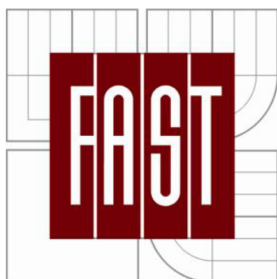


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF GEODESY

ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI BODŮ URČENÝCH METODOU RTK

THE EVALUATION OF RTK METHOD PRECISION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. ALEŠ HORÁK

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. MICHAL KURUC

SUPERVISOR

BRNO 2013

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit přesnost určování prostorové polohy vybraných služeb poskytovatelů Czepon a TopNET. Vybranými službami byly virtuální referenční stanice generovaná podle konceptu MAC u sítě Czepon a virtuální referenční stanice NVR3 u sítě TopNET. Testování proběhlo pomocí GNSS aparatury Leica System 1200 metodou RTK ve dvou částech. Byly měřeny dlouhé 24 hodinové observace na pilíři a krátké pětisekundové a dvacetisekundové observace na pěti vybraných bodech v lokalitě města Brna. Výsledkem je porovnání přesnosti polohové a výškové složky určované prostorové polohy.

Abstract

The aim of this diploma thesis was to evaluate a precision of spatial position of chosen services from Czepon and TopNET providers. The chosen services were virtual reference station generated by MAC concept from Czepon provider and virtual reference station NVR3 from TopNET provider. Testing measurement was measured by RTK method with GNSS instrument from Leica System 1200. There were measured long-standing observations which lasts 24 hours and short observations which lasts five and twenty seconds. The short observations were measured at five points in area of Brno. Result of the thesis is comparisons of precisions in position and height.

Klíčová slova

RTK, GNSS, VRS, Czepon, TopNET

Key words

RTK, GNSS, VRS, Czepon, TopNET

Bibliografická citace VŠKP

HORÁK, Aleš. *Zhodnocení přesnosti bodů určených metodou RTK*. Brno, 2013. 57 s., 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....

podpis autora

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Kurucovi za asistenci při měření, užitečné rady a připomínky k vyhotovení této práce. Dále bych chtěl poděkovat společností GEODIS BRNO, spol. s r. o. a Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu za poskytnuté služby.

V Brně, dne 24. 5. 2013

.....

Obsah

1. ÚVOD	8
2. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM, PERMANENTNÍ STANICE ČESKÉ REPUBLIKY	9
2.1 Struktura systému GNSS	9
2.1.1 Kosmický segment	9
2.1.2 Řídící a kontrolní segment.....	9
2.1.3 Uživatelský segment.....	10
2.2 NAVSTAR GPS	10
2.3 GLONASS.....	11
2.4 Permanentní referenční stanice GNSS České republiky	12
2.4.1 Czepos	12
2.4.2 TopNET	16
3. METODY URČOVÁNÍ POLOHY, VYJÁDŘENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ	19
3.1 Rozdělení podle použitých veličin	19
3.2 Rozdělení podle pohybu přijímače v průběhu měření	20
3.3 Rozdělení podle způsobu určení polohy.....	21
3.4 Vyjádření přesnosti měření.....	24
4. VLASTNÍ MĚŘENÍ	26
4.1 Lokalita.....	26
4.2 Přístrojové vybavení	27
4.2.1 Části a parametry přístroje.....	27
4.2.2 Přesnost přístroje	28
4.3 Měření.....	28
5. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ.....	33
5.1 Zpracování měření na pilíři	33
5.2 Zpracování měření krátkých observací.....	35

6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	36
6.1 Měření na pilíři	36
6.2 Krátké observace	39
6.2.1 Polohová složka	40
6.2.2 Výšková složka.....	46
7. ZÁVĚR	50
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	52
9. ZDROJE OBRÁZKŮ	53
10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	54
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	56
12. SEZNAM PŘÍLOH	57

1. ÚVOD

Předmětem této diplomové práce bylo zhodnotit přesnosti polohy vybraných služeb dvou různých poskytovatelů v lokalitě města Brna. Vybranými službami byly virtuální referenční stanice generovaná podle konceptu MAC u sítě Czepos a virtuální referenční stanice NVR3 u sítě TopNET.

Úkolem práce tedy bylo zjištění prostorových souřadnic pěti bodů měřených metodou RTK pomocí aparatury GNSS a porovnání jejich přesností v poloze a výšce při opakovaných pětisekundových a dvacetisekundových observacích. V rámci testování bylo také provedeno měření po dobu 24 hodin na pilíři na střeše FAST VUT v Brně, budova B. U tohoto měření bylo zkoumáno možné zlepšení výsledků při použití pětisekundových a dvacetisekundových průměrů a případné zlepšení výsledků po odfiltrování odlehlých měření.

Diplomová práce se skládá ze dvou částí a to teoretické a praktické. Teoretická část popisuje základní informace o GNSS, poskytovatelích referenčních stanic, jejich nabízených služeb, metodách měření a vyjádření přesnosti měření. Praktická část popisuje způsob testovacího měření a jeho následné zpracování, dosažení výsledků a jejich porovnání.

2. GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM, PERMANENTNÍ STANICE ČESKÉ REPUBLIKY

Globální navigační satelitní systém, uváděn zkratkou GNSS (z anglického Global Navigation Satellite System), umožňuje za pomoci družic autonomní určení prostorové polohy. Má celosvětové pokrytí, v současné době ho tvoří zejména systémy NAVSTAR GPS (USA) a GLONASS (Rusko). Dalšími globálními systémy, které se časem uvedou do provozu, jsou Galileo (EU) a Compass (Čína) a podpůrné systémy SBAS, GBAS a jiné.

Výhodou využití této metody oproti ostatním geodetickým metodám je, že je velmi efektivní, je nezávislá na vzájemné viditelnosti bodů, získáme ihned informaci o polohové přesnosti bodu, možnost zjištění polohy bez ohledu na denní a noční době a jiné. Nevýhodami je potřeba přímé viditelnosti na nebe a mít v dosahu nejméně 4 družice, což může být omezeno nebo znemožněno v úzkých, zastíněných a zakrytých prostorech. [1], [2]

2.1 Struktura systému GNSS

2.1.1 Kosmický segment

Kosmický segment se skládá z družic a jejich vybavení. Jsou to především velmi přesné atomové hodiny, antény pro vysílání rádiových kódů, antény pro vzájemnou komunikaci družic, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, solární panely a baterie. Družice obíhají po oběžných drahách v různé výšce pro každý systém. Počet oběžných drah, jejich sklon k rovníku, počet družic a jejich doba oběhu jsou pro každý systém opět různé. [1], [3], [4]

2.1.2 Řídící a kontrolní segment

Úkolem tohoto segmentu je monitorování kosmického segmentu, zasílání povelů družicím, provádění jejich manévrů a udržování atomových hodin. Prostřednictvím zpráv (GPS NANU-GPS, NAGU-GLONASS) komunikuje také s uživateli, zveřejňuje plánované odstávky družic, stažení a uvedení do provozu a také podává informace o nezdravé družici. Výsledky monitoringu jsou poskytovány v navigační zprávě každé družice.

Skládá se z hlavní řídicí stanice, povelových stanic a monitorujících stanic. Hlavní řídicí stanice vykonává základní funkce řídicího segmentu, umožňuje ovládat a kontrolovat

konstelaci družic, generuje a nahrává navigační zprávy a zajišťuje zdraví a přesnost konstelace družic. Monitorující stanice sledují družice na svých drahách a posílají jejich observace zpět do hlavní řídicí stanice. Dále sbírají atmosférická data, rozsáhlá měření a navigační signály. Povelové stanice slouží pro komunikaci s družicemi pro řídicí a kontrolní účely. [1], [3], [4], [5]

2.1.3 Uživatelský segment

Jsou jím všichni uživatelé, kteří pomocí přijímače přijímají signály z viditelných družic. Uživatelé se dělí do dvou skupin a to na *autorizované uživatele*, čímž jsou především armády příslušných států a mají zaručenou vyšší přesnost a *ostatní uživatelé*, což je především civilní sektor (využití v dopravě, geologii, geodézii, archeologii, turistice a jiné). [1], [3], [4]

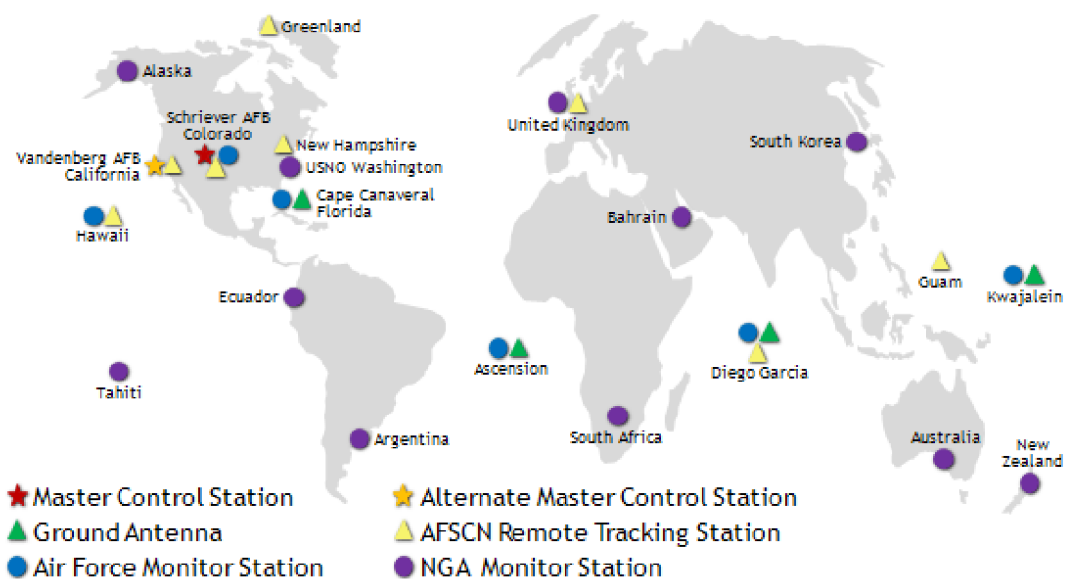
2.2 NAVSTAR GPS

Je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný ministerstvem obrany USA. Kosmický segment obsahuje 31 operačních družic, z toho zajišťují dostupnost nejméně 27 satelitů (ke květnu 2013). Družice obíhají na šesti orbitálních drahách, které jsou vůči sobě pootočený o 60° a její sklon vůči rovníku je 55°. To zajišťuje, aby bylo každé místo pokryto minimálně čtyřmi satelity v jednom čase. Výška oběžné dráhy činí 20200 km a doba jednoho oběhu družice trvá 1 hod 58 min.

Družice tohoto systému byly vyvíjeny a vypouštěny na oběžnou dráhu v několika generacích. Mezi satelity současné generace patří družice bloku *GPS Block IIA* (1990-1997), která zahrnovala 19 satelitů, má v současné době (listopad 2012) v konstelaci devět družic včetně dvou, které jsou v provozu více jak 20let. Písmeno „A“ znamená jako pokročilý (kódy C/A a P(Y)). Další generací je *GPS Block IIR* (1997-2004), která obsahovala sedm satelitů, v současné době (listopad 2012) je v konstelaci 12 satelitů. Písmeno „R“ znamená doplnění, vylepšením zde bylo monitorování hodin na palubě družice. *GPS Block IIR(M)* (2005-2009) obsahovala osm satelitů, z nichž je sedm stále funkčních (listopad 2012). Písmeno „M“ znamená modernizovaný a zlepšením této generace oproti předešlým etapám bylo přidáním nového civilního (L2C) a dvou vojenských signálů. *GPS Block IIF*, kde „F“ znamená pokračování, má ve srovnání oproti předešlým blokům delší očekávanou životnost a extrémně přesné atomové hodiny. V této etapě přibyl ještě třetí civilní signál L5. Celkem bude obsahovat 12 družic (první vypuštěna

v květnu 2010) a zatím má tři satelity na orbitě, z nichž poslední byla vypuštěna 4. října 2012. Budoucí generace *GPS Block III*, která je stále ve vývoji, bude poskytovat silnější signály pro jejich zvýšenou spolehlivost, přesnost a integritu a bude zajišťovat delší životnost družic. Novinkou bude přidání čtvrtého signálu pro civilní účely (L1C).

Řídicí segment tvoří hlavní řídicí stanice, náhradní hlavní řídicí stanice, 12 řídicích a povelových stanic a 16 monitorujících stanic. [6]

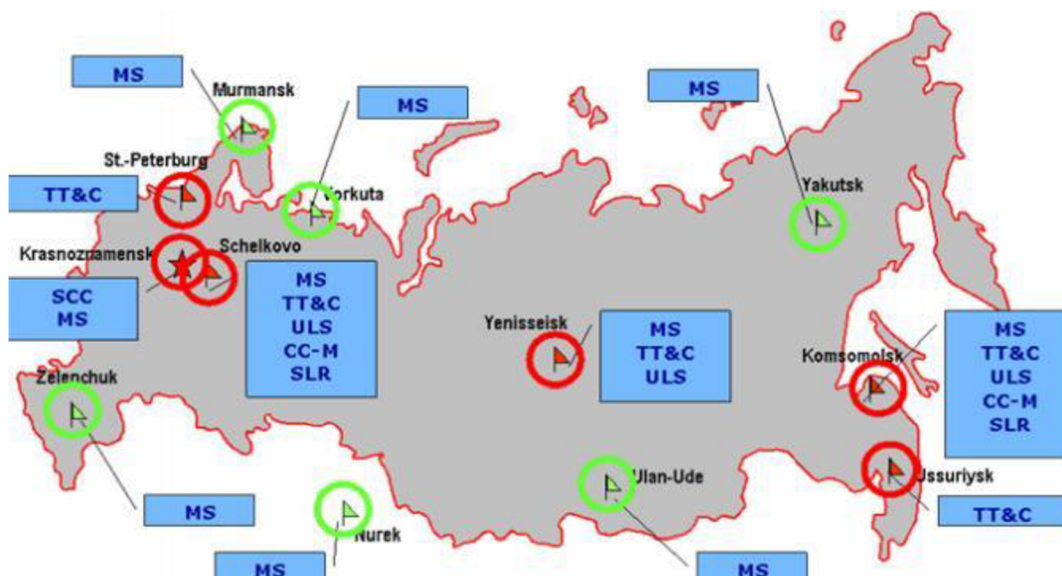


Obr. 1- Řídicí a kontrolní segment GPS [16]

2.3 GLONASS

Je také globálním družicovým polohovým systémem provozovaný ruskou armádou. Vývoj začal v 70. letech, v konstelaci je 29 družic, z toho 24 je operačních. Družice jsou na třech orbitálních drahách, jejichž sklon je 65° k rovníku a dráhy jsou navzájem posunuty o 120°. Doba oběhu je 11 hod 15 min a družice obíhají ve výšce 19100 km (družice Uran-M a Uran-K). Výhodou oproti GPS je neidentické opakování dráhy družic.

Řídicí a kontrolní segment se nachází celý na území Ruské federace, což má vliv na časové a prostorové omezení. Skládá se z řídicího střediska (viz SSC na obr. 2), 3 rozšířených stanic (viz. ULS na obr. 2), 5 povelových stanic (viz TT&C na obr. 2) a 10 monitorovacích stanic (viz MS na obr. 2). [7], [8]



Obr. 2- Řídící a kontrolní segment GLONASS [17]

2.4 Permanentní referenční stanice GNSS České republiky

Nejvýznamnější sítě referenční stanice na území ČR:

- CZEPOS
- TopNET
- Trimble VRS Now Czech

Dále se budu zabývat sítěmi CZEPOS a TopNET, jejichž služby jsem využil pro své měření.

2.4.1 Czeapos

Poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení polohy na území ČR. Mohou ho využívat všichni uživatelé, lze ho použít pro přesnou lokalizaci objektů v terénu, navigaci v dopravě, záchranných systémech, geodynamice, GPS meteorologii a jiné. Vzniká postupně od roku 2004, provozuje jej Zeměměřický úřad a v současnosti obsahuje 28 stanic a do síťového řešení jsou zapojeny i příhraniční stanice okolních států. Od roku 2011 spuštěn upgrade k současnému příjmu signálů z družicových systémů GPS a GLONASS (korekce VRS3-MAX-GG). K 10. 5. 2012 až na výjimku stanice Polom, umožňují všechny stanice příjem signálů jak GPS, tak GLONASS. Do síťového řešení je zapojeno celkem 49 stanic. Souřadnice referenčních stanic jsou dány v evropském terestrickém referenčním systému ETRS89 v realizaci ETRF2000.



Obr. 3- Rozmístění referenčních stanic CZEPOS [18]

CZEPOS využívá přijímače typu Leica GRX 1200+GNSS, které umožňují příjem signálů z družicových systémů GPS NAVSTAR a GLONASS a jsou připraveny pro příjem signálů ze systému GALILEO. Přijímače měří nepřetržitě 24 hodin denně s intervalem záznamu 1s, data pro postprocessing jsou aktualizována po hodině a pro služby v reálném čase jsou přenášena formou datových paketů ihned po pořízení. Antény jsou Leica AR 25, které taktéž umožňují příjem signálů GPS, GLONASS a GALILEO. Jsou umístěny tak, aby maximální zakrytí horizontu bylo 5° a jsou vybaveny konstrukcí choke ring, což zamezuje vícecestné šíření signálu a zaručuje stabilitu fázového centra antény. Dále jsou doplněny o ochranný kryt. Tyto opatření se zavedly, aby bylo docíleno kvalitního příjmu signálu.

Služby jsou poskytovány uživatelům za poplatek v závislosti na požadované službě a požadované přesnosti souřadnic. Korekční data poskytuje CZEPOS v reálném čase přes internetové připojení a rádiové vysílání. [9]

Služby:

- DGPS (DGPS)
- RTK (RTK, RTK3-NS, RTK3-GG)

- VRS (RTK-PRS, RTK-FKP, VRS3-MAX resp. VRS3-iMAX, VRS3-MAX-GG resp. VRS3-iMAX-GG)
- postprocessing (RINEX)

DGPS

Diferenční GPS, kde postačí jednoduchý přijímač GPS umožňující pouze kódová měření a je schopný zpracovávat korekce DGPS v reálném čase. Formát korekcí je RTCM 2.1 a služba se nazývá *DGPS*. Přesnost je do 10 cm. [9]

RTK

Real time kinematic, neboli kinematická metoda v reálném čase, kde je zapotřebí dvou frekvenční GPS aparatura schopná zpracovávat a přijímat korekce RTK za pomoci mobilního internetového připojení GPRS. Přesnost služby je centimetrová, korekční data z jednotlivých stanic.

Nabízenými službami jsou *RTK*, kde jsou korekce posílány z předem zvolené stanice, s rostoucí vzdáleností ovšem klesá přesnost určení pozice. Formát korekcí je RTCM 2.3. Další službou je *RTK3-NS* (RTK z nejbližší stanice), kde aparatura zašle informaci (NMEA zprávu) do řídicího centra, které jí pošle korekce z nejbližší stanice od uživatele. Formát korekcí je RTCM 3.1. Poslední službou *RTK3-GG* (RTK s korekcemi GPS a GLONASS), kde je formát korekcí RTCM 3.1 a s rostoucí vzdáleností se snižuje jejich přesnost.

Rozdíl mezi staršími formáty RTCM 2 a novějšími RTCM 3 mimo jiné spočívá v tom, že novější formát zabírá menší objem dat a proto je úspornější na datové přenosy, zvláště v rámci mobilního internetového připojení. [9]

VRS

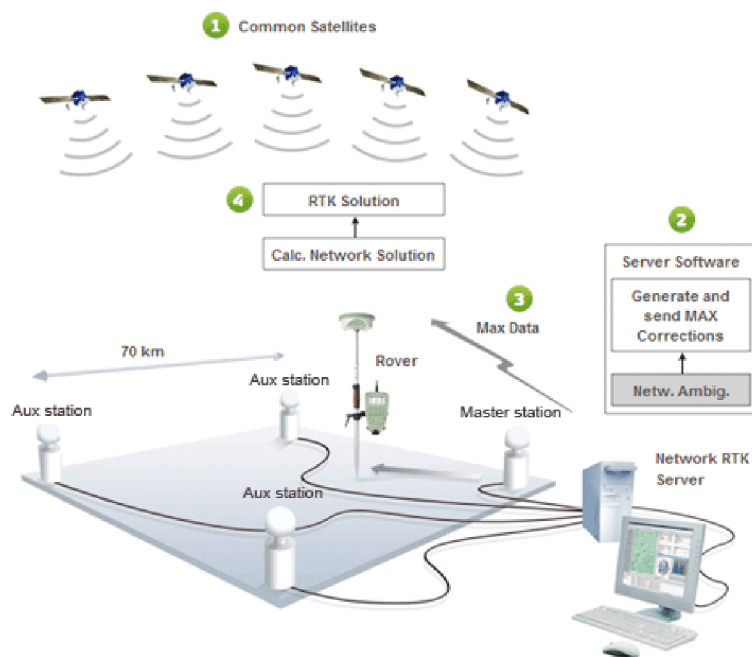
Virtuální referenční stanice, kde se k výpočtu využívá korekcí z více stanic, tzv. síťové řešení. Výpočty se vztahují k virtuální referenční stanici, kterou systém generuje do lokality blízko uživatele. Je potřeba dvou frekvenční GPS aparatura schopná přijímat korekce v reálném čase přes internetové mobilní připojení GPRS. Přesnost služby je centimetrová, korekční data z virtuální stanice.

Služby jsou *RTK-PRS* (RTK z pseudoreferenční stanice), kde aparatura zašle do řídicího centra informaci o své poloze (zprávu NMEA), na základě které obdrží korekce

z pseudoreferenční stanice vzdálené od uživatele 5 km. Korekční data jsou této pseudoreferenční stanice generována na základě síťového řešení ze všech stanic. Formát korekcí je RTCM 2.3. *RTK-FKP* (RTK s plošnými parametry), aparatura opět zašle do řídicího centra informaci o svojí poloze (zprávu NMEA), na základě které obdrží korekce ze zvolené referenční stanice doplněné o plošné parametry, které se generují na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS. Formát korekcí je RTCM 2.3. *VRS-MAX*, *VRS-iMAX* (virtuální stanice generovaná podle konceptu MAC). Získají se korekce virtuální referenční stanice z řídicího centra na základě zprávy NMEA vyslané z aparatury. Do výpočtu je zapojeno pouze 6 stanic v blízkosti uživatele, kde je jedna stanice zvolena jako hlavní (Master) a ostatní jako vedlejší (Auxiliary). Uživatel přijímá data z hlavní stanice opravené o vliv korekcí z vedlejších stanic. *VRS3-MAX-GG*, *VRS3-iMAX-GG* (virtuální referenční stanice generovaná podle konceptu MAX s korekcemi GPS a GLONASS). Výpočet probíhá stejně jako u *VRS-MAX*, *VRS-iMAX* s tím rozdílem, že dostávám korekce jak GPS, tak pro GLONASS. Formát korekcí je v tomto případě RTCM 3.1. [9]

Master-Auxiliary Concept

Základní myšlenkou koncepce MAC je poskytnutí roveru co nejvíce informací ze sítě, které může využít ve svých algoritmech pro určení polohy bodu. Nejprve tedy dojde k přenosu surových naměřených dat (NMEA zprávu) do výpočetního centra sítě (řídicí centrum). Tam se vyřeší síťové řešení ambiguit. Následuje optimální výběr skupiny stanic, které se použijí pro určení korekcí roveru. Jedna je zvolena jako hlavní (Master) a ostatní jako vedlejší (Auxiliary). Pošlou se korekce z řídicího centra do roveru pomocí komunikačního média (formát korekcí RTCM). V poloze roveru dojde k výpočtu chyb a jejich korekcí. Rover vyřeší své ambiguita a použije informace ze sítě pro určení své polohy. Služby sítě CZEPOS, které fungují na tomto principu, se označují zkratkou MAX. [10]



Obr. 4- Princip MAC [19]

Postprocessing

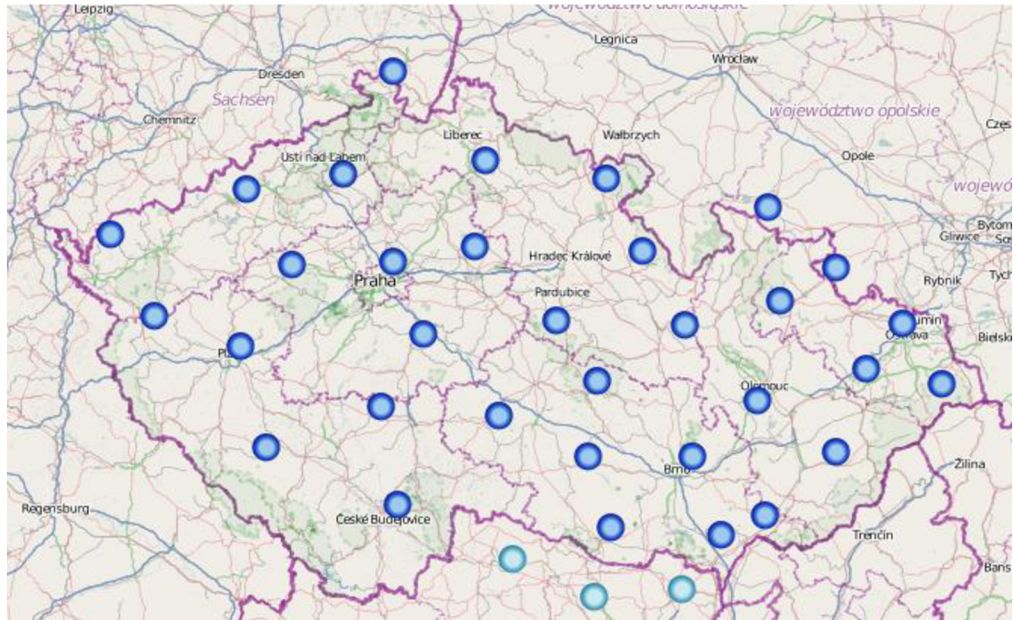
Jde o zpracování dat, tedy získání polohy až po skončení měření po stažení souborů dat ze stránek CZEPOS. Přesnost při této metodě je centimetrová až milimetrová.

Služby se nazývají *RINEX* (Receiver Independent Exchange) s korekcemi GPS + GLONASS (nebo jen s korekcemi GPS). Data lze stáhnout z konkrétní stanice ve formátu RINEX po měření. Výpočet polohy probíhá zpětně s využitím těchto korekcí a softwaru pro postprocessing. Další službou je *virtuální RINEX s korekcemi GPS + GLONASS* (případně pouze s korekcemi GPS), kde lze data stáhnout pro daný interval ve formátu RINEX z virtuální referenční stanice, kterou vygeneruje CZEPOS na základě síťového řešení. Výpočet polohy probíhá obdobně jako u předešlé služby. Formát korekcí u obou příkladů je RINEX 2.11. [9]

2.4.2 TopNET

Je to síť permanentních GNSS stanic na území ČR, kterou provozuje firma Geodis Brno, spol. s r.o. Síť poskytuje uživatelům data korekcí pro diferenciální určování polohy a je schopna přijímat signály ze systémů GPS a GLONASS. V současnosti má 32 stanic rovnoměrně rozmístěných tak, aby se daly přijímat po celé republice RTK a VRS korekce. Souřadnice všech stanic byly určeny roku 2010 Výzkumným ústavem geodetickým,

topografickým a kartografickým, který je partnerem tohoto projektu a jsou uvedeny v systému ETRS 89(2000).



Obr. 5- Rozmístění referenčních stanic TopNET [20]

Správu sítě a generování stanic zajišťuje software firmy Topcon. Stanice jsou vybaveny přijímači Topcon GB-1000 a Net G3A s anténami Choke Ring TPS CR3GGD CONE a TPSCR.G3 TPSH s ochranným krytem. Služby poskytované firmou TopNET jsou taktéž zpoplatněny. [11]

Služby:

- Postprocessing
- RTK
- DGNS

Postprocessing

Data jsou poskytována uživatelům ve formátu RINEX 2.10 ihned po registraci. [11]

RTK a síťové korekce

Korekce jsou poskytovány k jednotlivým nebo virtuálním stanicím. S jejich využitím umožňují určení polohy s centimetrovou přesností. Data jsou poskytována z automaticky nejbližší stanice (NAU2, NAU3), libovolné stanice (mountpoint TBRN, a

jiné) anebo virtuální stanice (NVR2, NVR3) vygenerované na základě síťového řešení vzdálené 5 km od uživatele ve směru k nejbližší stanici. Korekce ve formátu RTCM 2.3 a RTCM 3.0. [11]

DGNSS

Korekce diferenciálního GNSS mají submetrovou přesnost a jsou poskytovány z určitých stanic buď konkrétně anebo automaticky z nejbližší. [11]

3. METODY URČOVÁNÍ POLOHY, VYJÁDŘENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ

Metody, kterými určujeme polohu bodů při měření GNSS, rozlišujeme podle různých kritérií:

- Podle použitých veličin:
 - Kódové
 - Fázové
- Podle pohybu přijímače v průběhu měření:
 - Statická
 - Rychlá statická
 - Stop and Go
 - Kinematická
- Podle způsobu určení polohy:
 - Absolutní
 - Relativní
- Podle doby potřebné k získání polohy:
 - V reálném čase
 - Postprocessing (zpracování po skončení měření)

3.1 Rozdělení podle použitých veličin

Kódové měření

Tato metoda se používá u jednofrekvenčních přístrojů využívajících C/A kód. Princip metody spočívá v měření doby potřebné k tomu, aby vyslaný signál z družice dosáhl přijímače (tedy rozdíl času přijetí signálu přijímačem a čtení družicových hodin v okamžiku odeslání signálu). Na základě toho můžeme určit tzv. pseudovzdálenost mezi přijímačem a družicí. Tato vzdálenost je zatížena o chybu hodin přijímače, ionosférické a troposférické korekce. Rovnice pro výpočet pseudovzdálenosti u kódového měření:

$$R^{(i)} = \sqrt{(X^{(i)} - X)^2 + (Y^{(i)} - Y)^2 + (Z^{(i)} - Z)^2} + c\Delta t_{(R)} - \Delta r^{(i)} + \Delta r_{iono}^{(i)} + \Delta r_{trop}^{(i)}$$

V rovnici vystupují 4 neznámé parametry a to souřadnice (X, Y, Z) a odchylka časové základny přijímače ($\Delta t_{(R)}$). Z toho důvodu potřebujeme k určení polohy minimálně

4 družice, měření na více družic vede k vyrovnáním a lepším výsledkům přesnosti. [12], [1]

Fázové měření

Tato metoda je přesnější než metoda předchozí. Princip je založen na určování pseudovzdáleností pomocí měřených celých vln a fázových doměrků. Platí zde stejné neznámé jako u kódového měření ($X, Y, Z, \Delta t_{(R)}$) a navíc je ještě dále neznámý počet celých vlnových délek obsažených v měřené pseudovzdálenosti na počátku měření u každé družice. Tato veličina se nazývá počáteční celočíselná ambiguita, která, pokud nedojde k přerušení signálu, zůstává stejná po celou dobu měření. Rovnice pro výpočet fázových doměrků u fázového měření:

$$\Delta\varphi = \left[\sqrt{(X^{(i)} - X)^2 + (Y^{(i)} - Y)^2 + (Z^{(i)} - Z)^2} + c(t_{(R)} - t^{(i)}) - N\lambda \right] \frac{2\pi}{\lambda}$$

Testují se charakteristiky přesnosti nejlepšího a druhého nejlepšího výsledku řešení ambiguit. Řešení se statisticky významným zmenšením variace oproti druhému nejlepšímu výsledku se označí jako „fixed“ (považujeme ambiguitu za vyřešenou), pokud se testem neprokáže nejlepší řešení, použijí se původní reálné hodnoty „float“. [12], [1]

3.2 Rozdělení podle pohybu přijímače v průběhu měření

Statická metoda

U statické metody jsou oba přijímače po celou dobu měření vzhledem k povrchu Země v klidu. Provádí se dlouhé observace (od desítek minut až po několik hodin) kvůli její vysoké přesnosti, která je charakterizována přesností 5 mm + 1 ppm. Tato metoda se využívá pro speciální práce s maximální požadovanou přesností, například pro budování bodových polí na velkém území, sledování tektonických pohybů bodů, při národních a mezinárodních kampaních a tak dále. [12], [1]

Rychlá statická metoda

Doba observace dosahuje při této metodě několik minut a klesá s přibývajícím družicemi. Při měření touto metodou je ovšem větší vliv náhodných chyb oproti statické metodě, což je dáno důsledkem menšího souboru měření. Přesnost metody je charakterizována jako 5 mm až 10mm + 1 ppm a je do značné míry ovlivněna okamžitou

konstelací družic. Rychlá statická metoda se využívá pro zhušťování bodových polí, pro budování prostorových sítí nižší přesnosti, při podrobném měření a jiné. [12], [1]

Metoda Stop and Go

Neboli polokinematická metoda, je obdobná rychlé statické metodě, přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu. Na prvním bodě setrváváme tak dlouho, dokud se nevyřeší ambiguity. Ty se na dalších bodech nemění a neztrácíme tím tedy čas na jejich určení. Podmínkou je přijímat signál alespoň ze čtyř družic, na které probíhá fázové měření a tento signál neztratit. Délka observace je od 5 do 10 minut a přesnost 10 až 20 mm + 1 ppm. [12], [1]

Kinematická metoda

Jedná se o metodu, kde je rover vzhledem k zemskému povrchu v pohybu. Používá se pro určování dráhy pohybujícího se tělesa, na kterém je umístěn přijímač (například využití při letecké fotogrammetrii). Přesnost kinematické metody je 10 až 20 mm + 1 ppm. Tato metoda má dva způsoby měření. Jednou je *kinematická metoda se statickou inicializací (On the way)*, která je podobná metodě Stop and Go, to znamená, že se na známém bodě na začátku vyřeší ambiguity a je nutný nepřetržitý signál alespoň ze 4 družic. Druhou metodou je *kinematická s inicializací za pohybu (On the Fly)*, kde se ambiguity řeší za pohybu s využitím velmi přesného kódového měření. [12], [1]

3.3 Rozdělení podle způsobu určení polohy

Absolutní metoda

Jde o určení tzv. autonomní prostorové polohy. K měření využíváme jednoho přijímače. Měření je zatíženo velkou hodnotou systematických vlivů. Primární účel metody je pro navigace, kde postačuje její metrová přesnost. Metoda má dva způsoby měření a to *SPP (single point positioning)* a *PPP (precise point positioning)*. Precise Point Positioning využívá dlouhých observací geodetických aparatur a produktů eliminujících systematické vlivy. Lze dosáhnout přibližně přesnosti 15mm. Existují online zpracovatelská centra, která poskytují uživatelům stáhnutí korekcí po skončení měření (např. The precise point positioning software center na webové adrese <http://gge.unb.ca/Resources/PPP/index.htm>). Korekce jsou ve formátu RINEX. [12], [1]

Relativní metoda

Jde o metodu zpracování měření alespoň ze dvou aparatur, které přijímají signály ve stejný časový okamžik. Určuje se prostorový vektor mezi těmito dvěma aparaturami. Vytváří se základna, na jejíchž koncových bodech jsou přijímače, kterými jsou referenční stanice, která je umístěna po celou dobu observace na jednom známém bodě a rover, pomocí kterého se určuje poloha neznámých bodů. Tato metoda dosahuje nejvyšší přesnosti při fázovém měření (je to od 0,2 až 5mm). [12], [1]

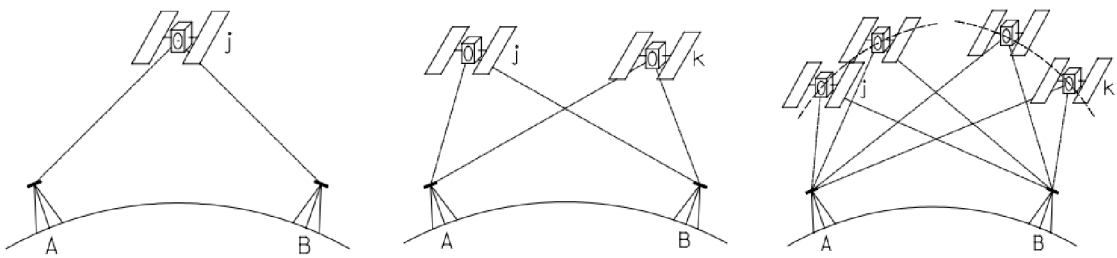
Ke zvýšení přesnosti relativního určení polohy se používá speciálních technik, kterými se z velké části eliminují systematické vlivy. Mezi tyto systematické vlivy zejména patří:

- nepřesnost palubních efemerid
- chyby v určení korekce časových základen
- chyby modelu ionosférického zpoždění
- chyby modelu troposférického zpoždění

Tyto systematické vlivy lze eliminovat vytvářením diferencí simultánních měření dvojic přijímačů. Dělí se na:

- **jednoduché difference** - simultánní pozorování jedné stejné družice ze dvou míst. Tímto měřením docílíme eliminaci vlivu chyb hodin družice a zmenšení vlivu ionosférického a troposférického zpoždění.
- **dvojité difference** - rozdíl dvou jednoduchých diferencí na dvou družicích. V tomto případě nejsou členy výpočetní rovnice závislé na frekvenci a korekcích hodin přijímače. Docílíme tedy účinnou eliminaci chyb hodin družice a přijímačů a dále zmenšení ionosférického a troposférického zpoždění.
- **trojité difference** - rozdíl dvou dvojitých diferencí získaných ve dvou různých epochách. Touto metodou docílíme vyloučení chyb hodin družice a přijímačů, vyloučení celočíselné lineární kombinace ambiguit a vlivu ionosférického a troposférického zpoždění. Nevýhodou je nižší přesnost než u předchozích metod.
- **lineární kombinace měřených signálů** - další kombinace jak fázových, tak kódových měření na nosných vlnách. Jde zejména o *ionosphere-free*, která eliminuje ionosférickou refrakci (označení u fázových měření L3, u kódových P3), dále W3, což je rozdíl mezi kombinací fázového L3 a kódového P3 měření

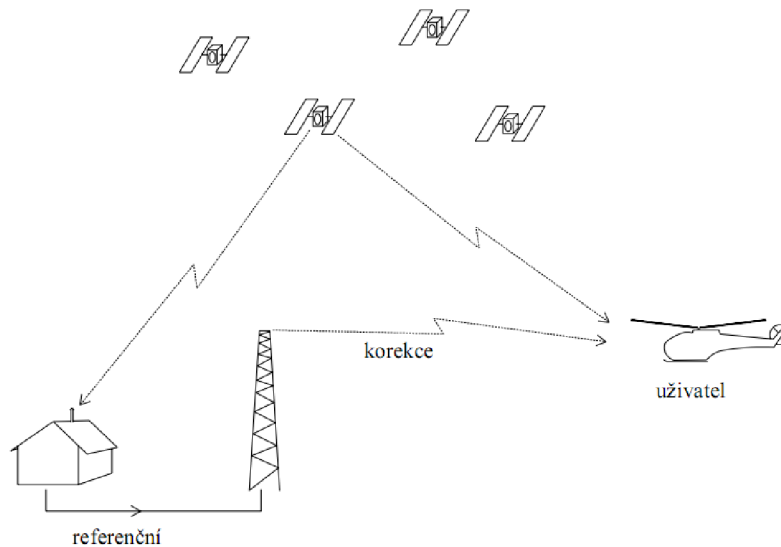
ionosphere-free. Tuto lineární kombinaci lze využít pro detekci vícecestného šíření signálu, nevýhodou je ovšem nepřesnost kódového měření. Dalšími jsou lineární kombinace jak fázových, tak kódových měření označené jako *geometry-free* (L4, P4), která se využívá pro určování modelů ionosférické refrakce. *Melbourne-Wübbenova* lineární kombinace, která eliminuje vliv ionosféry, troposféry, chyb hodin a geometrie družic a využívá se při kinematických metodách. [12]



Obr. 6- Jednoduché, dvojité a trojitě diference [21]

DGNSS

Neboli diferenční metoda GNSS, jde tedy o kódové měření, kde se pomocí absolutní metody a korekcí z referenční stanice získává prostorová poloha měřených bodů. Přesnost této metody je 0,5m. [12]



Obr. 7- Princip metody DGNS [21]

RTK (Real Time Kinematic)

U této metody se realizuje přenos pseudovzdáleností fázových měření z referenční stanice do roveru v reálném čase. Ambiguity se v roveru řeší pomocí metody On the Fly a

nastává okamžitý výpočet parametrů měřeného faktoru. Pro RTK měření je potřeba internetového mobilního připojení pro příjem korekcí (RTCM) z referenční stanice. Na displeji roveru se zobrazí přesnost, s níž byl bod změřen. Díky tomu se může měřič hned rozhodnout, zda lze tuto observaci považovat za dostačující, či nikoli a měření následně zopakovat. Přesnost metody je 10 až 20mm + 2ppm.

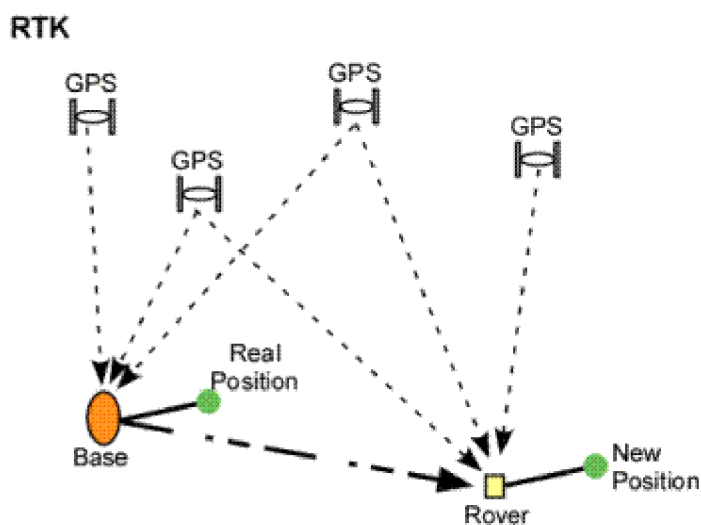
Výhody metody:

- měření prostorové polohy bodů v reálném čase
- využití při rychlém vytyčování
- využití pro přesné aplikace GIS

Nevýhody:

- závislost na signálu mobilního operátora
- minimum 5 viditelných družic
- služba pro příjem korekcí v reálném čase je zpoplatněna

[12]



Obr. 8- Princip metody RTK [22]

3.4 Vyjádření přesnosti měření

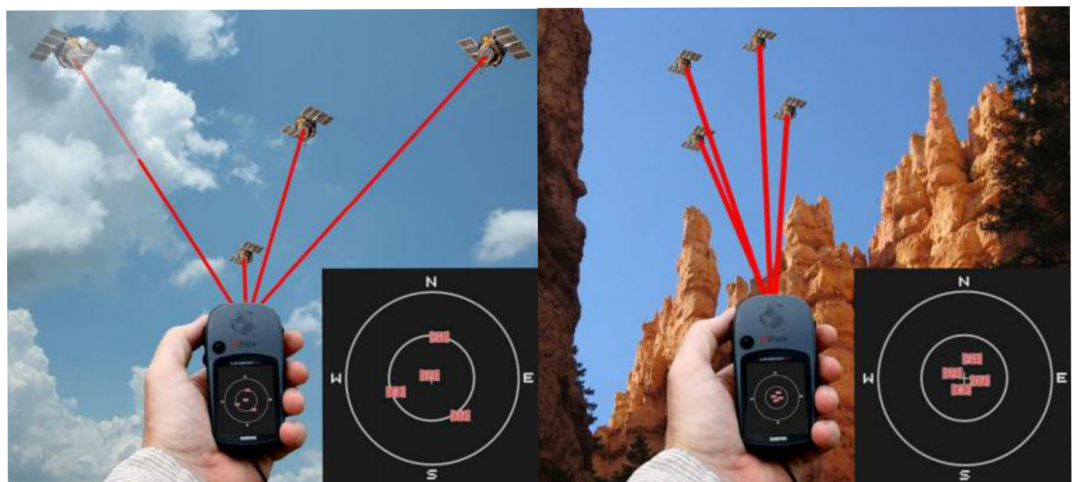
Přesnost měření se udává pomocí faktoru *DOP* (Dilution of Precision), neboli faktoru snížení přesnosti. Jde o číselné vyjádření okamžité geometrie viditelných družic, která je důležitým faktorem ovlivňujícím přesnost určení polohy. V průběhu času se geometrie družic mění. Je to způsobeno vlivem pohybu družic a přijímače, konfigurací

družic a jejich počtem v době měření. Tuto míru přesnosti vyjadřují právě parametry DOP. Čím je menší hodnota DOP, tím lepší přesnost získáme. Obrázek níže ukazuje, jak má volný a zastíněný obzor vliv na přesnost faktoru DOP (volný obzor → dobrý DOP → lepší přesnost, zastíněný obzor → špatný DOP → horší přesnost).

Existuje několik druhů DOP:

- PDOP (charakterizuje přesnost v určení prostorové polohy)
- HDOP (přesnost horizontální polohy)
- VDOP (přesnost vertikální polohy)
- TDOP (přesnost korekce hodin přijímače)
- GDOP (přesnost kombinace určení polohy a korekce hodin)

[12], [1]



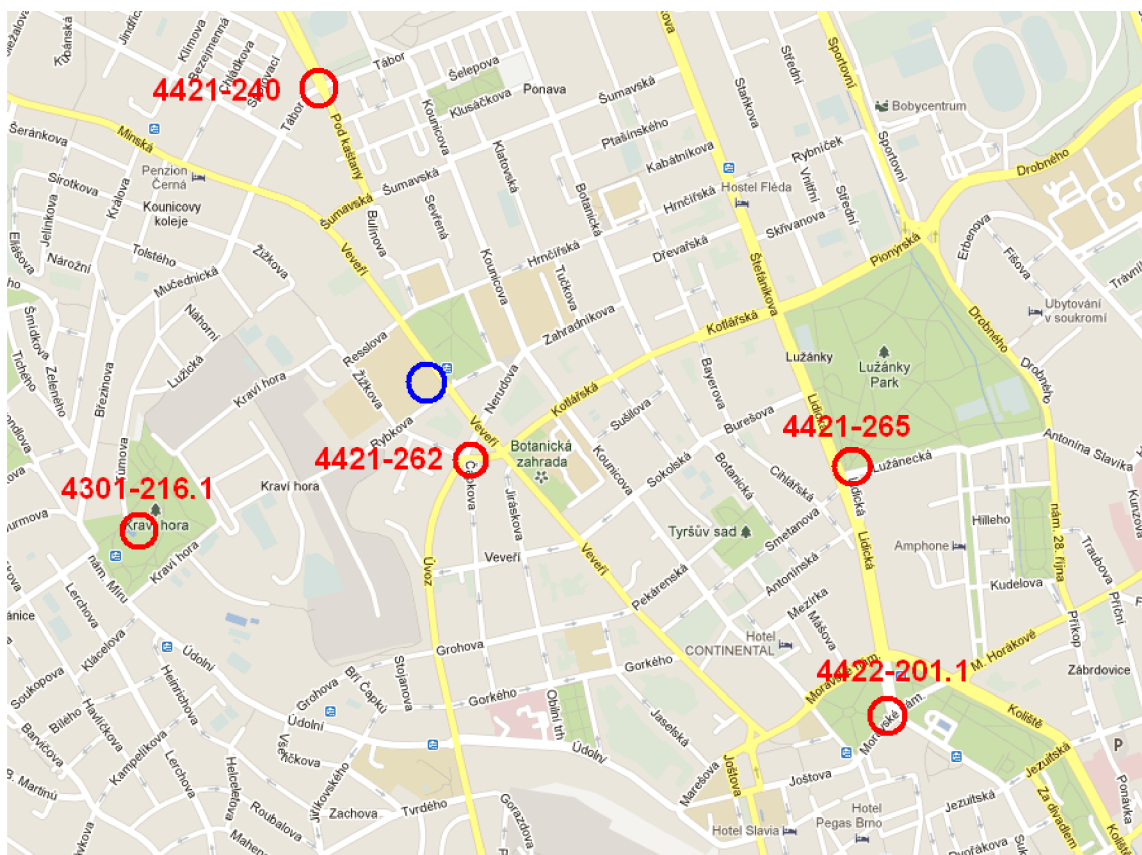
Obr. 9- Vliv konfigurace družic na polohovou přesnost [23]

4. VLASTNÍ MĚŘENÍ

4.1 Lokalita

Vlastní měření se skládalo ze dvou testovacích měření na území města Brna. Tato lokalita byla zvolena především jak z hlediska dostupnosti, tak blízkosti k fakultě stavební.

První měření bylo provedeno na pilíři budovy B, FAST VUT v Brně (na obr.10 označeno modrým kolečkem). Další měření byla provedena na předem vybraných zhušťovacích bodech v blízkosti fakulty. Body byly zvoleny tak, aby neměly zakrytý obzor, který je důležitý pro příjem signálů z družic, a byly dobře dostupné. Jedná se o zhušťovací body 4421-262 (bod leží na Konečného náměstí), 4421-265 (bod leží na rohu ulic Lidická a Lužánecká v Lužáneckém parku), 4421-240 (křižovatka ulic Tábor a Hradecká) a zajišťovací body 4422-201.1 (Moravské náměstí, křižovatka ulic Lidická a Roosveltova), 4301-216.1 (park Kraví hora, Jiráskova čtvrť). Tyto body jsou na obr.10 označeny červeně. Místopisy bodů jsou dodány elektronicky v příloze č. 6.



Obr. 10- Lokalita měření

4.2 Přístrojové vybavení

Pro své měření jsem využil přístroj Leica GPS1200. Přístroj využívá měření na dva globální navigační systémy, kterými jsou GPS a GLONASS. Výhodou tohoto je, že se zvyšuje počet viditelných satelitů a tím se i zvyšuje spolehlivost a produktivita měření.

Systém GPS1200 je schopný přijmout všechny dostupné signály (L2C a GLONASS) a je vyroben i k podpoře signálů L5. Částmi aparatury jsou anténa, přijímač a kontroler. [13]



Obr. 11- Leica System 1200

4.2.1 Části a parametry přístroje

- přijímač GX 1230 GG - dvou frekvenční, signály z GPS a GLONASS, RTK, 72 kanálů, 14 L1+14 L2 GPS, 12 L1+12 L2 GLONASS, 2 SBAS, připraven pro L5 a Galileo

- anténa AX 1202 GG - standardní, příjem signálů GPS a GLONASS, frekvence L1 a L2
- kontroler GX 1210 - dotykový displej, 256 znaků, osvětlení displeje, přímé spojení s přijímačem
- další součásti přístroje - baterie (Li-ion, 4Ah), nabíječka, kabely (propojení antény s kontrolerem)

Přístroj použitý v rámci testovacích měření má výrobní číslo 08330014 a byl vyroben v roce 2008. [14]

4.2.2 Přesnost přístroje

Přesnost měření, přesnost v poloze a přesnost ve výšce je závislá na několika různých faktorech. Těmito faktory jsou počet viditelných satelitů a jejich rozmístění, délka observace, přesnost efemerid, ionosférické podmínky, vícecestné šíření signálu (multipath) a tak dále. Uvedené přesnosti jsou udávány výrobcem jako střední kvadratická chyba (rms-root mean square) získané měřením v reálném čase a zpracované v programu LEICA Geo Office.

Pro RTK je to u statické a rychlé statické metody fázového měření udávána přesnost 5mm + 0,5ppm v poloze a 10mm + 0,5ppm ve výšce. U kinematické metody fázového měření v pohybujiícím se módu po inicializaci je přesnost v poloze 10mm + 1ppm a ve výšce 20mm + 1ppm. U kódových měření udává výrobce 25 cm.

Tyto data jsou získána z manuálu technických dat přístroje Leica GPS1200 Series. [15]

4.3 Měření

Vlastní měření metodou RTK proběhlo ve dvou etapách. První proběhlo ze dne 29. 11. 2012 na den 30. 11. 2012 na terase budovy B, FAST VUT v Brně. Měřilo se po dobu 24 hodin. Anténa byla postavena na jihozápadním pilíři, zhorizontována a pomocí rozdvojků a kabelů připojena ke dvěma přijímačům, z nichž jeden přijímal korekce pro Czepon a druhý pro TopNet. Tohoto způsobu se použilo proto, aby si byla obě měření co nejvíce podobná a nevznikaly možné chyby z použití dvou aparatur na dvou různých bodech. U obou kontrolerů byl nastaven příslušný příjem korekcí virtuální referenční

stanice a to NVR3 pro TopNet a VRS3-MAX-GG pro Czepos. Jakmile proběhla inicializace a měření se ukázalo jako fixní, spustil se příjem korekcí a ve stejný čas i měření u obou přijímačů. Elevační maska, která slouží k odfiltrování nízkých signálů, byla nastavena na 10°. Krok ukládání dat byl zvolen po 1 vteřině. Druhý den po 24 hodinách se opět měření v jeden okamžik u obou přijímačů zastavilo.



Obr. 12- Měření statickou metodou na pilíři

Druhé měření proběhlo v okolí fakulty FAST po Brně. Měřilo se na pěti vybraných bodech. Příjem korekcí byl VRS3-MAX-GG u Czepos a NVR3 u TopNet. Měřily se desetkrát pětisekundové intervaly a pětkrát dvacetisekundové observace u obou poskytovatelů. Současně se zaznamenávala doba fixace u každého poskytovatele pro následné porovnání. Je to doba od okamžiku odeslání požadavku na příjem korekcí až po dosažení fixovaného měření. Anténa byla po celou dobu měření postavena na stativu s optickým dostředovačem. Tím se sice prodloužil čas strávený u každého bodu, protože centrace i horizontce trvala déle, než kdyby byla anténa nasazena na tyčce, ale vyloučil se

tím vliv opakované centrace a anténa byla po celou dobu měření v klidu. Nad každým bodem jsem strávil přibližně půl hodiny.



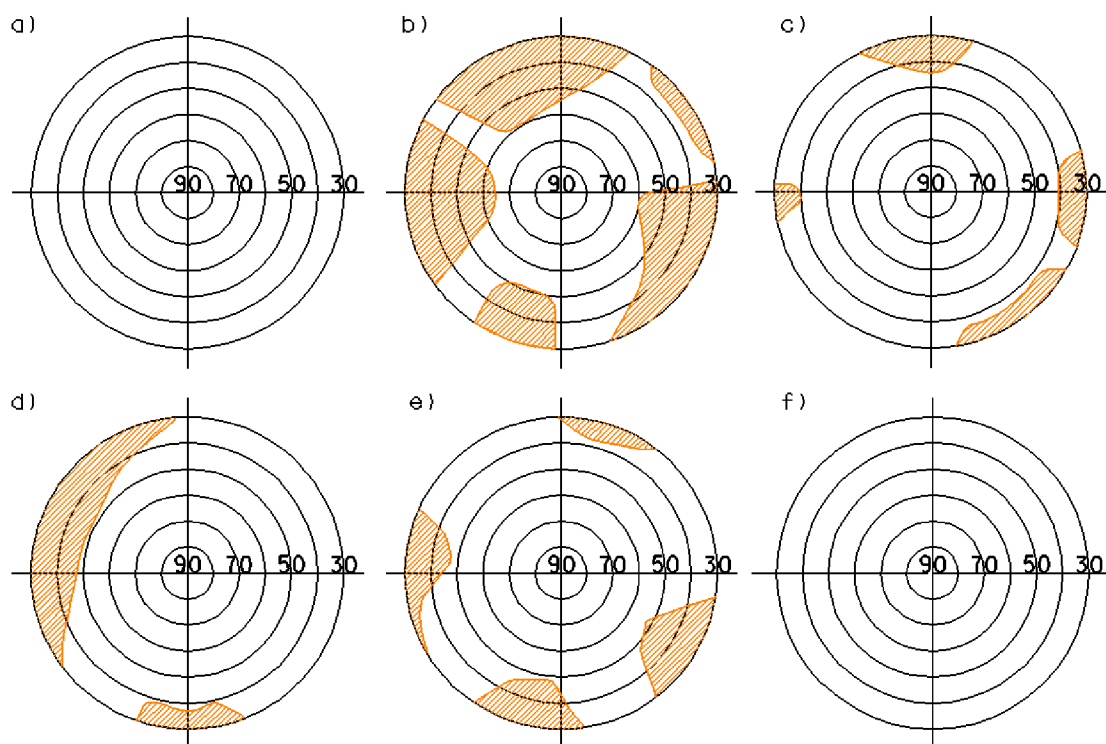
Obr. 13- Měření metodou RTK na bodě 4301-216.1

Nejdříve proběhla rekognoskace bodů, abych se jejím vyhledáváním při měření dále už nezdržoval. Vlastní měření jsem započal na bodě 4421-262 na Konečného náměstí. Po centraci a horizontaci nad bodem jsem změřil výšku antény, nastavil v kontroleru příjem korekcí pro Czepos (VRS3-MAX-GG), číslo bodu, změřenou výšku antény, elevační úhel 10° a čekal jsem na zafixování přístroje nad bodem. Pro rozlišení pětisekundových a dvacetisekundových intervalů měření u Czepos a TopNet jsem zvolil typ číslování jako např. 262C0501, kde 262 je číslo bodu, na kterém měření probíhá, písmeno C je označení pro Czepos (T je pro TopNet), 05 je pětisekundový interval (20 pro dvacetisekundový interval) a 01 je označení pořadí změřeného bodu. Zároveň jsem na hodinkách stopoval dobu fixace aparatur pro jednotlivé služby. Jakmile se přístroj zafixoval, spustil jsem měření a po pěti sekundách ho ukládal. Po deseti opakováních jsem

měření ukončil, změnil příjem korekcí pro TopNet (NVR3) a celý postup jsem zopakoval. Poté následovalo dvacetisekundová observace ve stejném sledu, jako ta pětisekundová předchozí, ale s tím rozdílem, že jich proběhlo pouze pět pro každého poskytovatele zvlášť.

Po ukončení měření jsem se přemístil na bod 4422-201.1 na Moravském náměstí a celý postup zopakoval. Dalšími byly body v tomto pořadí: 4421-265 v Lužáneckém parku, 4421-240 na ulici Tábor a posledním bodem byl 4301-216.1 v parku Kraví hora. Po měření jsem šel stáhnout data do počítače a překontrolovat, jestli se měření správně uložilo.

Součástí observace na každém bodě bylo zakreslení zákrytu obzoru, který má vliv jak na počet viditelných satelitů, tak na míru přesnosti podle faktoru DOP (viz. kapitola 3.5 Vyjádření přesnosti měření). Dle *obr. 15* níže, je a) JZ pilíř budovy C, FAST VUT v Brně, b) 4421-262, c) 4421-265, d) 4422-201.1, e) 4421-240 a f) 4301-216.1.



Obr. 14- Zákryt obzoru na jednotlivých bodech

Jak je patrné z obrázku, tak na JZ pilíři (písm. a) a na bodě v parku Kraví hora (bod 4301-216.1, písm. f) byl dokonalý obzor. V Lužáneckém parku (4421-265, písm. c), Moravském náměstí (4422-201.1, písm. d) a ulici Tábor (4421-240, písm. e) je obzor z menší část zastíněn. Jelikož jde převážně o zastínění stromy v době vegetačního klidu,

nepřikládá bych míře zakrytí obzoru velkou váhu. Nejhorší situace nastala na Konečného náměstí (4421-262, písm. b), kde je zákryt obzoru celkem značný a jde o zakrytí budovami, což se značně může projevit na počtu a rozestavení viditelných satelitů a tím i horší přesnosti.

5. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

Měření jsem zpracovával v programu Leica Geo Office 8.2 a výpočty prováděl programem Microsoft Office Excel 2007 (dále jen Excel).

Leica Geo Office je program, který slouží pro import surových dat z měření a produkuje z něj jeho výsledky. Jelikož naměřená data byla v souřadném systému ETRS89 v realizaci ETRF2000, pro následné zpracování je bylo nutné přetransformovat do S-JTSK. Pro transformaci jsem použil transformační klíč CZ_JT13. Jde o nové zpřesnění globálního transformačního klíče, který vyšel v platnosti od 1. 7. 2012. Výhodou tohoto klíče je, že oproti předchozím verzím ho lze uplatnit po celém území ČR. Výstupní dokument z programu Leica Geo Office obsahoval číslo bodu, datum a čas kdy proběhlo měření, informaci o tom, jestli byl bod měřen fázově či kódově, informaci o fixaci jak v poloze, tak i výšce, souřadnice Y, X, ortometrickou výšku H a 3D kvalitu bodu a počet viditelných družic.

5.1 Zpracování měření na pilíři

Jelikož měření na pilíři probíhalo po dobu 24 hodin s krokem po jedné vteřině, získal jsem nesrovnatelné množství dat oproti následné observaci v městské zástavbě. Zpracování jsem rozdělil do dvou bloků:

- příjem korekcí od sítě CzePos
- příjem korekcí od sítě TopNet

Veškeré výpočty a filtrace bodů proběhly v programu Excel. U příjmu korekcí od poskytovatele CzePos jsem celkově změřil 86405 bodů. Ovšem ne vždy bylo dosaženo fixního řešení. Tyto měření bylo tedy nutné ze souboru vyloučit, čímž se celý soubor snížil na 84006 bodů. Jelikož jsem následně porovnával vnitřní přesnost tohoto měření, bylo potřeba vypočítat průměr souřadnic Y, X, výšky H, od nich souřadnicové a výškové rozdíly, střední chyby jednotlivých souřadnic, výšky m_H a střední souřadnicovou chybu $m_{x,y}$.

K výpočtu jsem použil následující vzorce:

- výpočet souřadnicových rozdílů δ_x

$$\delta_x = X' - X \quad , \text{kde } X' \text{ je aritmetický průměr souboru a } X \text{ jednotlivá měření}$$

$$\delta_x = x'' - x \quad , \text{kde } X'' \text{ je skutečná hodnota měřené veličiny}$$

- výpočet souřadnicových rozdílů δ_Y

$$\delta_Y = Y' - Y \quad , \text{kde } Y' \text{ je aritmetický průměr souboru a } Y \text{ jednotlivá měření}$$

$$\delta_Y = Y'' - Y \quad , \text{kde } Y'' \text{ je skutečná hodnota měřené veličiny}$$

- výpočet výškových rozdílů δ_H

$$\delta_H = H' - H \quad , \text{kde } H' \text{ je aritmetický průměr souboru a } H \text{ jednotlivá měření}$$

$$\delta_H = H'' - H \quad , \text{kde } H'' \text{ je skutečná hodnota měřené veličiny}$$

- výpočet středních chyb jednotlivých souřadnic m_x, m_y, m_H

$$m_x = m_y = m_H = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n-1}}$$

pro střední chyby od průměru, kde n je počet měření

$$m_x = m_y = m_H = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n}}$$

pro střední chyby od skutečné hodnoty

- výpočet střední souřadnicové chyby $m_{x,y}$

$$m_{x,y} = \sqrt{0,5 * (m_x^2 + m_y^2)}$$

Pro následné porovnání bylo nutné vypočítat střední chyby jednotlivých veličin a jejich střední souřadnicovou chybu jak pro pětisekundové tak pro dvacetisekundové průměry. Po zprůměrování měření Czepos jsem dostal 16801 pětisekundových a 4200 dvacetisekundových hodnot. I přes odstranění nezafixovaných měření byla maximální hodnota 3D kvality bodu 0,463 m. To bylo způsobeno tím, že aparatura i takovéto body označila za zafixované, když evidentně nebyly. V dalším kroku jsem tedy vyseparoval body, jejichž 3D kvalita byla do 0,12 m, čímž zůstalo celkem 83933 bodů. Hodnotu 0,12 m jsem zvolil proto, že předpokládaná střední chyba jednoho měření je uváděna jako 0,039 m a trojnásobek této chyby představuje přibližně 99% podíl naměřených hodnot ležících

právě v hodnotě 0,12 m. I zde jsem vypočítal střední chyby souřadnic a střední souřadnicovou chybu. Stejnou filtraci jsem aplikoval i pro pětisekundové průměry, jichž bylo v tomto případě 16787 a dvacetisekundové průměry, kterých bylo 4196. Vypočetl jsem souřadnicové odchylky, střední chyby veličin a střední souřadnicovou chybu. Všechny dosažené výsledky jsem následně porovnal.

U výpočtu měření s příjmem korekcí ze sítě TopNet jsem postupoval stejně. Změřených bodů bylo 86403. Po odfiltrování nezafixovaných měření jsem dostal 85634 hodnot, u kterých jsem taktéž vypočítal střední chyby jednotlivých souřadnic a střední souřadnicovou chybu jak pro pětisekundové průměry (17127 hodnot), tak pro dvacetisekundové průměry (4282 hodnot). Maximální hodnota 3D kvality bodu byla 0,438m. Následovalo opět odstranění bodů, jejichž kvalita byla horší jak 0,12 m, čímž se mi počet bodů zredukoval na 85452. U pětisekundových průměrů to bylo 17090 hodnot a dvacetisekundových 4273. I zde jsem provedl výpočty středních chyb.

5.2 Zpracování měření krátkých observací

Toto měření mělo oproti předešlé 24 hodinové observaci na pilíři podstatně méně hodnot, jelikož celková doba měření na každém bodě trvala přibližně jen 3 minuty. Celkově tedy bylo 150 měření, z toho 20 pětisekundových a 10 dvacetisekundových pro každý bod. Jelikož byly všechny zafixované a i 3D kvalita bodu byla maximálně 0,066 m, odpadla zde filtrace jakýchkoliv dat. Pro každý bod jsem počítal odchylky od průměru i od skutečné hodnoty, jejich maximální odchylky, střední chyby jednotlivých parametrů a střední souřadnicové chyby. Souřadnice měřených bodů jsem zjistil na internetových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (dále jen ČÚZK). Výpočty jsem prováděl zvlášť pro Czepos a TopNet pro každý bod.

6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V následující kapitole je popsáno zhodnocení výsledků observací. Výsledky jsem hodnotil zvlášť pro 24 hodinové měření na pilíři a zvlášť pro kratší observace v městské zástavbě. U kratších observací jsem dále hodnotil přesnost měřených souřadnic vůči daným souřadnicím, tedy vnější přesnost měření, a vůči průměrovaným souřadnicím, tedy vnitřní přesnost měření.

6.1 Měření na pilíři

Jelikož nebyly k dispozici souřadnice JZ pilíře v systému ETRS89 v realizaci ETRF2000, všechny výpočty jsem porovnával vzhledem k průměrným souřadnicím. Jedná se tedy o vnitřní přesnost měření. Odchytky jsou ve směru souřadnic Y, X v souřadnicovém systému S-JTSK a ve směru výšky H v systému Bpv.

Sít'	m_y [m]	m_x [m]	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$\max \delta_H$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
Czepos	0,003	0,004	0,008	0,188	-0,287	-0,488	0,004
TopNet	0,006	0,007	0,012	0,236	-0,286	-0,486	0,006

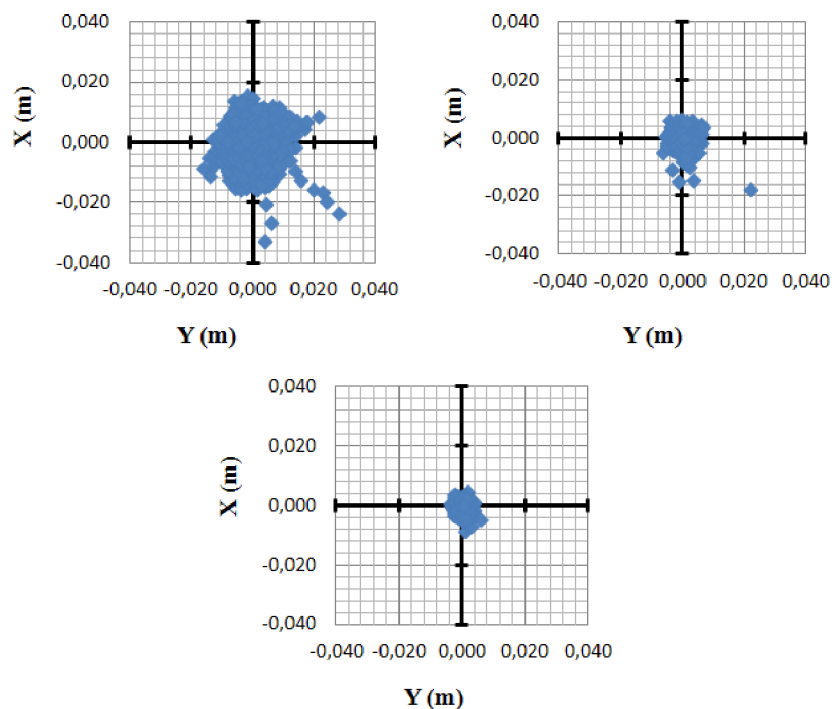
Tab. 1- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek

Z tabulky je patrné, že vnitřní střední souřadnicová chyba měření je u obou poskytovatelů kolem půl centimetru v horizontální složce. I když maximální odchylky dosahují rozdílů téměř 30 cm od průměru, jsou to ojedinělé výsledky a v rámci rozsáhlého souboru měření nemají velký význam na výslednou přesnost. Střední chyby jednotlivých souřadnic dosahují hodnot kolem půl centimetru v horizontální složce a ve výškové složce kolem jednoho centimetru.

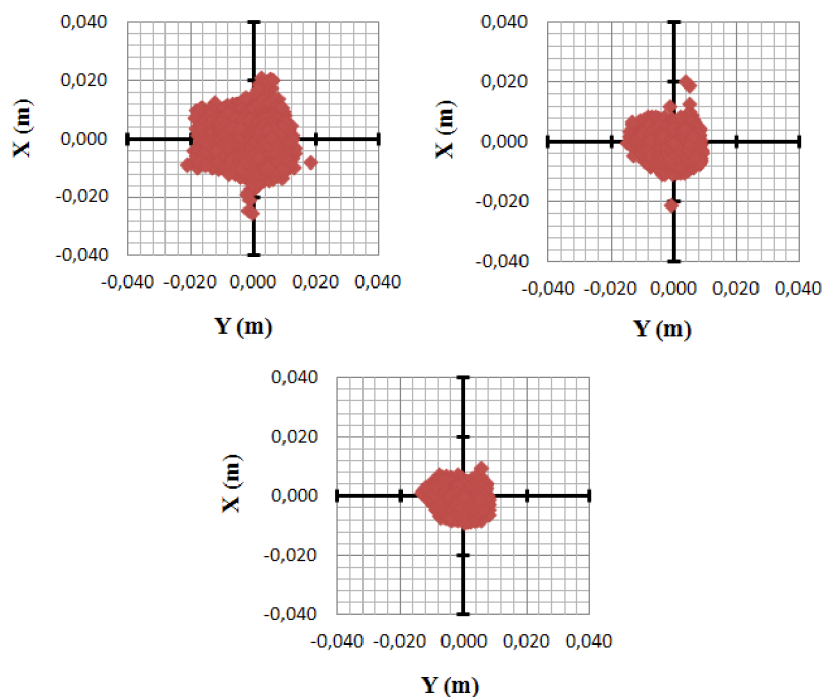
Průměr	Sít'	m_y [m]	m_x [m]	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$\max \delta_H$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
5s	Czepos	0,002	0,003	0,006	0,126	-0,190	-0,356	0,003
	TopNet	0,005	0,006	0,011	0,143	-0,207	-0,348	0,005
20s	Czepos	0,002	0,003	0,005	0,085	-0,129	-0,222	0,002
	TopNet	0,005	0,005	0,009	0,088	-0,127	-0,145	0,005

Tab. 2- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro 5s a 20s průměry

Jak ukazuje tabulka výše a grafy níže, u 5s a 20s průměrů se střední chyby jednotlivých souřadnic zlepšily. Síť TopNet tak výrazné zlepšení přesnosti nezaznamenal, zatímco síť Czepos dosáhl zlepšení ve střední souřadnicové chybě až o polovinu oproti původním neprůměrovaným hodnotám. Maximální odchylky od průměrů se také výrazně zlepšily a to dokonce až o několik decimetrů ve výšce.



Obr. 15- Grafy polohové přesnosti sítě Czepos (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)



Obr. 16- Grafy polohové přesnosti sítě TopNet (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)

Sít'	m_y [m]	m_x [m]	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$\max \delta_H$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
Czepos	0,002	0,003	0,006	0,050	-0,076	-0,156	0,003
TopNet	0,005	0,005	0,010	-0,098	0,105	-0,191	0,005

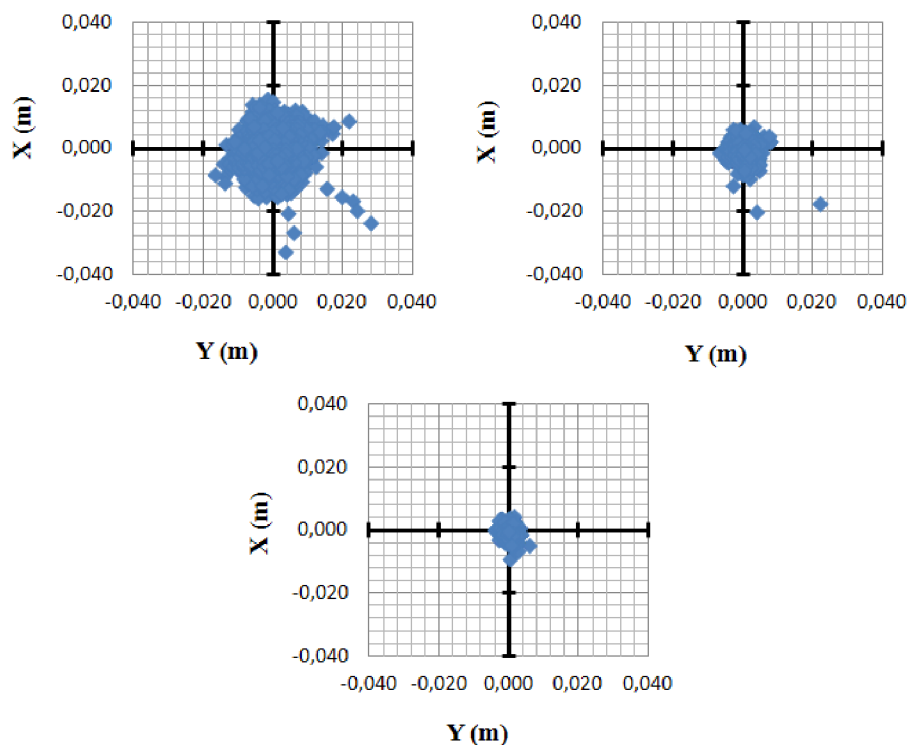
Tab. 3- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek, 3D kvalita do 0,12 m

Po odfiltrování měření, jejichž 3D kvalita byla horší jak 0,12 m, se přesnost rovná 5s průměrům z předešlých výpočtů. Zejména ve výšce, kde byly původně maximální odchylky od průměru téměř 0,5 m, se dosáhlo více jak polovičních hodnot.

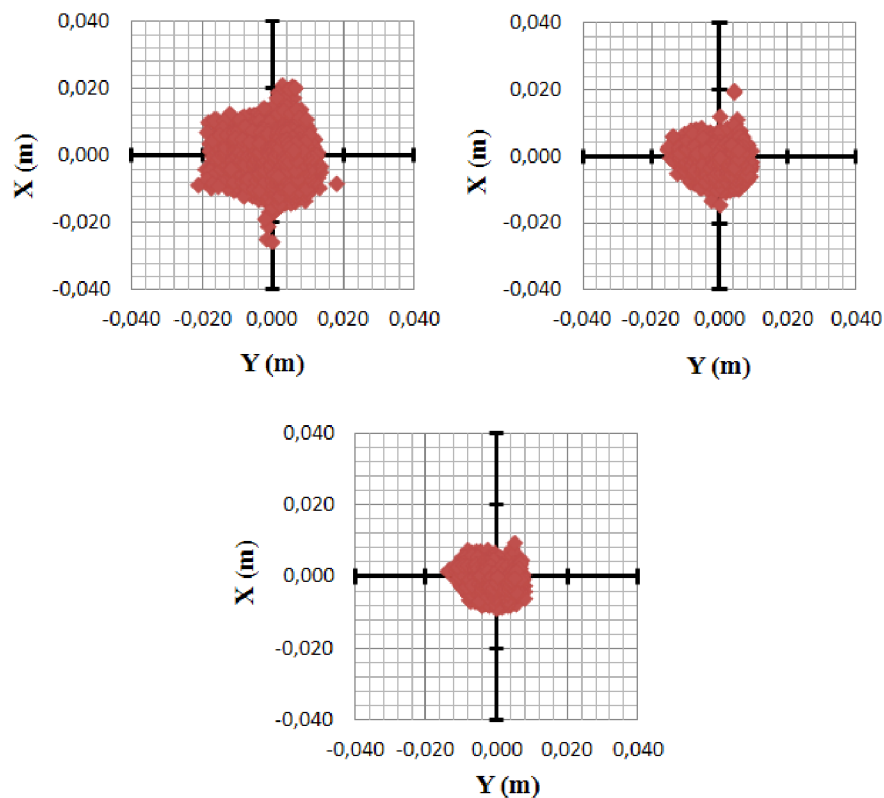
Průměr	Sít'	m_y [m]	m_x [m]	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$\max \delta_H$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
5s	Czepos	0,002	0,002	0,004	0,037	-0,56	-0,089	0,002
	TopNet	0,004	0,004	0,009	0,050	0,068	-0,105	0,004
20s	Czepos	0,002	0,002	0,004	0,037	-0,056	-0,058	0,002
	TopNet	0,004	0,004	0,008	0,018	0,021	-0,037	0,004

Tab. 4- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro 5s a 20s průměry, 3D kvalita do 0,12 m

Pětisekundové a dvacetisekundové průměry byly taktéž zpřesněny přibližně o milimetr oproti neodfiltrovaným hodnotám. Maximální odchylky dosahovaly rozdílů od průměru do šesti centimetrů, což je oproti předešlým výsledkům až o třetinu lepší hodnota.



Obr. 17- Grafy polohové přesnosti Czepos, 3D kvalita do 0,12 m (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)



Obr. 18 - Grafy polohové přesnosti TopNet, 3D kvalita do 0,12 m (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)

Střední chyby souřadnic X, Y a výšky H na JZ piliři byly milimetrové. Vyloučením méně přesných měření a vytvořením průměrů měření jsem limitoval velikost odchylek od průměru a docílil tím téměř dvojnásobně přesného výsledku měření. U sítě Czepos jsou hodnoty méně rozptýlené od střední hodnoty než u sítě TopNet, jak je vidět u grafů výše. Průměrný počet viditelných satelitů byl 15.

6.2 Krátké observace

U krátkých observací jsem opět porovnával přesnost měření mezi poskytovateli korekcí Czepos a TopNet. Vyhodnocoval jsem zvlášť horizontální složku a složku vertikální. U těchto složek jsem vyhodnocoval pro každý bod zvlášť jak přesnost měřených souřadnic vůči daným souřadnicím (tzv. vnější přesnost), tak odchylky od průměru (tzv. vnitřní přesnost) pro pětisekundové a dvacetisekundové observace. Do porovnání jsem také zahrnul počet viditelných satelitů i dobu inicializace.

6.2.1 Polohová složka

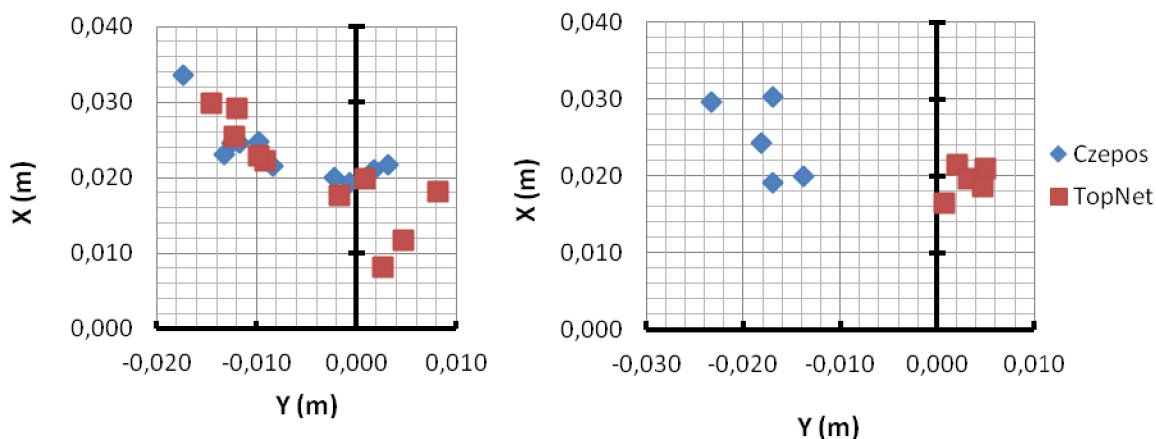
Vyhodnocení *vnější přesnosti* spočívala v porovnání změřených souřadnic oproti referenčním souřadnic získaných z portálu ČÚZK. Odchytky jsou ve směru Y a X v souřadnicovém systému S-JTSK. Každý bod jsem zpracovával zvlášť.

4421-262

Bod	Sít'	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4421-262	Czepos	5s	0,010	0,024	-0,017	0,034	0,018
	TopNet	5s	0,009	0,022	-0,015	0,030	0,016
	Czepos	20s	0,018	0,025	-0,023	0,030	0,022
	TopNet	20s	0,004	0,020	0,005	0,021	0,014

Tab. 5- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-262

Jak ukazuje tabulka výše, střední souřadnicová chyba se pro pětisekundové a dvacetisekundové observace se jak u sítě Czepos, tak u sítě TopNet značně neliší. U sítě Czepos dojde dokonce ke zhoršení výsledku u dvacetisekundového měření. U sítě TopNet pro 20 s měření je přesnost v souřadnici X až pětkrát horší než v souřadnici Y.



Obr. 19- Graf vzájemné polohy bodů 5s a 20s měření, 4421-262

Zatímco u pětisekundového měření (dále jen 5s) jsou body rovnoměrně rozloženy, tak u dvacetisekundového kroku (dále jen 20s) je patrné, že obě měření vytvářejí shluky, to znamená, že jejich vnitřní přesnosti jsou poměrně vysoké, ale vůči daným souřadnicím jsou obě skupiny posunuty.

Bod	Sít'	Doba měření	3D kvalita [m]	Počet satelitů	Doba fixace [s]
4421-262	Czepos	5s	0,032	10	
	TopNet	5s	0,034	9	
	Czepos	20s	0,038	9	40
	TopNet	20s	0,043	9	53

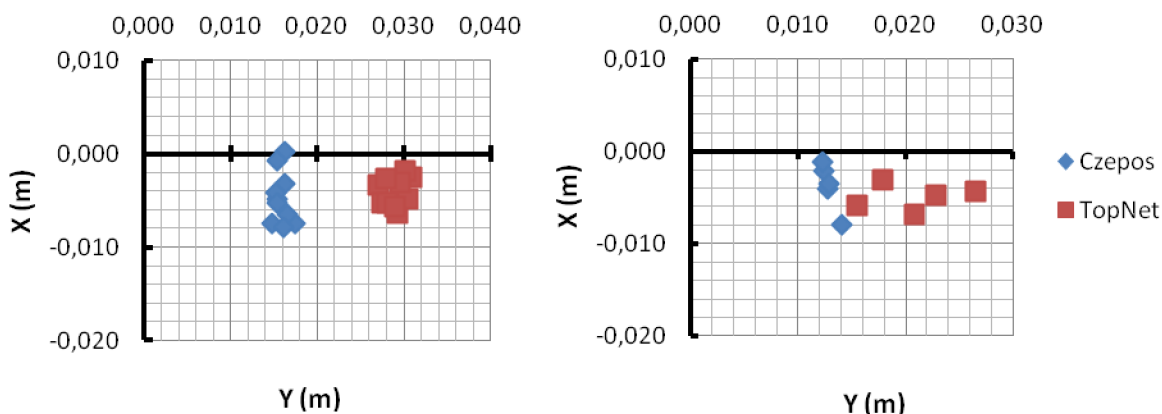
Tab. 6- Další parametry pro bod 4421-262

4422-201.1

Bod	Sít'	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4422-201.1	Czepos	5s	0,016	0,005	0,017	-0,008	0,012
	TopNet	5s	0,029	0,004	0,031	-0,006	0,021
	Czepos	20s	0,013	0,004	0,014	-0,008	0,010
	TopNet	20s	0,021	0,005	0,026	-0,007	0,015

Tab. 7- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4422-201.1

U bodu 4422-201.1 je u sítě Czepos pro 5s a 20s observace přibližně stejně velká střední souřadnicová chyba. Přesnost v souřadnici Y je ovšem přibližně o centimetr horší než v X. U sítě TopNet je tento rozdíl ještě větší a pro 5s observace dokonce dosahuje rozdílu 2,5 cm.



Obr. 20- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4422-201.1

U 5s kroku obě měření vytvářejí shluky. Jak už jsem popsal výše, přesnost v souřadnici Y je daleko horší než v X, jak je vidno z obr. 21.

Bod	Sít'	Doba měření	3D kvalita [m]	Počet satelitů	Doba fixace [s]
4422-201.1	Czepos	5s	0,017	10	26
	TopNet	5s	0,02	14	15
	Czepos	20s	0,016	15	27
	TopNet	20s	0,015	14	13

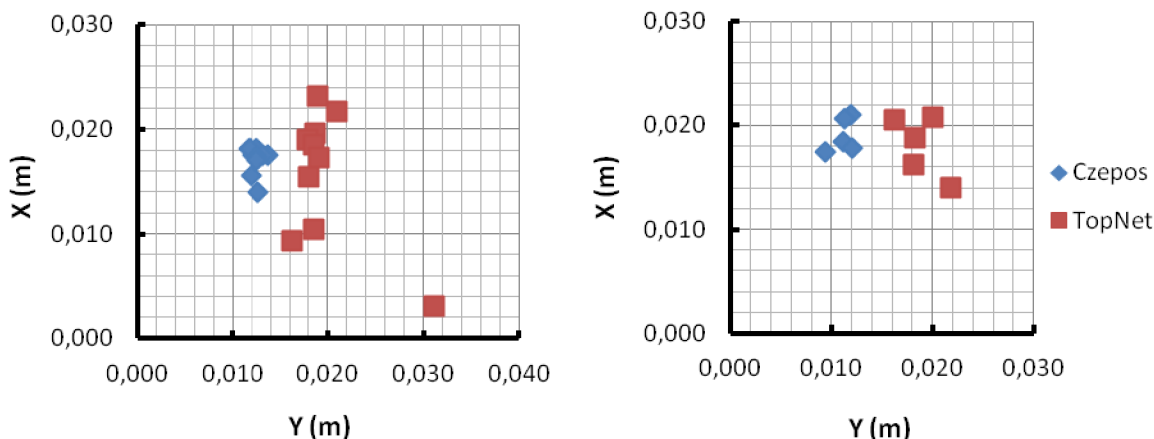
Tab. 8- Další parametry pro bod 4422-201.1

4421-265

Bod	Sít'	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4421-265	Czepos	5s	0,012	0,017	0,014	0,018	0,015
	TopNet	5s	0,020	0,017	0,031	0,023	0,019
	Czepos	20s	0,011	0,019	0,012	0,021	0,016
	TopNet	20s	0,019	0,018	0,022	0,021	0,019

Tab. 9- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-265

Ani u bodu 4421-265 nedojde k výraznému zlepšení výsledků 20s měření oproti 5s měření. U obou poskytovatelů je přesnost v obou osách přibližně stejná.



Obr. 21- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4421-265

U 20s observace je opět zřejmé, že měření sítě Czepos a TopNet vytvářejí shluky, zatímco u 5s observace vytváří shluky pouze síť Czepos.

Bod	Sít'	Doba měření	3D kvalita [m]	Počet satelitů	Doba fixace [s]
4421-265	Czepos	5s	0,013	14	27
	TopNet	5s	0,021	13	19
	Czepos	20s	0,013	13	20
	TopNet	20s	0,016	12	19

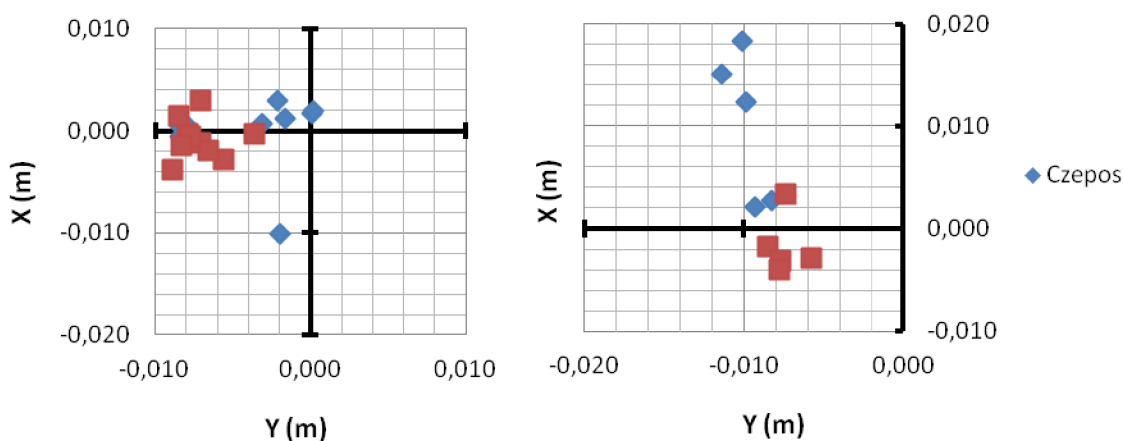
Tab. 10- Další parametry pro bod 4421-265

4421-240

Bod	Sít'	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4421-240	Czepos	5s	0,005	0,004	-0,008	-0,010	0,005
	TopNet	5s	0,007	0,002	-0,009	-0,004	0,005
	Czepos	20s	0,010	0,012	-0,011	0,018	0,011
	TopNet	20s	0,007	0,003	-0,008	-0,004	0,006

Tab. 11- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-240

U tohoto měření se u sítě Czepos zhoršila přesnost u 20s měření až o polovinu oproti 5s měření. U sítě TopNet je přesnost u obou observací přibližně stejná.



Obr. 22- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4421-240

Z grafů je patrné, že obě měření jak u 5s, tak u 20s observací nevytvářejí shluky, jako v předešlých případech. Měření sítě TopNet pro 20s není tak rozptýleno od skutečné hodnoty jako u sítě Czepos. U 5s měření TopNet došlo k výpadku signálu a doba fixace byla až 100s, je to ovšem výjimečný případ.

Bod	Sít'	Doba měření	3D kvalita [m]	Počet satelitů	Doba fixace [s]
4421-240	Czepos	5s	0,015	14	48
	TopNet	5s	0,014	13	100
	Czepos	20s	0,016	15	17
	TopNet	20s	0,017	13	38

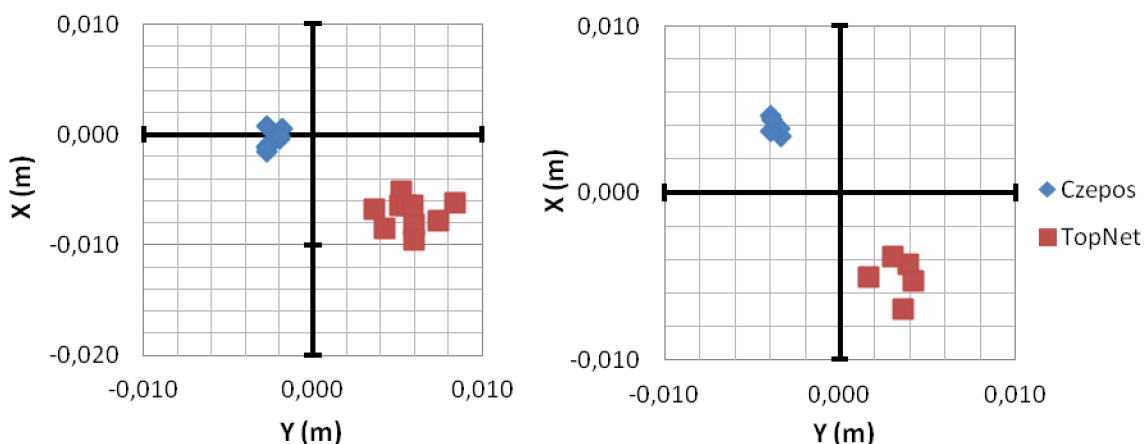
Tab. 12- Další parametry pro bod 4421-240

4301-216.1

Bod	Sít'	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4301-216.1	Czepos	5s	0,002	0,001	-0,003	-0,002	0,002
	TopNet	5s	0,006	0,007	0,008	-0,010	0,007
	Czepos	20s	0,004	0,004	-0,004	0,005	0,004
	TopNet	20s	0,003	0,005	0,004	-0,007	0,004

Tab. 13- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4301-216.1

Dosažená přesnost na tomto bodě je ze všech bodů nejlepší. I doba fixace je nejnižší, což je zřejmě způsobeno nezakrytým obzorem. Pro všechna měření je u obou poskytovatelů přesnost v poloze kolem půl centimetru.



Obr. 23- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4301-216.1

Z grafů je patrné, že 5s a 20s měření vytvářejí shluky. Lze tedy usuzovat, že jejich vnitřní přesnost, zejména u sítě Czepos je značně vysoká a dosahuje řádů desetin milimetrů.

Bod	Sít'	Doba měření	3D kvalita [m]	Počet satelitů	Doba fixace [s]
4301-216.1	Czepos	5s	0,009	16	25
	TopNet	5s	0,014	17	12
	Czepos	20s	0,009	15	17
	TopNet	20s	0,012	17	14

Tab. 14- Další parametry pro bod 4421-265

Vyhodnocení *vnitřní přesnosti* jsem zpracovával stejným způsobem jako vnější přesnosti, s tím rozdílem, že odchylky v souřadnicích Y a X jsou vztaženy k průměrným souřadnicím jednotlivým bodům.

Bod	Síť	Doba měření	m_y [m]	m_x [m]	$\max \delta_y$ [m]	$\max \delta_x$ [m]	$m_{x,y}$ [m]
4421-262	Czepos	5s	0,007	0,004	0,010	0,010	0,006
	TopNet	5s	0,008	0,007	0,012	-0,012	0,008
	Czepos	20s	0,003	0,005	-0,005	0,006	0,004
	TopNet	20s	0,002	0,002	-0,002	-0,003	0,002
442-201.1	Czepos	5s	0,001	0,003	0,002	0,005	0,002
	TopNet	5s	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001
	Czepos	20s	0,001	0,003	0,001	-0,004	0,002
	TopNet	20s	0,004	0,001	0,006	0,002	0,003
4421-265	Czepos	5s	0,001	0,001	0,001	-0,003	0,001
	TopNet	5s	0,004	0,006	0,011	-0,013	0,005
	Czepos	20s	0,001	0,002	-0,002	-0,002	0,001
	TopNet	20s	0,002	0,003	0,004	0,004	0,002
4421-240	Czepos	5s	0,003	0,004	-0,005	-0,009	0,004
	TopNet	5s	0,002	0,002	0,004	0,004	0,002
	Czepos	20s	0,001	0,007	-0,002	-0,008	0,005
	TopNet	20s	0,001	0,003	0,002	0,005	0,002
4301-216.1	Czepos	5s	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001
	TopNet	5s	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001
	Czepos	20s	0,0003	0,001	-0,0002	0,001	0,0004
	TopNet	20s	0,001	0,001	-0,002	-0,002	0,001

Tab. 15- Charakteristiky vnitřní přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro všechny body

Jak je zřejmé z tabulky výše, střední souřadnicová chyba všech bodů byla do jednoho centimetru a jen v ojedinělých případech byly maximální odchylky od průměru větší než centimetr. Střední souřadnicová chyba převážně dosahovala velikosti u sítě Czepos i TopNet do tří milimetrů. Takto vysoká přesnost mohla být způsobena tím, že měření probíhalo těsně po sobě za téměř shodné konfiguraci družic a shodných podmínkách měření. Měření bylo tedy zatíženo stejnými systematickými vlivy. Grafy vnitřní polohové přesnosti jsou dodány v příloze č. 4.

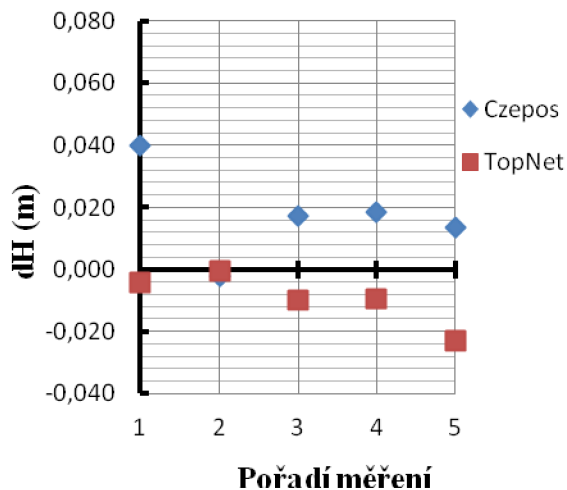
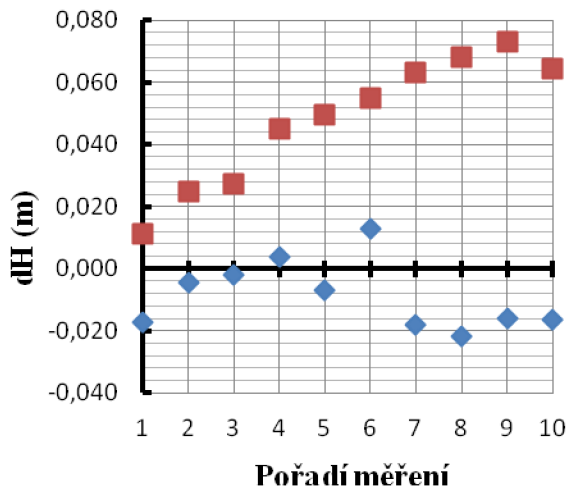
6.2.2 Výšková složka

Porovnával jsem výškovou odchylku ve výškovém systému Bpv zvlášť pro vnitřní a vnější přesnost měření u každého bodu.

Výšková složka *vnější přesnosti* měření dosahuje centimetrové přesnosti a maximální odchylky jsou do 0,05 m. Pouze v ojedinělých případech (bod 4301-216.1 měření Czepos, bod 4421-240 měření TopNet) dosahuje přesnost ve výšce pouhých několika milimetrů.

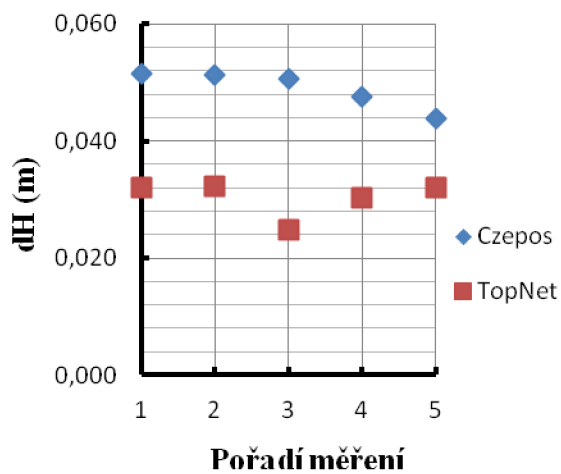
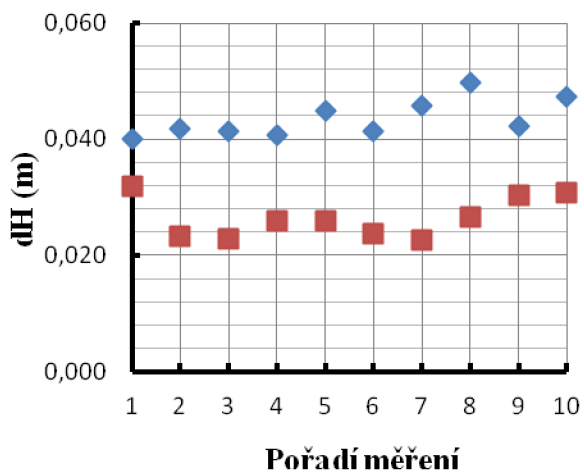
Bod	Sít'	Doba měření	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]
4421-262	Czepos	5s	0,014	-0,022
	TopNet	5s	0,052	0,073
	Czepos	20s	0,022	0,040
	TopNet	20s	0,012	-0,023
4422-201.1	Czepos	5s	0,044	0,050
	TopNet	5s	0,027	0,032
	Czepos	20s	0,049	0,052
	TopNet	20s	0,030	0,032
4421-265	Czepos	5s	0,024	0,031
	TopNet	5s	0,025	0,042
	Czepos	20s	0,039	0,045
	TopNet	20s	0,014	0,020
4421-240	Czepos	5s	0,024	-0,036
	TopNet	5s	0,015	-0,024
	Czepos	20s	0,018	-0,028
	TopNet	20s	0,007	0,012
4301-216.1	Czepos	5s	0,006	-0,007
	TopNet	5s	0,022	-0,028
	Czepos	20s	0,005	-0,007
	TopNet	20s	0,015	-0,018

Tab. 16- Charakteristiky přesnosti výškových odchylek pro všechny body

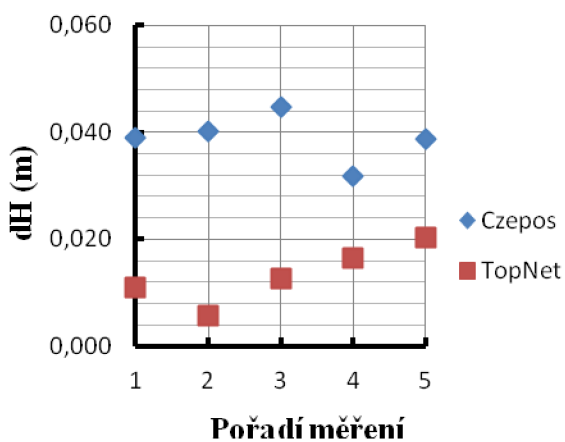
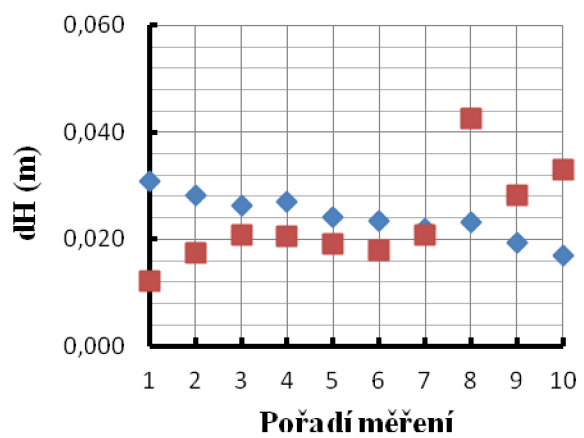


Obr. 24- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-262

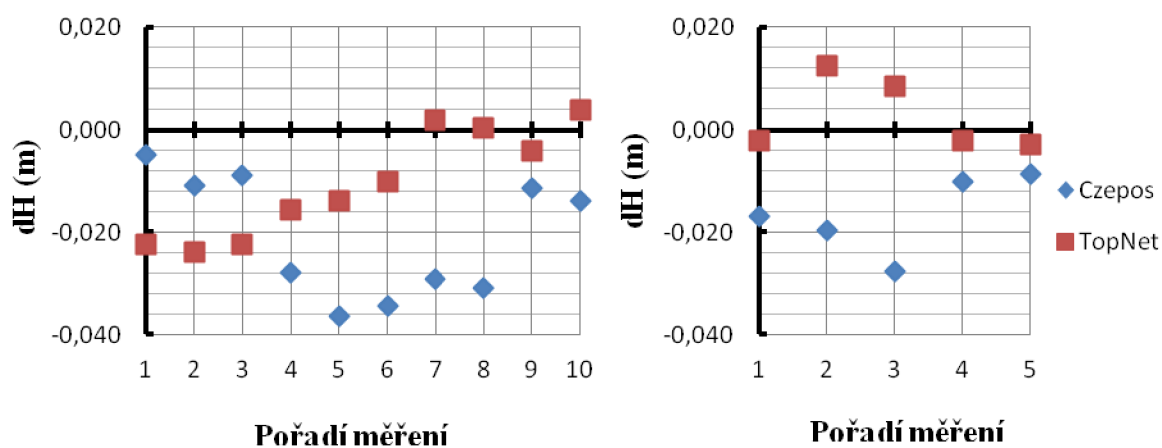
2



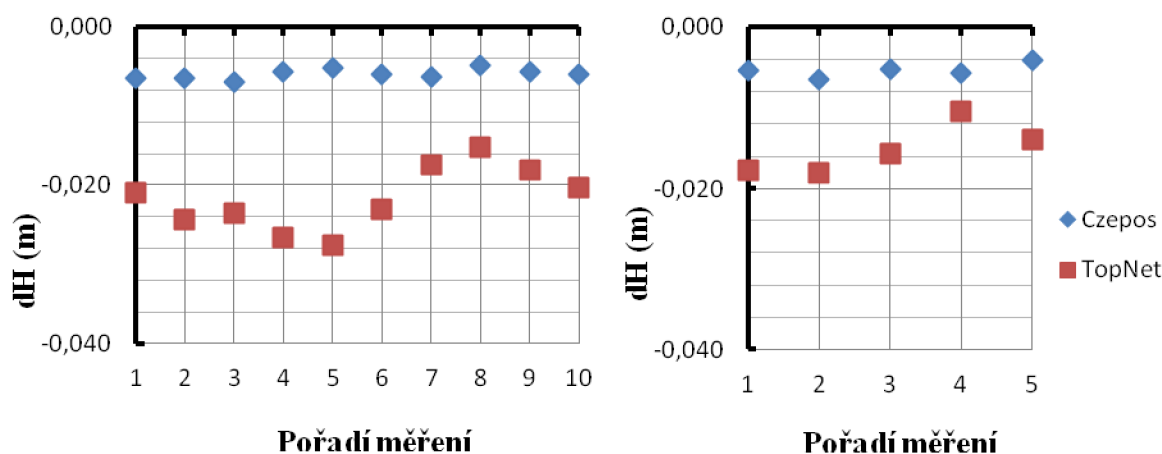
Obr. 25- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4422-201.1



Obr. 26- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-265



Obr. 27- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-240



Obr. 28- Graf odchylek výšek u 20s měření, 4301-216.1

Dle grafů výše, které zobrazují výškové odchylky od daných souřadnic pro jednotlivé body, můžeme sledovat vzájemnou přesnost Czepos a TopNet pro 5s a 20s observace. Nejlepší přesnost opět vyšla u bodu 4301-216.1, kde u měření sítě Czepos byla přesnost ve výšce dokonce kolem půl centimetru.

Vnitřní přesnost měření je jako u polohové složky získána odchylkami od průměrů. Dle tabulky níže vidíme, že kromě bodu 4421-262 na Konečného náměstí, kde byl ze všech měřených bodů nejvíce zastíněný obzor, je střední chyba ve výšce přibližně několik milimetrů. Grafy vnitřní výškové přesnosti jsou dodány v příloze č. 5.

Bod	Síť	Doba měření	m_H [m]	$\max \delta_y$ [m]
4421-262	Czepos	5s	0,011	0,021
	TopNet	5s	0,021	-0,037
	Czepos	20s	0,015	0,022
	TopNet	20s	0,009	-0,014
4422-201.1	Czepos	5s	0,003	0,006
	TopNet	5s	0,003	0,005
	Czepos	20s	0,003	-0,005
	TopNet	20s	0,003	-0,005
4421-265	Czepos	5s	0,004	0,007
	TopNet	5s	0,009	0,019
	Czepos	20s	0,005	-0,007
	TopNet	20s	0,006	-0,008
4421-240	Czepos	5s	0,012	-0,016
	TopNet	5s	0,011	0,015
	Czepos	20s	0,008	-0,011
	TopNet	20s	0,007	0,010
4301-216.1	Czepos	5s	0,001	0,001
	TopNet	5s	0,004	0,007
	Czepos	20s	0,001	0,001
	TopNet	20s	0,003	0,005

Tab. 17- Charakteristiky vnitřní přesnosti výškových odchylek pro všechny body

U měření krátkých observací poskytují obě sítě vysokou přesnost určení prostorové polohy. Polohová složka je pro každý bod rozdílná, body s nezastíněným obzorem mají střední chybu kolem jednoho centimetru a body se zastíněným obzorem do dvou centimetrů. Dokonce i 5s a 20s měření jsou srovnatelná a u každého bodu různě velká. Z výsledků měření lze tedy prohlásit, že 5 s a 20 s měření dosahují přibližně stejně přesných výsledků. Pro jednoznačné určení by bylo potřeba zaměřit větší množství bodů, aby mělo měření větší vypovídací váhu.

7. ZÁVĚR

Účelem této diplomové práce bylo zhodnotit přesnost metody RTK při příjmu korekcí na dva různé poskytovatele Czepos a TopNet pro vybrané body v městské zástavbě na území města Brna. Součástí práce bylo také měření na pilíři po dobu 24 hodin.

V první fázi jsem provedl veškerá měření. Nejprve na jihozápadním pilíři terasy budovy B, FAST VUT v Brně. Zvolenou službou byla virtuální referenční stanice, jejíž příjem korekcí byl NVR3 pro TopNet a VRS3-MAX-GG pro Czepos. Observace trvala 24 hodin s krokem záznamu po jedné vteřině a měřilo se dvěma aparaturami na družice GPS a GLONASS s použitím jedné antény. Současný příjem korekcí od Czepos a TopNet zajišťovala speciální rozdvojka připevněná k anténě měřící aparatury. Dále bylo v rámci této práce realizováno měření pětisekundových a dvacetisekundových observací na vybraných bodech v městské zástavbě. Nejprve jsem vybral pět bodů, u nichž byla dobrá dostupnost, a překážky v blízkosti bodů výrazně nezakrývaly obzor. Jedná se tedy o zhušťovací body 4421-262 na Konečného náměstí, 4421-265 v Lužáneckém parku, 4421-240 na křižovatce ulic Tábor a Hradecká a zajišťovací body 4422-201.1 na Moravském náměstí a 4301-216.1 v parku Kraví hora. Aparaturu jsem stavěl nad bod na stativ, abych tím vyloučil vliv opakované centrace a anténa byla po celou dobu měření v klidu. Nastavené korekce byly stejné jako u předešlého měření, tedy VRS3-MAX-GG pro Czepos a NVR3 pro TopNet. Následně jsem provedl pětisekundové a poté dvacetisekundové observace pro jednotlivé poskytovatele. Součástí měření bylo zaznamenání doby fixace, tedy okamžiku odeslání požadavku na příjem korekcí až po úspěšnou fixaci.

V druhé fázi jsem zpracovával a porovnával měření. Zpracování jsem provedl v programu Leica Geo Office 8.2, kam jsem naimportoval surová data z měření a vyprodukoval z něj soubor se souřadnicemi, výškami a dalšími informacemi o měřených bodech. V programu jsem provedl i transformaci mezi systémy ETRS89 v realizaci ETRF2000, v němž bylo měření provedeno, a S-JTSK, v němž jsem prováděl následné porovnání souřadnic. Pro transformaci jsem použil aktuálně platný globální transformační klíč CZ_JT13. Výpočet odchylek měření, středních chyb jednotlivých souřadnic a výšek a středních souřadnicových chyb jsem provedl v programu Microsoft Office Excel 2007. U 24 hodinového měření na pilíři jsem zkoumal možné zlepšení výsledků od průměrné hodnoty nejprve zprůměrováním hodnot po 5 sekundách a následně po 20 sekundách. U některých bodů byla 3D kvalita kolem 0,5 m i přes to, že jsem odfiltroval nezafixovaná

měření. To bylo způsobeno tím, že aparatura i takovéto body označila za zafixované, i když evidentně nebyly. Vyloučil jsem tedy navíc všechna měření, jejichž 3D kvalita byla horší jak 0,12 m a následně jsem opět provedl zprůměrování hodnot po 5 s a 20 s. Tuto hodnotu jsem zvolil proto, že předpokládaná střídání chyba jednoho měření je uváděna jako 0,039 m a trojnásobek této chyby představuje přibližně 99% podíl naměřených hodnot ležících právě v hodnotě 0,12 m. U druhého měření jsem vyhodnocoval a navzájem porovnával 5 s a 20 s kroky měření u Czepos a TopNet. Provedl jsem výpočet odchylek, středních chyb a středních souřadnicových chyb jak od skutečné hodnoty získané v geodetických údajích o bodech (vnější přesnost měření), tak od průměrné hodnoty měření (vnitřní přesnost).

Střední chyba 24 hodinového měření na JZ pilíři byla v přibližně půl centimetru v horizontální složce a ve výškové kolem jednoho centimetru. Vyloučením odlehlých měření, jejichž 3D kvalita byla horší jak 0,12 m a vytvořením průměrů měření jsem výrazně limitoval velikost odchylek od průměru a docílil tím téměř dvojnásobně přesného výsledku měření. U měření krátkých observací nelze jednoznačně říci, které měření bylo polohově i výškově přesnější, jestli 5 s nebo 20 s u obou poskytovatelů. Body s nezakrytým obzorem mají vnější střední chybu v poloze kolem jednoho centimetru a i doba fixace trvala zpravidla méně času než u bodů se zastíněným obzorem, které mají střední chybu v poloze do dvou centimetrů. Střední chyba ve výšce je do pěti centimetrů pro všechny body u obou poskytovatelů. Pro vnitřní přesnost měření vyšla střední chyba převážně do tří milimetrů v poloze a kolem jednoho centimetru ve výšce jak u sítě Czepos, tak u sítě TopNet. Takto vysoká přesnost mohla být způsobena tím, že měření probíhalo těsně po sobě za téměř shodné konfiguraci družic a shodných podmínkách měření. Měření bylo tedy zatíženo stejnými systematickými vlivy.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení*. Brno: VUT, 2007
- [2] Český kosmický portál. [online]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/>
- [3] Land Management. [online]. Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=87>
- [4] ESA Navipedia. [online]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page
- [5] United States Coast Quard Navigation Center. [online]. Dostupné z: <http://www.navcen.uscg.gov/>
- [6] GPS. [online]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- [7] Information analitical centre of GLONASS and GPS controlling. [online]. Dostupné z: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/>
- [8] ESA Navipedia. [online]. Dostupné z: <http://www.navipedia.net/index.php/Category:GLONASS>
- [9] Zeměměřický úřad. [online]. Dostupné z: <http://czepos.cuzk.cz/>
- [10] LEICA GEOSYSTEMS. *Networked Reference Stations: Take it to the MAX*. Heerbrugg: Switzerland, 2005.
- [12] MACHOTKA, Radovan a Jan FIXEL. *Geodetická astronomie a kosmická geodézie II*. Brno: VUT, 2007.
- [13] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica GPS1200 Series: High performance GNSS System*. Heerbrugg: Switzerland, 2006.
- [14] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica GPS1200 Series: Equipment List*. Heerbrugg: Switzerland, 2005.
- [15] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica GPS1200 Series: Technical Data*. Heerbrugg: Switzerland, 2005.

9. ZDROJE OBRÁZKŮ

- [16] <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [17] http://www.navipedia.net/images/0/04/GLONASS_GroundSegment.JPG
- [18] <http://czepos.cuzk.cz/>
- [19] <http://smartnetaus.com/home/index.php?q=node/38>
- [20] <http://topnet.geodis.cz/topnet/>
- [21] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení*. Brno: VUT, 2007
- [22] <http://ruggedbits.wordpress.com/2007/10/19/waas-egnos-rtcm-rtk-and-a-sea-of-acronyms/>
- [23] http://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_%28GPS%29

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1- Řídící a kontrolní segment GPS [16]	11
Obr. 2- Řídící a kontrolní segment GLONASS [17]	12
Obr. 3- Rozmístění referenčních stanic CZEPOS [18].....	13
Obr. 4- Princip MAC [19].....	16
Obr. 5- Rozmístění referenčních stanic TopNET [20]	17
Obr. 6- Jednoduché, dvojité a trojitě difference [21]	23
Obr. 7- Princip metody DGNS [21].....	23
Obr. 8- Princip metody RTK [22].....	24
Obr. 9- Vliv konfigurace družic na polohovou přesnost [23].....	25
Obr. 10- Lokalita měření	26
Obr. 11- Leica System 1200	27
Obr. 12- Měření statickou metodou na pilíři	29
Obr. 13- Měření metodou RTK na bodě 4301-216.1	30
Obr. 14- Zákryt obzoru na jednotlivých bodech.....	31
Tab. 1- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek.....	36
Tab. 2- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro 5s a 20s průměry	36
Obr. 15- Grafy polohové přesnosti sítě CzePOS (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)	37
Obr. 16- Grafy polohové přesnosti sítě TopNet (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry)	37
Tab. 3- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek, 3D kvalita do 0,12 m	38
Tab. 4- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro 5s a 20s průměry, 3D kvalita do 0,12 m	38
Obr. 17- Grafy polohové přesnosti CzePOS, 3D kvalita do 0,12 m (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry).....	38
Obr. 18 - Grafy polohové přesnosti TopNet, 3D kvalita do 0,12 m (všechna měření, 5s průměry, 20s průměry).....	39
Tab. 5- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-262	40
Obr. 19- Graf vzájemné polohy bodů 5s a 20s měření, 4421-262.....	40
Tab. 6- Další parametry pro bod 4421-262.....	41
Tab. 7- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4422-201.1	41
Obr. 20- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4422-201.1	41

Tab. 8- Další parametry pro bod 4422-201.1.....	42
Tab. 9- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-265	42
Obr. 21- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4421-265.....	42
Tab. 10- Další parametry pro bod 4421-265.....	42
Tab. 11- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4421-240	43
Obr. 22- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4421-240.....	43
Tab. 12- Další parametry pro bod 4421-265.....	43
Tab. 13- Charakteristiky přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro bod 4301-216.1	44
Obr. 23- Graf vzájemné polohy bodů u 5s a 20s měření, 4301-216.1	44
Tab. 14- Další parametry pro bod 4421-265.....	44
Tab. 15- Charakteristiky vnitřní přesnosti vyhodnocovacích odchylek pro všechny body .	45
Tab. 16- Charakteristiky přesnosti výškových odchylek pro všechny body	46
Obr. 24- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-262	47
Obr. 25- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4422-201.1	47
Obr. 26- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-265	47
Obr. 27- Graf odchylek výšek u 5s a 20s měření, 4421-240	48
Obr. 28- Graf odchylek výšek u 20s měření, 4301-216.1.....	48
Tab. 17- Charakteristiky vnitřní přesnosti výškových odchylek pro všechny body.....	49

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

S-JTSK	- Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	- Balt po vyrovnání
DOP	- Dilution of Precision
ETRS89	- European Terrestrial Reference System 1989
ETRF2000	- European Terrestrial Reference Frame 2000
ČÚZK	- Český úřad zeměměřický a katastrální
ppm	- parts per million
GPS	- Global Positioning System
GNSS	- Global Navigation Satellite System
RTK	- Real time kinematic
DGPS	- Differential Global Positioning System
GLONASS	- Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema

12. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Data měření na piliři – Czepos	(elektronicky)
Příloha č. 2: Data měření na piliři – TopNET	(elektronicky)
Příloha č. 3: Data měření krátkých observací	(elektronicky)
Příloha č. 4: Grafy vnitřní polohové přesnosti	(tištěná, elektronicky)
Příloha č. 5: Grafy vnitřní výškové přesnosti	(tištěná, elektronicky)
Příloha č. 6: Místopisy bodů ZhB	(elektronicky)