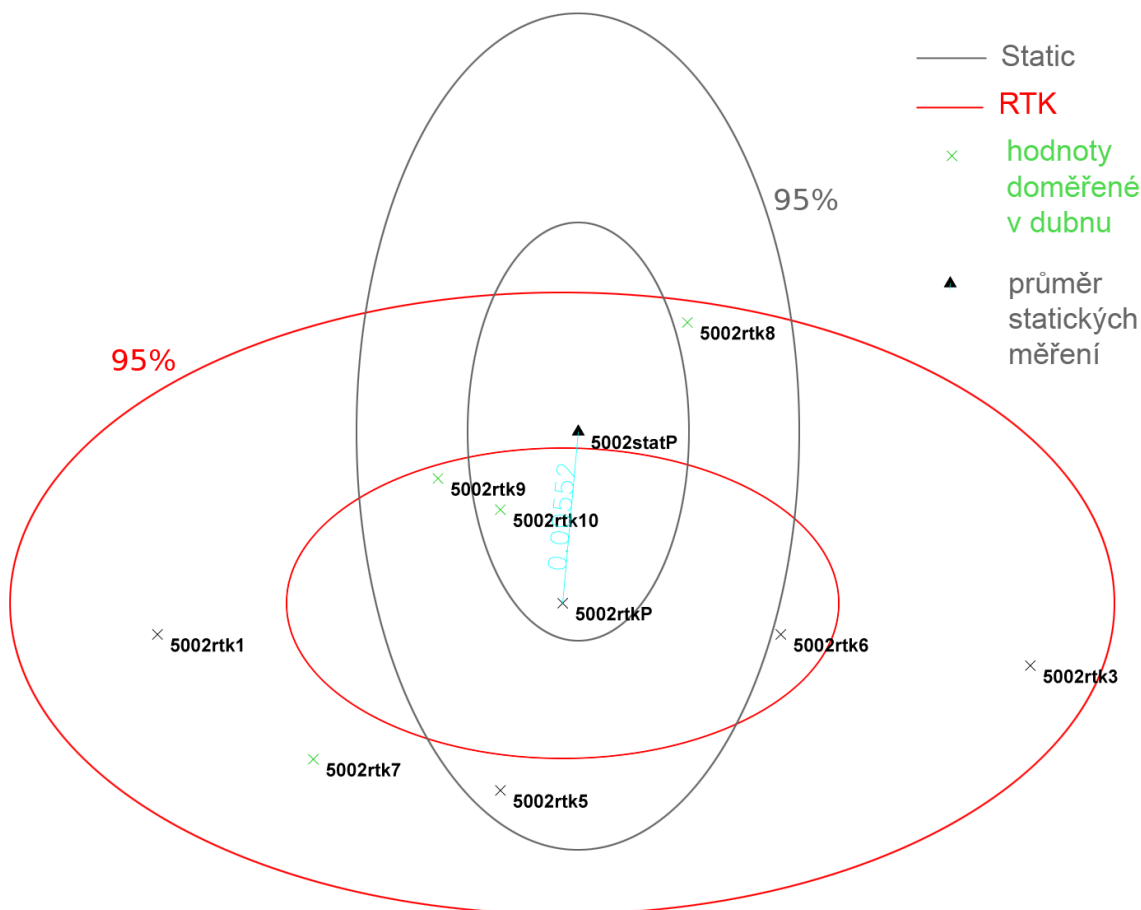
$n$ ...počet měření

$s^2(X)$ ...výběrový rozptyl

$\sigma^2(X)$ ...rozptyl

$\sigma(X)$ ...směrodatná odchylka

3. Dvojnásobek a trojnásobek směrodatné odchylky představuje přibližně 95% a 99% pravděpodobnost chyby měření - tedy podíl naměřených hodnot ležících v intervalu  $\bar{X} \pm 2\sigma$  a  $\bar{X} \pm 3\sigma$ . Tyto odchylky pak posloužily pro tvorbu chybových elips. Na obr. 4.1 jsou uvedeny chybové elipsy pro bod 5002, ostatní body jsou k nalezení na příloženém CD.



Obr. 4.1: Chybové elipsy v poloze, kde prostorová vzdálenost mezi průměrnou RTK hodnotou a hodnotou určenou ze statiky je udána v metrech.

4. Při použití programu pro transformaci z ETRS-89 (WGS-84) do S-JTSK jsme mohli zároveň otestovat přesnost transformace. Ověření proběhlo tak, že do transformace vstupovala střední hodnota ze souřadnic v systému ETRS-89 spolu s jednotlivými měřeními ( $\bar{X}_{ETRS-89 \rightarrow S-JTSK}$ ). Tato střední hodnota byla poté porovnána se střední hodnotou získanou z jednotlivých transformovaných souřadnic v S-JTSK a Bpv ( $\bar{X}_{S-JTSK}$ )

$$\Delta = \bar{X}_{ETRS-89 \rightarrow S-JTSK} - \bar{X}_{S-JTSK} \quad (4.3)$$

Bod	dY [mm]	dX [mm]	dH [mm]
519	1.909091	0.36364	0.272727
603	0.25	0.375	0.125
604	0.25	0.375	0.125
606	0.142857	0.14286	0.285714
608	0.916666	0.66667	0.5
609	0.111111	1	0.444444
610	0.4	0.3	0.7
625	0.6	0	0.1
5002	0.375	0.125	0.125
<b>Průměr:</b>	<b>0.550525</b>	<b>0.372019</b>	<b>0.297543</b>

Tab.4.1: Transformační chyby

Jak můžeme vidět v tabulce 4.1, tak rozdíly nepřesahují ve většině případů 1 mm. Vliv transformace můžeme tedy zanedbat a další vyhodnocení provádět už pouze v systému S-JTSK.

- Dalším provedeným výpočtem u jednotlivých bodů byl výpočet prostorové a plošné vzdálenosti (v rovině  ${}^J X^J Y$ ) mezi střední hodnotou a jednotlivými měřeními. Na tomto případě jsme opět mohli zkontrolovat vliv transformace, protože prostorová vzdálenost byla vypočtena v ETRS-89 a S-JTSK.

*Prostorová vzdálenost v obou systémech:*

$$\text{ETRS-89: } s_{prost} = \sqrt{({}^E \bar{X} - {}^E X_i)^2 + ({}^E \bar{Y} - {}^E Y_i)^2 + ({}^E \bar{Z} - {}^E Z_i)^2} \quad (4.4)$$

$$\text{S-JTSK: } s_{prost} = \sqrt{({}^J \bar{Y} - {}^J Y_i)^2 + ({}^J \bar{X} - {}^J X_i)^2 + ({}^N \bar{H} - {}^N H_i)^2} \quad (4.5)$$

*Plošná vzdálenost v S-JTSK (zanedbání výšky):*

$$s_{plos} = \sqrt{({}^J \bar{Y} - {}^J Y_i)^2 + ({}^J \bar{X} - {}^J X_i)^2} \quad (4.6)$$

Bod	Prostorová vzdálenost [m]		Plošná vzdálenost [m]	Rozdíl prostorových vzdáleností v ETRS-89 a S-JTSK
	$s_{prost}(\text{ETRS-89})$ [m]	$s_{prost}(\text{S-JTSK})$ [m]	$s_{plos}(\text{S-JTSK})$ [m]	$ds$ [mm]
519	0.041894994	0.042600083	0.013441812	0.705089055
603	0.029532596	0.029613658	0.020133469	0.081061173
604	0.04281856	0.042802651	0.018611062	0.015908921
606	0.106892815	0.107164558	0.041366024	0.27174291
608	0.034781545	0.03442195	0.01756583	0.359595691
609	0.095154292	0.094954506	0.051767761	0.199786928
610	0.067487455	0.067554173	0.03042828	0.066718165
625	0.028589679	0.028398224	0.006976829	0.191455186
5002	0.034325777	0.034293311	0.008710518	0.032465904
			<b>Průměr:</b>	<b>0.213758215</b>

Tab.4.2: Tabulka prostorových a plošných vzdáleností. Rozdíl mezi prostorovou vzdáleností v obou systémech je zanedbatelný.

Tento postup byl proveden u každého zaměřeného stanoviště. Výsledné hodnoty pak vstupovaly do celkového statistického vyhodnocení (viz kapitola 4.1.2). V bodě 4 a 5 jsme určily velikost vlivu transformace dvěma nezávislými způsoby.

#### 4.1.2 Výsledky statistického vyhodnocení přesnosti RTK

Pomocí výsledků z porovnání transformovaných hodnot a porovnání prostorových vzdáleností (viz kapitola 4.1.1) můžeme tvrdit, že transformace má na výslednou přesnost zanedbatelný vliv. Tedy veškeré další vyhodnocování přesnosti bude provedeno pouze v systému S-JTSK. V obou tabulkách 4.1 a 4.2 můžeme vidět, že rozdíl mezi hodnotami v ETRS-89 a S-JTSK je minimální. Nyní si uvedeme hodnoty směrodatných odchylek statické metody a RTK metody.

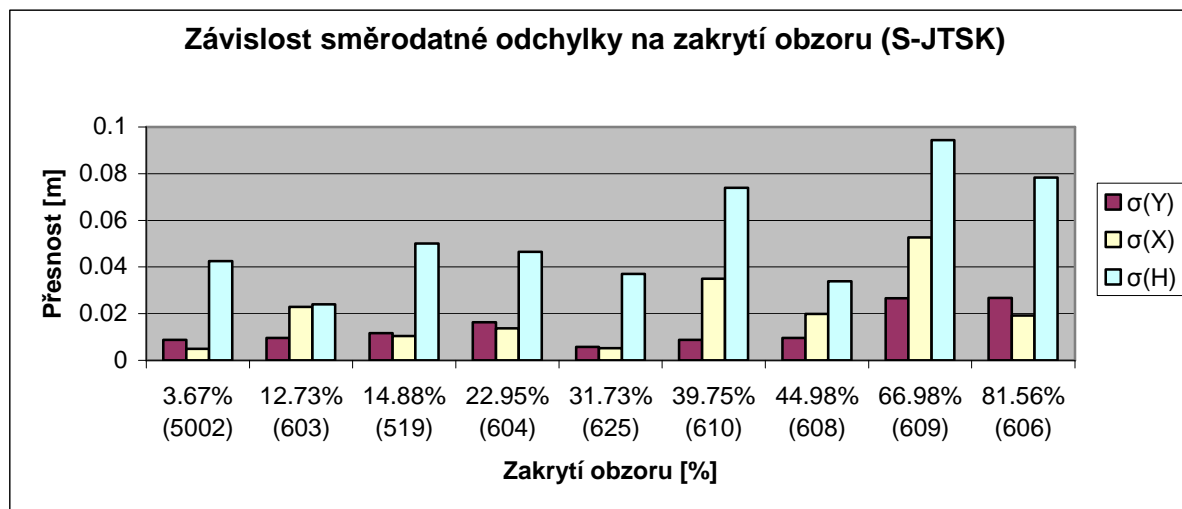
Přesnost statické metody			
Bod	$\sigma^{(Y)}$ [m]	$\sigma^{(X)}$ [m]	$\sigma^{(H)}$ [m]
519	0.00343	0.006603	0.01275
603	0.005484	0.008692	0.01765
604	0.003506	0.006109	0.01205
606	0.032775	0.027844	0.03305
608	0.004221	0.006067	0.01395
609	0.004546	0.007889	0.0134
610	0.004679	0.008668	0.01675
625	0.003275	0.005314	0.01025
5002	0.003563	0.006724	0.012
<b>Průměr:</b>	<b>0.007276</b>	<b>0.009323</b>	<b>0.015761</b>

Tab. 4.3: Relativní směrodatné odchylky pro statické měření

Bod	Relativní směrodatné odchylky			Extrémní rozdíly souřadnic od $\sigma$ [m]			Zákryt obzoru
	$\sigma^{(Y)}$ [m]	$\sigma^{(X)}$ [m]	$\sigma^{(H)}$ [m]	$d^Y$ [m]	$d^X$ [m]	$d^H$ [m]	
519	0.0116658	0.010395	0.050084	-0.017091	0.018636	-0.0987	14.88%
603	0.009573	0.022965	0.024038	-0.016250	0.033375	0.0569	12.73%
604	0.0162635	0.013752	0.046486	0.029750	0.025375	-0.0751	22.95%
606	0.0267671	0.019222	0.078292	-0.052143	-0.027143	-0.1487	81.56%
608	0.0095675	0.019851	0.033929	-0.025917	0.044667	-0.0695	44.98%
609	0.026601	0.052726	0.094441	-0.039889	0.090000	0.1446	66.98%
610	0.0088217	0.034945	0.073932	0.018400	-0.057700	-0.1357	39.75%
625	0.0057966	0.005185	0.03706	0.011400	-0.008000	0.0759	31.73%
5002	0.0088307	0.00497	0.042566	0.015375	0.008875	-0.0741	3.67%
<b>Průměr:</b>	<b>0.0137652</b>	<b>0.020446</b>	<b>0.053425</b>				

Tab.4.4: Relativní směrodatné odchylky s extrémními rozdíly střední hodnoty a jednotlivých měření metodou RTK.

Směrodatné odchylky na hladině významnosti  $\alpha = 0.05$  a  $\alpha = 0.01$  jsou uvedeny v příloze F.1 .

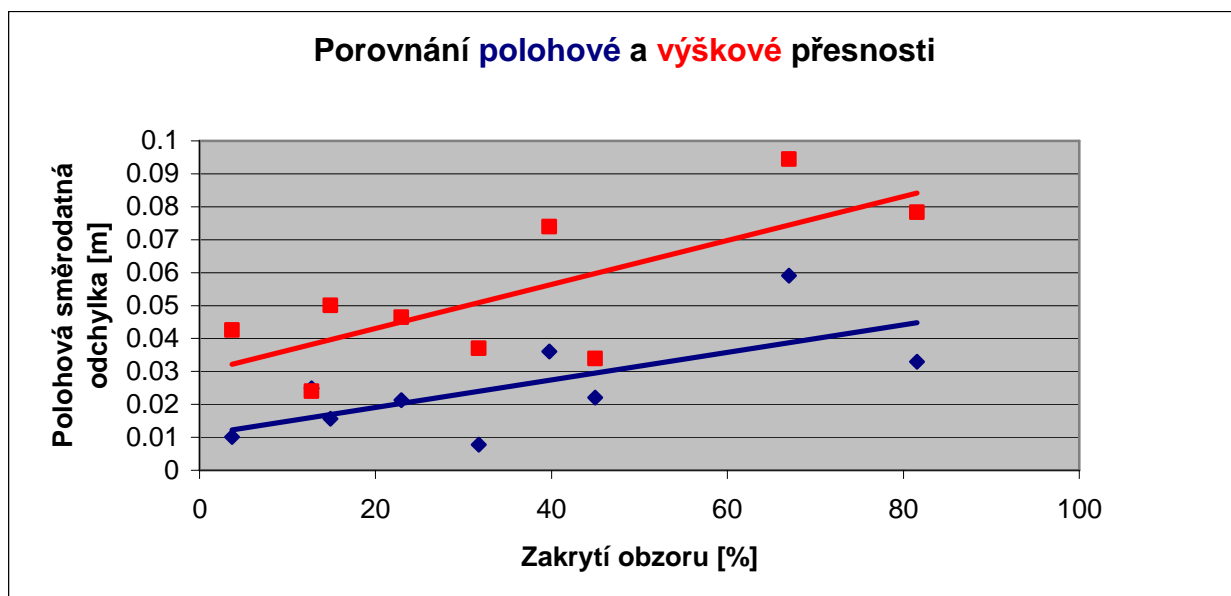


Graf 4.1: Závislost směrodatné odchylky na zakrytí obzoru

Ze závislosti v grafu 4.1 nemůžeme s jistotou konstatovat, že pokud máme značný zákryt obzoru, tak určitě naměříme méně přesné hodnoty. Příkladem může být bod 608 s téměř 45% zákrytem, kde jsme naměřili souřadnice se srovnatelnou přesností jako u bodů, které měly zákryt obzoru zhruba 10 %. Nicméně určitý trend vysledovat lze (graf 4.2). Při porovnání růstu polohových směrodatných odchylek a výškových směrodatných odchylek v závislosti na zakrytí obzoru v grafu 4.2 zjistíme, že výšková přesnost se zmenšuje rychleji než polohová přesnost. Polohová směrodatná odchylka byla určena jako odmocnina ze součtu kvadrátů směrodatných odchylek ve směru  $Y$  a  $X$ . Pro porovnání s kritérii přesnosti pro zaměřování podrobných bodů byla vypočtena ještě střední souřadnicová chyba jako podíl polohové směrodatné odchylky s odmocninou ze dvou (viz vzorec 4.7 a 4.8).

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2} \quad \text{- polohová směrodatná odchylka} \quad (4.7)$$

$$m_{xy} = \sigma_{xy} = \frac{\sigma_p}{\sqrt{2}} \quad \text{- střední souřadnicová chyba} \quad (4.8)$$



Graf 4.2.: Porovnání růstu přesnosti v poloze a ve výšce v závislosti na zakrytí obzoru

### Shrnutí výsledků

Zde jsou uvedeny zprůměrované polohové a výškové směrodatné odchylky a souřadnicové střední chyby ze všech měřených bodů pro statickou a RTK metodou s mírou pravděpodobnosti 68,3 % a 95 %. Pro jednotlivá měření jsou veličiny uvedeny v příloze F.

Relativní přesnost s mírou pravděpodobnosti 68,3 %:

Statická metoda:  $\sigma_p = 1,20$  cm  
 $\sigma_{xy} = 1,10$  cm  
 $\sigma_H = 1,58$  cm

RTK metoda:  $\sigma_p = 2,55$  cm  
 $\sigma_{xy} = 1,60$  cm  
 $\sigma_H = 5,34$  cm

Relativní přesnost s mírou pravděpodobností 95 %:

Statická metoda:  $\sigma_p = 2,40$  cm  
 $\sigma_{xy} = 1,55$  cm  
 $\sigma_H = 3,15$  cm

RTK metoda:  $\sigma_p = 5,11$  cm  
 $\sigma_{xy} = 2,26$  cm  
 $\sigma_H = 10,69$  cm

## Srovnání přesnosti statického a RTK měření

Pokud chceme srovnat přesnosti ze dvou nezávislých měření (statika, RTK), provedeme testování nulové hypotézy ( $H_0$ ) na základě dvou výběrů o různých rozptylech a počtem naměřených hodnot (viz [10]). K tomuto účelu nám nejlépe poslouží „*f-test*“ (Fisherův test), který předpokládá, že máme dva náhodné výběry normálního rozdělení o rozsahu  $n_1$  a  $n_2$ . Aby statistický soubor normálního rozdělení vykazoval relativně přesné výsledky, tak musí platit, že počet měření bude větší než 30. Měření ze statické metody tento předpoklad splňuje, protože střední hodnota byla spočtena jako průměr pětivteřinových observací během dvouhodinového měření ( $n_2 \approx 7200[s]/5[s] = 1440$ ). Pro RTK se počet naměřených hodnot pohyboval pouze okolo 10 hodnot ( $n_1 = 10$ ). Testování bude tedy zatíženo chybou malého počtu naměřených hodnot. Výsledky by tedy neměly být brány jako závazné.

*F-test:*

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad - \text{nulová hypotéza} \quad (4.9)$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad - \text{testovací charakteristika pro } \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2 \quad (4.10)$$

Hypotézu  $H_0$  přijímáme pokud  $F < F_{\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1)$ , kde  $n_1 - 1$  a  $n_2 - 1$  jsou stupně volnosti statistických souborů. V našem případě jsme přesnosti testovali na hladině významnosti  $\alpha=0.1$ , resp.  $\alpha=0.02$ . Tedy pokud naše hypotéza nebude přijata, znamená to, že změřené hodnoty leží v kritickém oboru testu a s rizikem chyby 10 %, resp. 2 % tvrdíme, že metody nemají stejnou přesnost. Zde je uvedena tabulka testovacích charakteristik s výsledným rozhodnutím, zda obě metody mají srovnatelnou přesnost či nemají.

F-TEST PRO $\alpha=0.1$				
Bod	F pro $\sigma_p$	F pro $\sigma_p$	$F_{0.05(n_1-1, n_2-1)}$ pro $\sigma_p$	$F_{0.05(n_1-1, n_2-1)}$ pro $\sigma_p$
519	4.41	15.43	1.83	1.83
603	5.86	1.85	2.01	2.01
604	9.14	14.88	2.01	2.01
606	1.70*	5.61	3.67	2.10
608	8.89	5.92	1.79	1.79
609	42.07	49.67	1.94	1.94
610	13.39	19.48	1.88	1.88
625	1.55	13.07	1.88	1.88
5002	1.77	12.58	2.01	2.01

Bod	F-TEST PRO $\alpha=0.02$			
	F pro $\sigma_p$	F pro $\sigma_H$	$F_{0.01(n1-1, n2-1)}$ pro $\sigma_p$	$F_{0.01(n1-1, n2-1)}$ pro $\sigma_H$
519	4.41	15.43	2.32	2.32
603	5.86	1.85	2.64	2.64
604	9.14	14.88	2.64	2.64
606	1.70*	5.61	6.88	2.80
608	8.89	5.92	2.26	2.26
609	42.07	49.67	2.51	2.51
610	13.39	19.48	2.41	2.41
625	1.55	13.07	2.41	2.41
5002	1.77	12.58	2.64	2.64

\*Přesnost RTK ( $\sigma$ ) byla vyšší než u statiky

Nulová hypotéza neplatí => statická metoda je přesnější
Nulová hypotéza platí => přesnosti jsou srovnatelné

Tab. 4.3 a 4.4: Tabulky testovacích charakteristik pro hladinu významnosti  $\alpha=0.1$ , resp.  $\alpha=0.02$  pro polohovou přesnost a výškovou.

Jelikož v obou hladinách významnosti nenastala žádná změna v přijímání hypotéz o srovnatelnosti přesnosti metod RTK a statiky, můžeme s 98% jistotou tvrdit, že v poloze je relativní přesnost RTK srovnatelná pouze u bodů 606, 625, 5002 a ve výšce pouze u bodu 603. Ve všech jiných případech s 98% pravděpodobností tvrdíme, že statická metoda je přesnější.

Zajímavé je, že u bodu 606, kde zákryt oblohy byl přes 80 %, se poloha určila se srovnatelnou přesností. Je to způsobeno především méně přesným (přibližně o jeden řád směrodatné chyby) zaměřením bodu statickou metodou oproti ostatním měřením.



## 5. Závěr

V úvodu práce byly popsány hlavní globální polohové systémy GPS NAVSTAR, GLONASS a Galileo (viz kapitola 2.2). Pomocí těchto systémů můžeme přesně a efektivně určovat polohu kdekoli na Zemi. Při měření pomocí GPS je uživateli umožněno získávat korekce z pozemních referenčních stanic nebo z geostacionárních družic. Byly zmíněny systémy WAAS, EGNOS a MSAS, které opravují signály z družic pomocí řídké sítě referenčních stanic a skrze geostacionární satelity vysílají korekce přijímačům GPS. Tato služba je hojně využívána u navigační GPS. Polohová a výšková přesnost těchto systémů se pohybuje řádově v metrech. Pro účely geodézie je potřeba mnohem vyšší přesnost. K tomu nám slouží metody nazývané se diferenciální GPS (kapitola 2.4), kde byly popsány principy GPS měření metodou RTK, statickou a dalších.

Za účelem zhodnocení přesnosti GPS měření metodou RTK byla zrealizována měřická kampaň na deseti bodech podrobného bodového pole v okolí Zámku Nečtiny (kvůli měřické chybě muselo být měření na bodu 5001 z měřického souboru odstraněno).

Na každém bodu bylo provedeno měření statickou a RTK metodou. Zároveň na všech bodech proběhlo zaměření hranice obzoru, ze kterého byl vypočten pomocí sférické trigonometrie podíl zakrytého obzoru na celkové ploše oblohy, a tudíž zjištěn případný vliv na naměřené hodnoty. Naměřená data ze statické metody byla zpracována v programu Pinnacle a spolu s daty z RTK měření vyexportována do programu OpenOffice.org 2.0 Calc, případně do MS Excel, kde bylo provedeno statistické vyhodnocení naměřených souřadnic.

Naměřená data ze statického a RTK měření byla získána v systému ETRS-89 a poté přetransformována pomocí programu TranGPS do S-JTSK. Vyhodnocení mohlo být zatíženo chybou transformace, tudíž bylo zapotřebí zjistit její velikost. Chyba byla zjišťována dvojím způsobem. První způsob porovnával průměrné prostorové vzdálenosti naměřených hodnot od střední hodnoty v obou referenčních systémech. Průměrný rozdíl činil přibližně 0,2 mm. Druhý způsob zase porovnával transformovanou střední hodnotu v ETRS-89 a střední hodnotu jednotlivých transformovaných měření. V tomto případě rozdíl činil ve směru osy  $^JY$  0,55 mm, v ose  $^JX$  0,37 mm a ve výšce  $^NH$  0,30 mm. Z těchto výsledných hodnot můžeme prohlásit, že vliv transformace je velmi malý a je možno ho zanedbat. Tudíž stačí, abychom další statistické porovnávání přesnosti prováděli pouze v jednom referenčním systému, a to v S-JTSK.

Statistické hodnocení probíhalo ve dvou částech. Nejprve byl vypočítán výběrový rozptyl a směrodatná odchylka RTK měření. Přitom byly zjištěny a eliminovány hrubé chyby a odlehlá pozorování. V další části byla porovnána přesnost RTK s přesností statické metody,

kteřou vypočetl program Pinnacle, pomocí testování hypotézy, zda jsou přesnosti obou metod na daném bodě srovnatelné. Z tohoto testu vyšlo, že v drtivé většině případů byla přesnější statická metoda, jak bylo uvedeno v tabulkách 4.3 a 4.4 v kapitole 4.1.2.

Průměrná relativní přesnost statiky na všech měřených bodech činila v poloze  $\sigma_p = 1,20$  cm a ve výšce  $\sigma_H = 1,58$  cm. Průměrná relativní přesnost RTK činila v poloze  $\sigma_p = 2,55$  cm a ve výšce  $\sigma_H = 5,34$  cm. Obecně se tvrdí, že přesnost statické metody je vyšší než u RTK. Vypočtené průměrné přesnosti to potvrzují, jelikož v poloze je na našem měření statika zhruba dvakrát přesnější a ve výšce 3,5krát přesnější než u RTK.

Pro zaměřování podrobných bodů polohopisu, resp. výškopisu (kód charakteristiky kvality 3) platí kritéria přesnosti  $u_{XY} = 0,14$  metru, resp.  $u_H = 0,12$  metru [26]. Pokud s těmito kritérii srovnáme průměrnou střední souřadnicovou chybu a střední chybu v určení výšky (směrodatnou odchylku) ze všech měřených bodů, tak můžeme tvrdit, že s 95% pravděpodobností byla kritéria splněna, až na určení výšky u bodu 606, 609 a 610 (viz příloha F.1). U všech těchto bodů byl značný zákřyt obzoru. Z výsledků je možno tvrdit, že metoda RTK pro zaměřování podrobných bodů polohopisu je použitelná. Zaměřování podrobných bodů výškopisu by mělo být realizováno pouze na místech s minimálním zakřytím obzoru pro dosažení přesnosti odpovídající kódu charakteristiky kvality 3 a přitom je třeba provést alespoň dvě nezávislá měření podle přílohy 1 bodu 9 vyhlášky 31/1995 Sb., (viz [24]).

## Literatura

- [1] - Zeměměřický úřad, CZEPOS – Česká permanentní síť pro určování polohy [online]. [cit. 2007-01-23]  
URL: <http://czeapos.cuzk.cz/>
- [2] - Zeměměřický úřad, DATAZ - Databáze trigonometrických a zhušťovacích bodů [online]. [cit. 2007-01-23]  
URL: <http://dataz.cuzk.cz/>
- [3] - RAPANT, Petr: Družicové polohové systémy [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0124-8.  
URL: [http://gis.vsb.cz/Publikace/Knizni\\_Publikace/DNS\\_GPS/DNS\\_GPS.pdf](http://gis.vsb.cz/Publikace/Knizni_Publikace/DNS_GPS/DNS_GPS.pdf)
- [4] - Galileo v České republice [online]. [cit. 2007-05-20]  
URL: <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/>
- [5] - Princip zpracování GPS měření [online]. [cit. 2007-05-20]  
URL: <http://gama.fsv.cvut.cz/gk/k152/navody/VG21/VG21-Princip-GPS-zpracovani.pdf>
- [6] - Pinnacle™ - Příručka zpracování měření [online]. [cit. 2007-02-11]  
URL: <http://www.geodis.cz/www/download/zip/PinnacleZpracCZ.zip>
- [7] - Pinnacle™ - Příručka vyrovnání sítě [online]. [cit. 2007-02-11]  
URL: <http://www.geodis.cz/www/download/zip/PinnacleZpracCZ.zip>
- [8] - GREWAL, S. Mohinder – WEILL, Lawrence R. – ANDREWS, Argus P.: Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. ISBN-0-471-20071-9
- [9] - REIF, Jiří: Metody matematické statistiky. Plzeň: Západočeská universita, 2000. ISBN 80-7082-593-6
- [10] - F-Test for Equality of Two Standard Deviations [online]. [cit. 2007-05-04]  
URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda359.htm>
- [11] - VANIŠ, Pavel – KOCÁB, Milan: Testování aparatur GPS pro navigační systémy a mobilní sběr geodat [online]. [cit. 2007-04-28]  
URL: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2007/sbornik/Referaty/Sekce4/Vanis.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce4/Vanis.pdf)
- [12] - VALA, Roman: Testování přesnosti RTK měření v závislosti na vzdálenosti od referenční stanice [online]. [cit. 2007-04-28]  
URL: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2007/sbornik/Referaty/Sekce4/Clanek%20GIS%20Vala.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce4/Clanek%20GIS%20Vala.pdf)
- [13] - LANGLEY, B.: RTK GPS. GPS World, 9, č. 9 1998
- [14] - BARANOVÁ, Magdaléna: Multimediální přednášky z matematické kartografie [online]. Plzeň: Západočeská universita. [cit. 2007-04-25]  
URL: [http://www.gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni\\_texty/index.html](http://www.gis.zcu.cz/studium/mk2/multimedialni_texty/index.html)

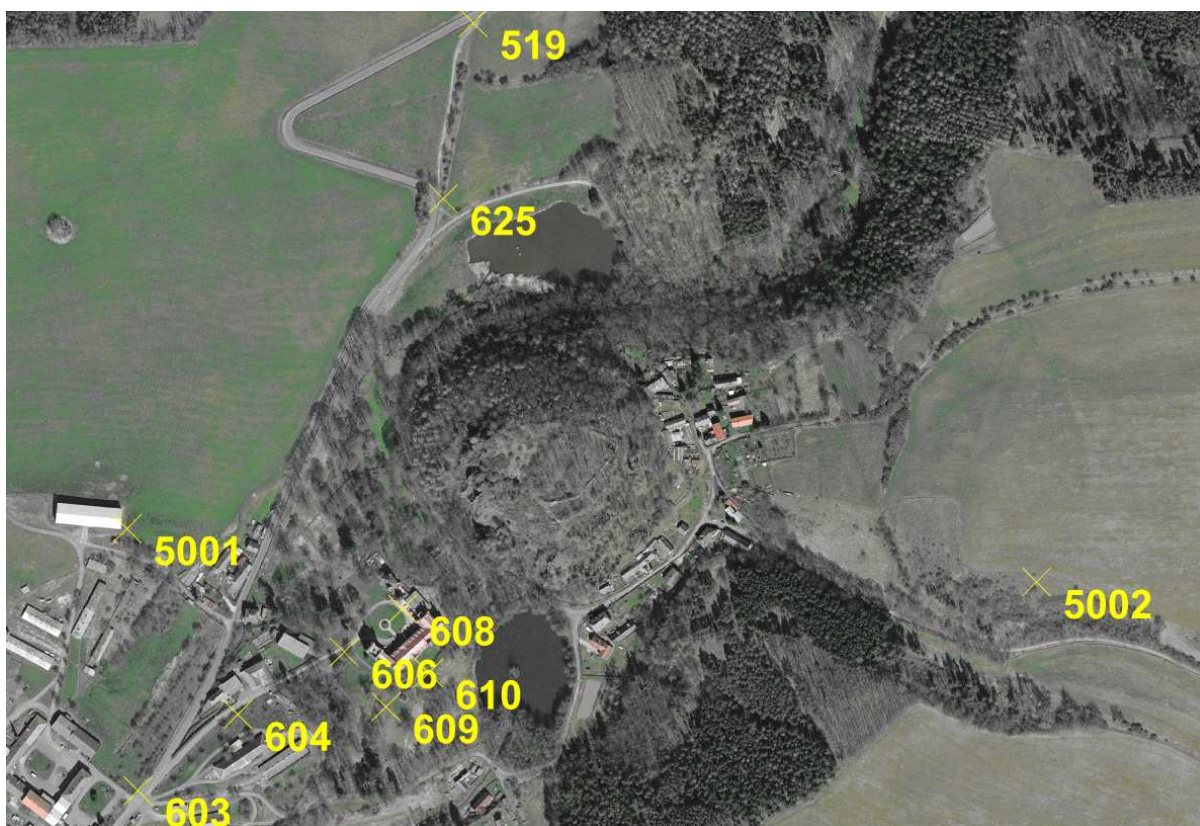
- [15] - Geodetic Reference System 1980 (GRS80) [online]. [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/geodis/REFS/grs80.html>
- [16] - NOVÁK, Pavel: Přednáškové texty z vyšší geodézie [online]. Plzeň: Západočeská universita [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://www.gis.zcu.cz/?page=gev>
- [17] - NOVÁK, Pavel: konzultace. Plzeň 5.5.2007
- [18] - European Space Agency, EGNOS - The European Geostationary Navigation Overlay Service [online]. [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- [19] - Stellite Navigation, WAAS - Wide Area Augmentation System [online] [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://gps.faa.gov/sitemap/index.htm>
- [20] - ENGE, Per: GPS Modernization: Capabilities of the New Civil Signal [online]. Stanford: Stanford University, [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://waas.stanford.edu/~wwu/papers/gps/PDF/EngeAIAC03.pdf>
- [21] - JEDLIČKA, Karel: Přednášky k předmětu Úvod do GIS [online]. Plzeň: Západočeská universita, [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://www.gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>
- [22] - Russian Space Agency, ICA – The Information-Analytical Centre [online]. [cit. 2007-05-21]  
URL: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- [23] - SEEBER, Günter: Satellite Geodesy. 2nd Edition, Berlin 2003, Walter deGruyter. ISBN 3-11-017549-5
- [24] - Vyhláška č. 31/1995 Sb., ve znění pozdějších novel, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením
- [25] - Vyhláška č. 26/2007 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění pozdějších předpisů, (katastrální vyhláška)
- [26] - ČADA, Václav: Přednáškové texty z geodézie [online]. Plzeň: Západočeská universita [cit. 2007-05-25]  
URL: <http://www.gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>

## Seznam příloh

<b>Příloha A</b> - Přehledka měřické oblasti .....	46
<b>Příloha B</b> - Výpočetní protokol z programu Pinnacle při výpočtu souřadnic bodu 5002. Další protokoly jsou přiloženy na CD. ....	47
<b>Přílohy C</b> - Početní zpracování naměřených dat	
C.1 Výpočetní protokol .....	49
C.2 Zápisník naměřených dat .....	50
C.3 Výsledné veličiny ze zpracování .....	51
<b>Příloha D</b> - Výpočetní protokol zpracování zakrytí obzoru .....	52
<b>Příloha E</b> - Protokol z transformace v programu TranGPS .....	53
<b>Přílohy F</b> - Tabulky vyhodnocených přesností	
F.1 Směrodatné odchylky ve všech souřadnicových složkách pro míru pravděpodobnosti 68.3 %, 95 %, 99% .....	54
F.2 Směrodatné odchylky v poloze a střední souřadnicové chyby pro míru pravděpodobnosti 68.3 %, 95 %, 99% .....	56
<b>Příloha G</b> - Obsah přiloženého CD .....	57

## Přílohy

### Příloha A. Přehledka měřické oblasti.



**Příloha B. Výpočetní protokol z programu Pinnacle při výpočtu souřadnic bodu 5002.**

(Další protokoly jsou přiloženy na CD.)

SUBNET 'Session' POINTS: ADJUSTED COORDINATES in WGS84( BLH )													
#	Point Name	Coordinates			Sigmas(mm)			Corr.(%)					
		Latitude	Longitude	height(m)	s(N)	s(E)	s(U)	N-E	N-U	E-U			
1	5002_stat1	49°57'37.46416"N	13°10'05.03264"E	636.1933	7.8	6.2	15.1	15	-15	-17			
2	Karlovy Vary	50°13'57.33507"N	12°50'30.75166"E	446.0800	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
3	PLZE	49°43'31.20820"N	13°21'02.45110"E	425.9260	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
4	Rakovnik	50°06'08.60185"N	13°43'45.25343"E	381.8900	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
SUBNET 'Session' POINTS: ADJUSTED COORDINATES in WGS84(BLH)													
#	Point Name	Coordinates			Sigmas (mm)			Corr.(%)					
		Latitude	Longitude	Height (m)	s(N)	s(E)	s(U)	N-E	N-U	E-U			
1	5002_stat1	49°57'37.46416"N	13°10'05.03264"E	636.1933	7.8	6.2	15.1	15	-15	-17			
2	Karlovy Vary	50°13'57.33507"N	12°50'30.75166"E	446.0800	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
3	PLZE	49°43'31.20820"N	13°21'02.45110"E	425.9260	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
4	Rakovnik	50°06'08.60185"N	13°43'45.25343"E	381.8900	0.0	0.0	0.0	0	0	0			
SUBNET 'Session' PROCESSED VECTORS (N-E-U)													
#	Stations from - to	Coordinates (m)			Length	Sigmas (mm)			Corr.(%)				
		N	E	U		s(N)	s(E)	s(U)	N-E	N-U	E-U		
1	Karlovy Vary-5002_stat1	-30227.2426	23407.7938		75.5305	38231.0962		11.3	8.9	21.5	13	-12	-17
2	Karlovy Vary-PLZE	-56299.3935	36688.5729		-374.1963	67199.7999		16.4	14.0	32.6	-10	-16	2
3	Karlovy Vary-Rakovnik	-14105.8282	63486.0991		-395.1502	65035.4927		15.1	12.9	32.8	-2	-16	-4
4	PLZE-5002_stat1	26164.5006	-13104.8511		143.1550	29263.2655		8.5	6.8	16.7	19	-21	-20
5	Rakovnik-5002_stat1	-15642.9523	-40270.0706		108.2267	43201.7621		12.5	10.2	24.3	11	-6	-11
6	Rakovnik-PLZE	-41872.0332	-27296.7835		-151.8512	49984.0436		13.3	11.6	28.6	-4	-20	-11
Mean weight matrix's estimations:					11.9	9.8	23.8	9	-15	-14			

## Přílohy C. Početní zpracování naměřených dat

V této příloze se nacházejí hlavní početní operace provedené v kapitole 3.1 a 4.1.1. Každý soubor s výpočty obsahuje protokol obsahující výpočty směrodatných odchylek, výběrových rozptylů, prostorových a rovinných vzdáleností, jež jsou provedeny v sešitě 1. V sešitě 2 se nalézají zápisky naměřených dat a v sešitě 3 jsou shrnuty důležité výsledky pro další zpracování.

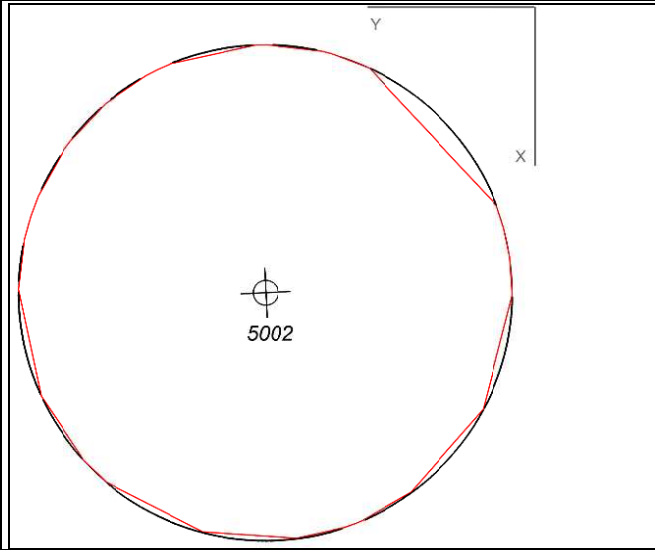
### C.1 Výpočetní protokol

BOD 5002							
Určený Teresticky ( $M_{xy}=0.06\text{ m}, M_v=0.12\text{ m}$ )							
	Y[m]	X[m]	H[m]				
	833703.79	1044008.67	589.53				
Static-GPS							
ETRS89	B[dd.mmsssssss]	L[dd.mmsssssss]	H[m]	$\sigma(B)$ [mm]	$\sigma(L)$ [mm]	$\sigma(H)$ [mm]	
	49.573746409	13.100503263	636.17725	6.1	4.55	12	
	B[°]	L[°]	H[m]				
	49.96040669	13.168064619	636.17725				
	X[m]	Y[m]	Z[m]		$\rho$ -pricny polomer kriv.[m]	meridianova konv.[°]	
	4003534.46978722	936666.599915004	4860444.14967823		6390687.42786006	8.802761359	
SJTSK	Y[m]	X[m]	H[m]	$\sigma(Y)$ [mm]	$\sigma(X)$ [mm]	$\sigma(H)$ [mm]	
	833703.7585	1044008.6915	589.549	3.56	6.72	12.00	
RTK-GPS							
SOUŘADNICE ETRS-89 (BLH) VE FORMÁTU DD.MMSSSSSS A VE STUPNÍCH							
5002rtk1	49.57374638	13.10050320	49.960406611	13.168064444			
5002rtk2	49.57374629	13.10050336	49.960406361	13.168064889			
5002rtk3	49.57374639	13.10050334	49.960406639	13.168064833			
5002rtk4	49.57374618	13.10050324	49.960406056	13.168064556			
5002rtk5	49.57374637	13.10050326	49.960406583	13.168064611			
5002rtk6	49.57374639	13.10050330	49.960406639	13.168064722			
5002rtk7	49.57374637	13.10050323	49.960406583	13.168064528			
5002rtk8	49.57374642	13.10050328	49.960406722	13.168064667			
5002rtk9	49.57374640	13.10050324	49.960406667	13.168064556			
5002rtk10	49.57374640	13.10050325	49.960406667	13.168064583			
5002rtkP	49.57374639	13.100503263	49.960406639	13.168064618			
SOUŘADNICE ETRS-89 (XYZ)				RELATIVNÍ CHYBY ETRS-89 (XYZ) + REL. PROSTOROVÁ VZDÁLENOST			
dS	X[m]	Y[m]	Z[m]	dX[m]	dY[m]	dZ[m]	dS[m]
5002rtk1	4003534.43896675	936666.579806818	4860444.09482308	-0.001044048	-0.013039337	-0.0095481390	0.16195101
5002rtk2	4003534.47373006	936666.620695422	4860444.10296294	0.033719256	0.027849267	-0.0014082810	0.043755607
5002rtk3	4003534.4133929	936666.602484523	4860444.07613972	-0.026617897	0.009638368	-0.0282315030	0.039980349
5002rtk4	4003534.46066963	936666.593073266	4860444.02750471	0.020658827	0.000227112	-0.0768665080	0.07959459
5002rtk5	4003534.47362407	936666.60019851	4860444.13570885	0.03361327	0.007352355	0.031337626	0.046539831
5002rtk6	4003534.44402381	936666.601462081	4860444.11135732	0.004013006	0.008615926	0.006986101	0.011795932
5002rtk7	4003534.41109345	936666.579427216	4860444.05761764	-0.028917353	-0.013418939	-0.0467535810	0.056587795
5002rtk8	4003534.47873766	936666.605489307	4860444.16708484	0.038726854	0.012643152	0.06271362	0.0747838
5002rtk9	4003534.43316974	936666.586639396	4860444.09956436	-0.006841057	-0.006206759	-0.0048068610	0.010412964
5002rtk10	4003534.42707802	936666.587261389	4860444.09267396	-0.012932778	-0.005584766	-0.0116972630	0.018310443
5002rtkP	4003534.4400108	936666.592846155	4860444.10437122				
			Stř. chyby	0.02508727	0.01069609	0.034221682	
			Rozptyl:	0.000629371	0.000114406	0.001171123	
			Průměr:			0.034325777	



Souřadnice ETRS89 (BLH)				RELATIVNÍ CHYBY ETRS-89 (BLH)				
	B[°]	L[°]	H[m]	dB[°]	dL[°]	dH [m]		
5002rtk1	49.960406611	13.168064444	636.113	0.0000000278	0.0000001736	0.009875		
5002rtk2	49.960406361	13.168064889	636.147	0.0000002778	-0.0000002708	-0.024125		
5002rtk3	49.960406639	13.168064833	636.086	0.0000000000	-0.00000021530	0.036875		
5002rtk4	49.960406056	13.168064556	636.077	0.0000005833	0.0000000625	0.045875		
5002rtk5	49.960406583	13.168064611	636.169	0.0000000556	0.0000000069	-0.046125		
5002rtk6	49.960406639	13.168064722	636.132	0.0000000000	-0.0000001042	-0.009125		
5002rtk7	49.960406583	13.168064528	636.067	0.0000000556	0.0000000903	0.055875		
5002rtk8	49.960406722	13.168064667	636.197	-0.0000000833	-0.0000000486	-0.074125		
5002rtk9	49.960406667	13.168064556	636.114	-0.00000002780	0.0000000625	0.008875		
5002rtk10	49.960406667	13.168064583	636.105	-0.00000002780	0.0000000347	0.017875		
5002rtkP	49.960406639	13.168064618	636.122875					
			Stř. chyby:	0.000000047	0.000000121	0.042565706		
			Rozptyl:	0	0	0.001811839		
			Průměr:					
SOUŘADNICE S-JTSK (YXH)				RELATIVNÍ CHYBY S-JTSK (YXH)				
	Y[m]	X[m]	H[m]	dY[m]	dX[m]	dH[m]	dS[m] (prostorova vzd.)	dS[m] (plošná vzd.)
5002rtk1	833703.772	1044008.698	589.484	-0.012625	-0.001125	0.009875	0.016067728	0.012675025
5002rtk2	833703.745	1044008.73	589.518	0.014375	-0.033125	-0.024125	0.043427202	0.036109642
5002rtk3	833703.744	1044008.699	589.457	0.015375	-0.002125	0.036875	0.040008398	0.015521155
5002rtk4	833703.774	1044008.76	589.448	-0.014625	-0.063125	0.045875	0.079392518	0.064797039
5002rtk5	833703.761	1044008.703	589.54	-0.001625	-0.006125	-0.046125	0.046558263	0.006336896
5002rtk6	833703.752	1044008.698	589.503	0.007375	-0.001125	-0.009125	0.011786512	0.007460312
5002rtk7	833703.767	1044008.702	589.438	-0.007625	-0.005125	0.055875	0.056625276	0.009187288
5002rtk8	833703.755	1044008.688	589.568	0.004375	0.008875	-0.074125	0.074782497	0.009894759
5002rtk9	833703.763	1044008.693	589.485	-0.003625	0.003875	0.008875	0.010340303	0.005306246
5002rtk10	833703.761	1044008.694	589.476	-0.001625	0.002875	0.017875	0.01817751	0.003302461
Průměr:	833703.759375	1044008.696875	589.493875					
			Str. Chyby:	0.00883075	0.00496955	0.042565706		
			Rozptyl:	0.000077982	0.000024696	0.001811839		
			Prumer:				0.034293311	0.008710518
TRANSFORMACE BODU 5002rtkP Z ETRS-89 DO S-JTSK PRO ZJIŠTĚNÍ VLIVU TRANSFORMACE :								
	Y[m]	X[m]	H[m]					
5002rtkP-trans	833703.759	1044008.697	589.494					

<b>Datum:</b> viz níže	<b>Projekt:</b> Nečtiny	<b>Měřil:</b> Luňák	<b>Aparatura:</b> Hiper+	<b>č. antény:</b>
<b>Bod:</b> 05800005002				
<b>Zákryt:</b> 3.67%		<b>Popis překážek:</b>		
oblast Zámku Nečtiny				



Metoda	č.bodu	datum	čas	PDOP/sat	anténa	výška	typ výšky	B	L	H(el.)	(GPS+GLNS)
statická	05800005002stat1	3.6.2006	12:03-14:05	2.60/12-1.44/13	Hiper+	0.169	vertikální	49.960406711	13.168064622	636.1933	
statická	05800005002stat2	3.6.2006	16:58-18:58	3.65/8-1.50/11	Hiper+	0.170	vertikální	49.960406669	13.168064617	636.1612	
RTK	05800005002rtk1	3.6.2006	12:04	0.98/11	Hiper+	0.169	vertikální	49.960406611	13.168064444	636.113	8+3
RTK	05800005002rtk2	3.6.2006	14:10	0.88/13	Hiper+	0.171	vertikální	49.960406361	13.168064889	636.147	8+5
RTK	05800005002rtk3	3.6.2006	16:56	0.90/10	Hiper+	0.170	vertikální	49.960406639	13.168064833	636.086	7+3
RTK	05800005002rtk4	3.6.2006	18:58	0.99/10	Hiper+	0.171	vertikální	49.960406056	13.168064556	636.077	7+3
RTK	05800005002rtk5	8.6.2006	17:05	1.06/10	Hiper+	2.000	vertikální	49.960406583	13.168064611	636.169	6+4
RTK	05800005002rtk6	8.6.2006	9:48	1.04/12	Hiper+	0.955	vertikální	49.960406639	13.168064722	636.132	8+4
RTK	05800005002rtk7	5.4.2007	11:22	0.88/13	Hiper+	0.940	vertikální	49.960406583	13.168064528	636.067	8+5
RTK	05800005002rtk8	5.4.2007	11:22	0.88/13	Hiper+	0.940	vertikální	49.960406722	13.168064667	636.197	8+5
RTK	05800005002rtk9	5.4.2007	12:40	0.89/13	Hiper+	0.940	vertikální	49.960406667	13.168064556	636.114	9+4
RTK	05800005002rtk10	5.4.2007	12:41	0.89/13	Hiper+	0.940	vertikální	49.960406667	13.168064583	636.105	9+4

C.2 Zápisník naměřených dat

### C.3 Výsledné veličiny ze zpracování

Bod 058000005002		$\sigma(B)$ ["]	$\sigma(L)$ ["]	$\sigma(H)$ [m]
ETRS89(BLH)	relativní střední chyba	0.000169031	0.000436708	0.042565706
		$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(Z)$ [m]
ETRS89(XYZ)	relativní střední chyba	0.02508727	0.01069609	0.034221682
		$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(H)$ [m]
S-JTSK(Bpv)	relativní střední chyba	0.00883075	0.00496955	0.042565706

	Prost. vzdálenost [m]	Rovinná vzdálenost [m]
ETRS89	0.034325777	----
S-JTSK	0.034293311	0.008710518

## Příloha D. Výpočetní protokol zpracování zakrytí obzoru

	zemepisna delka (grad)	zemepisna sirka (grad)	zemepisna delka V °		zenit		zemepisna sirka U °
1	1.18	53.35	1.062	0.018535397	48.015	0.83801984	41.985
2	34.45	56.56	31.005	0.541139335	50.904	0.888442402	39.096
3	61.12	76.33	55.008	0.960070715	68.697	1.198988836	21.303
4	67.33	60.38	60.597	1.057617167	54.342	0.948446822	35.658
5	94.55	55.8	85.095	1.485187927	50.22	0.87650435	39.78
6	125.41	61.17	112.869	1.969935673	55.053	0.960856113	34.947
7	141.12	50.37	127.008	2.216707776	45.333	0.79121011	44.667
8	168.45	56.41	151.605	2.646006412	50.769	0.886086208	39.231
9	366.19	40.52	329.571	5.752099069	36.468	0.636486672	53.532
10	401.18	53.35	361.062	6.301720704	48.015	0.83801984	41.985

$\Delta V$		azimut 1-2	azimut 1-2 ve stupních	azimut 2-1	azimut 2-1 ve stupních
29.943	0.522603938	1.522059782	87.2076017	1.275231247	73.06536834
24.003	0.41893138	0.978946084	123.910521	0.76331651	43.73481445
5.589	0.097546452	0.307320253	17.60815348	-0.35423221	159.7039894
24.498	0.42757076	1.232231476	70.60166297	-1.496497297	94.25702085
27.774	0.484747746	1.508490192	93.56987856	1.210372942	69.34926123
14.139	0.246772103	0.764422646	43.79819139	-0.923450625	127.0901766
24.597	0.429298636	1.431142126	98.0015963	1.141395235	65.39712974
177.966	3.106092657	0.021122255	1.210216045	0.02752847	1.577265132
31.491	0.549621635	-1.28965312	106.1083192	0.876065893	50.19487823

exces = obsah trojheltnika	exces v radianech	obsah polednikoveho pasu	zakryta cast polednikoveho pasu [%]
10.21597004	0.178302313	1.045207876	17.05902888
11.64833545	0.203301806	0.837862761	24.26433249
2.901142864	0.050634495	0.195092904	25.95404244
9.356683822	0.16330494	0.85514152	19.09683203
10.69313978	0.186630497	0.969495493	19.25026965
5.027367988	0.087744124	0.493544206	17.77837184
7.99572604	0.139551745	0.858597272	16.25345782
0.753481177	0.013150727	6.212185313	0.211692452
7.794197395	0.136034407	1.099243269	12.37527769
	1.158655055	12.56637061	81.55943207

## Příloha E. Protokol z transformace v programu TranGPS

Protokol o provedené transformaci souřadnic z WGS84 do S-JTSK

-----

Datum výpočtu: 24.3.2007 14:35:45  
Použitý soubor GPS měření:  
C:\Tomas\skola\bakalarka\NamerenaData2006\sw\transtopsurrv\komplet.rep  
Transformační vztah je určen vyrovnáním na identické body.  
Použitý soubor identických bodů:  
C:\Tomas\skola\bakalarka\NamerenaData2006\sw\transtopsurrv\NECTINYKLIC.DAT  
Geoid=Ano  
Jung=Ano  
2D+1D=Ne

Údaje o vyrovnání:

-----

Použitý model: Prostorová podobnostní transformace  
Míra ztotožnění: 0.0101 [m] ... údaj odpovídá odhadu std. odchylky  
Počet nadbytečných měření: 5

Parametry prostorové transformace:

-----

Redukce ve výchozí soustavě: 3999545.2075 945894.0540 4861776.3441  
Redukce v cílové soustavě: 3998918.6918 945814.1396 4861269.4784  
Transformační posuny: -0.0088 -0.0051 0.0002  
Prvky matice rotací:  
1. řádek (pro X): 0.99999558 0.00003432 0.00002109  
2. řádek (pro Y): -0.00003432 0.99999558 0.00001143  
3. řádek (pro Z): -0.00002109 -0.00001143 0.99999558  
Měřítkový koeficient: 0.99999558  
Prvky rotace [radian]: 0.00003432 0.00002109 0.00001143

Identické body

-----

Bod: P013  
WGS (X, Y, Z): 3999545.2075 945894.0540 4861776.3441  
Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): 4.2548E+0228 -0.0088 -0.0051  
Fi,Lambda,H: 49.584906500 13.182156990 517.5800  
JTSK (Y, X, Z): 823588.3600 1043326.3100 471.1300  
Odchylky Jung (Y, X, Z): -0.0017 0.0080 0.0061

Bod: P026  
WGS (X, Y, Z): 4007063.1187 938447.3446 4857203.8413  
Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): 0.0002 0.0007 0.0006  
Fi,Lambda,H: 49.545481820 13.105164680 628.7700  
JTSK (Y, X, Z): 833553.1700 1049116.5600 582.1000  
Odchylky Jung (Y, X, Z): -0.0007 -0.0074 0.0077

Bod: P024  
WGS (X, Y, Z): 4003913.3830 943377.1538 4858854.2558  
Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): -0.0108 0.0130 -0.0016  
Fi,Lambda,H: 49.561721990 13.152834280 643.4900  
JTSK (Y, X, Z): 827711.4100 1047440.6200 596.9200  
Odchylky Jung (Y, X, Z): -0.0055 -0.0056 -0.0115

Bod: P008  
WGS (X, Y, Z): 4003494.9045 933768.8880 4860977.1241  
Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): 0.0046 -0.0049 0.0060  
Fi,Lambda,H: 49.580584690 13.074391650 595.4500  
JTSK (Y, X, Z): 836348.5200 1042711.3800 548.7900

Odchylky Jung (Y, X, Z):           0.0080   0.0054   -0.0022  
 Transformované body

-----

Cislo bodu	Fi/Y/DY	Lambda/X/DX	H/Z/DZ	Geoid
603stat1	49.572649774	13.092266640	595.344	
	834590.055	1044214.309	548.698	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603stat2	49.572649769	13.092266624	595.341	
	834590.059	1044214.310	548.695	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk1	49.572649680	13.092266700	595.321	
	834590.048	1044214.339	548.675	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk2	49.572649770	13.092266690	595.316	
	834590.046	1044214.312	548.670	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk3	49.572649560	13.092266750	595.321	
	834590.044	1044214.378	548.675	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk4	49.572649560	13.092266750	595.316	
	834590.044	1044214.378	548.670	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk5	49.572649660	13.092266730	595.331	
	834590.043	1044214.346	548.685	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtk6	49.572649660	13.092266730	595.254	
	834590.043	1044214.346	548.608	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
603rtkP	49.572649648	13.092266725	595.310	
	834590.044	1044214.350	548.664	
	0.006	0.002	-0.001	44.917
604stat	49.572938930	13.092696540	599.471	
	834491.705	1044139.144	552.827	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604stat2	49.572938934	13.092696520	599.473	
	834491.709	1044139.142	552.830	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604rtk1	49.572938870	13.092696600	599.422	
	834491.696	1044139.164	552.779	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604rtk2	49.572938890	13.092696500	599.426	
	834491.715	1044139.155	552.783	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604rtk3	49.572938880	13.092696590	599.414	
	834491.698	1044139.161	552.771	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604rtk4	49.572938950	13.092696680	599.376	
	834491.677	1044139.142	552.733	
	0.006	0.002	-0.001	44.914
604rtk5	49.572938880	13.092696560	599.487	
	834491.704	1044139.160	552.844	
	0.006	0.002	-0.001	44.914

...

## Přílohy F. Tabulky vyhodnocených přesností

### F.1 Směrodatné odchylky ve všech souřadnicových složkách pro míru pravděpodobnosti 68.3 %, 95 %, 99%

#### 1. Směrodatné odchylky pro pravoúhlé (XYZ) souřadnice v systému ETRS-89

Bod	68.30%			95%			99%			Zákryt
	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(Z)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(Z)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(Z)$ [m]	
519	0.035552	0.007841	0.037214	0.071104	0.015682	0.074429	0.106656	0.023522	0.111643	14.88%
603	0.021691	0.014013	0.022923	0.043382	0.028026	0.045847	0.065073	0.042038	0.06877	12.73%
604	0.03183	0.012425	0.038061	0.06366	0.024851	0.076123	0.095489	0.037276	0.114184	22.95%
606	0.059678	0.027663	0.05559	0.119355	0.055326	0.111181	0.179033	0.082989	0.166771	81.56%
608	0.032969	0.01184	0.020639	0.065938	0.02368	0.041277	0.098907	0.03552	0.061916	44.98%
609	0.037562	0.027637	0.101379	0.075124	0.055274	0.202758	0.112686	0.082911	0.304136	66.98%
610	0.044305	0.015789	0.067436	0.08861	0.031578	0.134873	0.132915	0.047367	0.202309	39.75%
625	0.023556	0.01018	0.027907	0.047113	0.020359	0.055815	0.070669	0.030539	0.083722	31.73%
5002	0.025087	0.010696	0.034222	0.050175	0.021392	0.068443	0.075262	0.032088	0.102665	3.67%
<b>Průměr:</b>	<b>0.034692</b>	<b>0.015343</b>	<b>0.045041</b>	<b>0.069384</b>	<b>0.030685</b>	<b>0.090083</b>	<b>0.104077</b>	<b>0.046028</b>	<b>0.135124</b>	

#### 2. Směrodatné odchylky pro eliptické (BLH) souřadnice v systému ETRS-89

Bod	68.30%			95%			99%			Zákryt
	$\sigma(B)$ ["]	$\sigma(L)$ ["]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma(B)$ ["]	$\sigma(L)$ ["]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma(B)$ ["]	$\sigma(L)$ ["]	$\sigma(H)$ [m]	
519	0.000359	0.000445	0.093493	0.000719	0.00089	0.186987	0.001078	0.001335	0.28048	14.88%
603	0.000711	0.000576	0.024038	0.001422	0.001151	0.048077	0.002133	0.001727	0.072115	12.73%
604	0.000427	0.000841	0.046486	0.000854	0.001683	0.092973	0.00128	0.002524	0.139459	22.95%
606	0.000675	0.001464	0.078292	0.001351	0.002928	0.156583	0.002026	0.004392	0.234875	81.56%
608	0.000657	0.000474	0.034029	0.001315	0.000949	0.068059	0.001972	0.001423	0.102088	44.98%
609	0.001751	0.001235	0.094442	0.003502	0.002471	0.188884	0.005253	0.003706	0.283325	66.98%
610	0.001101	0.000587	0.073932	0.002201	0.001175	0.147865	0.003302	0.001762	0.221797	39.75%
625	0.000163	0.000311	0.03706	0.000326	0.000623	0.07412	0.00049	0.000934	0.11118	31.73%
5002	0.000169	0.000437	0.042566	0.000338	0.000873	0.085131	0.000507	0.00131	0.127697	3.67%
<b>Průměr:</b>	<b>0.000668</b>	<b>0.000708</b>	<b>0.05826</b>	<b>0.001336</b>	<b>0.001416</b>	<b>0.11652</b>	<b>0.002005</b>	<b>0.002124</b>	<b>0.17478</b>	

#### 3. Směrodatné odchylky pro pravoúhlé (YX) souřadnice v S-JTSK a pro výšku (H) v Bpv.

Bod	68.30%			95%			99%			Zákryt
	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma(Y)$ [m]	$\sigma(X)$ [m]	$\sigma(H)$ [m]	
519	0.011666	0.010395	0.050084	0.023332	0.02079	0.100168	0.034997	0.031185	0.150252	14.88%
603	0.009573	0.022965	0.024038	0.019146	0.045931	0.048077	0.028719	0.068896	0.072115	12.73%
604	0.016263	0.013752	0.046486	0.032527	0.027505	0.092973	0.04879	0.041257	0.139459	22.95%
606	0.026767	0.019222	0.078292	0.053534	0.038444	0.156583	0.080301	0.057665	0.234875	81.56%
608	0.009568	0.019851	0.033929	0.019135	0.039702	0.067858	0.028703	0.059553	0.101787	44.98%
609	0.026601	0.052726	0.094441	0.053202	0.105451	0.188881	0.079803	0.158177	0.283322	66.98%
610	0.008822	0.034945	0.073932	0.017643	0.069889	0.147865	0.026465	0.104834	0.221797	39.75%
625	0.005797	0.005185	0.03706	0.011593	0.010371	0.07412	0.01739	0.015556	0.11118	31.73%
5002	0.008831	0.00497	0.042566	0.017661	0.009939	0.085131	0.026492	0.014909	0.127697	3.67%
<b>Průměr:</b>	<b>0.013765</b>	<b>0.020446</b>	<b>0.053425</b>	<b>0.02753</b>	<b>0.040891</b>	<b>0.106851</b>	<b>0.041296</b>	<b>0.061337</b>	<b>0.160276</b>	

## F.2 Směrodatné odchytky v poloze a střední souřadnicové chyby pro míru pravděpodobnosti 68.3 %, 95 %, 99%

Bod	68.30%			95%			99%		
	$\sigma_p$ [m]	$\sigma_{xy}$ [m]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma_p$ [m]	$\sigma_{xy}$ [m]	$\sigma(H)$ [m]	$\sigma_p$ [m]	$\sigma_{xy}$ [m]	$\sigma(H)$ [m]
519	0.015625	0.011049	0.050084	0.03125	0.022097	0.100168	0.046875	0.033146	0.150252
603	0.024881	0.017593	0.024038	0.049762	0.035187	0.048077	0.074642	0.05278	0.072115
604	0.021298	0.01506	0.046486	0.042597	0.030121	0.092973	0.063895	0.045181	0.139459
606	0.032954	0.023302	0.078292	0.065908	0.046604	0.156583	0.098861	0.069906	0.234875
608	0.022036	0.015582	0.033929	0.044073	0.031164	0.067858	0.066109	0.046746	0.101787
609	0.059056	0.041759	0.094441	0.118112	0.083518	0.188881	0.177168	0.125277	0.283322
610	0.036041	0.025485	0.073932	0.072082	0.050969	0.147865	0.108123	0.076454	0.221797
625	0.007777	0.005499	0.03706	0.015555	0.010999	0.07412	0.023332	0.016498	0.11118
5002	0.010133	0.007165	0.042566	0.020266	0.01433	0.085131	0.030399	0.021495	0.127697
<b>Průměr</b>	<b>0.025534</b>	<b>0.018055</b>	<b>0.053425</b>	<b>0.051067</b>	<b>0.03611</b>	<b>0.106851</b>	<b>0.076601</b>	<b>0.054165</b>	<b>0.160276</b>

## F.3 Extrémní odchytky v jednotlivých měřeních

Bod	extrémní odchytky								
	ETRS89 (XYZ)			ETRS89 (BLH)			SJTSK a Bpv		
	dX [m]	dY [m]	dH [m]	dB ["]	dL ["]	dH [m]	dY [m]	dX [m]	dH [m]
519	0.069280	-0.010439	0.0711	-0.000539	-0.000682	-0.1740	-0.01709	0.01864	-0.09873
603	-0.037162	-0.019747	-0.0435	-0.001100	0.000963	0.0569	-0.01625	0.03337	0.05687
604	-0.056372	0.015995	0.0630	-0.000775	-0.001425	-0.0751	0.02975	0.02538	-0.07512
606	0.116317	-0.044217	0.1015	-0.000809	0.001943	-0.1487	-0.05214	-0.02714	-0.14871
608	0.060567	-0.018704	0.0385	-0.001466	0.001126	-0.0720	-0.02592	0.04467	-0.06950
609	-0.046111	-0.039801	-0.1528	-0.002884	0.001548	0.1450	-0.03989	0.09000	0.14456
610	0.070794	0.023483	0.1206	0.001760	-0.001350	-0.1357	0.01840	-0.05770	-0.13570
625	-0.048715	0.016957	-0.0566	0.000242	-0.000619	0.0759	0.01140	-0.00800	0.07590
5002	0.038727	-0.013419	0.0627	-0.000300	-0.000775	-0.0741	0.01537	0.00887	-0.07412



## Příloha G. Obsah přiloženého CD

BP_Testovani_presnosti_mereni_GPS_metodou_RTK.pdf	Kompletní text bakalářské práce
elipsy_chyb	Zde jsou graficky zpracované elipsy chyb pro všechna měření.
literatura	Zde se nachází použitá literatura.
obrazky	Zde jsou uloženy všechny použité obrázky v bakalářské práci
panorama	Zde jsou uloženy panoramatické fotky na měřených bodech.
protokoly_Pinnacle	Zde jsou uloženy všechny výpočetní protokoly z programu Pinnacle
statistické_vyhodnoceni	Zde jsou uložena všechna statistická vyhodnocení provedená v bakalářské práci.
transformace	Zde jsou uloženy protokoly o transformacích z S-JTSK do ETRS-89, souřadnice identických bodů, použité výpočetní protokoly z programu Pinnacle a seznamy transformovaných souřadnic.
vypocetni_protokoly	Zde jsou uloženy všechny výpočty provedené při zpracování souřadnic. Soubory obsahují výpočetní proces (Sešit 1), zápisníky změřených dat (Sešit 2) a sepsání důležitých výsledků (Sešit 3).