

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**OVĚŘENÍ STABILITY A MONITORING
REFERENČNÍ GNSS STANICE**

Bakalářská práce

Šárka VYMĚTALÍKOVÁ

Vedoucí práce RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ, Ph.D.

Olomouc 2016
Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá monitorováním nově vzniklé GNSS referenční stanice UPOL ve vlastnictví Univerzity Palackého v Olomouci. Referenční stanice UPOL je součástí sítě permanentních stanic VESOG a je začleněna v projektu CzechGEO.

V práci je ověřována stabilita souřadnic stanice a přesnost korekčních dat ve vztahu k vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice. Je ověřen také vliv meteorologických prvků na přesnost výsledků měření.

V teoretické části jsou popsány metody relativního určování polohy a faktory, které by mohly ovlivnit přesnost výsledků měření. Je zahrnuta i rešeršní část pojednávající převážně o závěrečných pracích studentů vysokých škol, kteří se zabývali řešenou problematikou.

Praktická část popisuje jednotlivé postupy, které vedly k ověření zadaných cílů. Na základě realizovaných měřických kampaní, při kterých byly využity velmi přesné geodetické přijímače a běžně používané metody relativního určování polohy (statická metoda a RTK metoda) v geodetické praxi, byly vypočítány charakteristiky přesnosti. Jednotlivé cíle bakalářské práce jsou zhodnoceny statistickými metodami.

KLÍČOVÁ SLOVA

GNSS; referenční stanice; síť referenčních stanic; RTK metoda; statická metoda

Počet stran práce: 51

Počet příloh: 8 (z toho 6 vázaných a 2 volné)

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the topic of monitoring of newly formed reference station UPOL, owned by Palacky University in Olomouc. The reference station UPOL belongs to reference stations network named VESOG and additionally, it is integrated in CzechGEO project.

Firstly, there is verified stability of station coordinates and secondly, relation between accuracy of corrections and reference station distance from the measurement point is investigated. In addition to that, the impact of meteorological conditions on accuracy of the measurement results is verified.

Theoretical goals include a detailed review of publications focusing on the main issue this thesis is dealing with and introduction to different methods of relative positioning and factors that could affect the accuracy of the measurement results as well.

In practical part are presented procedures leading to verify of established goals. In thesis are calculated accuracy characteristics which are based on completed surveying campaigns using fast static and RTK-method. These methods are commonly used for geodetic purposes. Finally, particular results are statistically evaluated.

KEYWORDS

GNSS, reference station, network of reference stations, RTK method, static method

Number of pages: 51

Number of appendixes: 8

Čestně prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu,
- jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Šárka VYMĚTALÍKOVÁ

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce RNDr. Jakubu Miřijovskému, Ph.D. za odborné vedení, za vstřícnost při konzultacích a za pomoc a poskytnuté rady při zpracování této práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 11 |
| ÚVOD | 12 |
| 1 CÍLE PRÁCE | 13 |
| 2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ | 14 |
| 2.1 Použité metody | 14 |
| 2.2 Použitá data | 15 |
| 2.3 Použité přístroje | 15 |
| 2.4 Použité programy | 16 |
| 2.5 Postup zpracování | 17 |
| 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY | 18 |
| 3.1 GNSS měření v geodézii | 18 |
| 3.1.1 Metody | 18 |
| 3.1.2 Sítě referenčních stanic | 19 |
| 3.1.3 Faktory ovlivňující přesnost GNSS | 20 |
| 3.2 Stav literatury | 22 |
| 4 REFERENČNÍ STANICE UPOL | 25 |
| 4.1 Určení souřadnic | 25 |
| 4.2 Vybavení | 26 |
| 4.2.1 Přijímač a anténa | 26 |
| 4.2.2 Meteorologické vybavení | 27 |
| 4.2.3 Ostatní | 28 |
| 4.3 VESOG | 28 |
| 4.4 CzechGeo | 30 |
| 5 PŘÍPRAVA MĚŘICKÉ KAMPANĚ | 31 |
| 5.1 Výběr bodů | 31 |
| 5.1.1 Trigonometrické body | 31 |
| 5.1.2 Body s vlastní stabilizací | 32 |
| 5.2 Plánování měření | 33 |
| 5.2.1 Doba měření | 33 |
| 5.2.2 Meteorologické podmínky | 33 |
| 6 MĚŘICKÁ KAMPAŇ | 35 |
| 6.1 Ověření přesnosti přenášených dat | 35 |
| 6.1.1 RTK metoda | 35 |
| 6.1.2 Statická metoda | 35 |
| 6.2 Ověření vlivu meteorologických prvků | 35 |
| 6.3 Ověření stability souřadnic | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7 | ZPRACOVÁNÍ DAT | 37 |
| 7.1 | Surová data..... | 37 |
| 7.2 | Početni zpracování..... | 37 |
| 7.2.1 | Charakteristiky hodnocení přesnosti..... | 38 |
| 8 | VÝSLEDKY..... | 40 |
| 8.1 | Hodnocení přesnosti | 40 |
| 8.1.1 | Hodnocení měřických dvojic | 40 |
| 8.1.2 | Hodnocení vzhledem k referenčním datům | 41 |
| 8.1.3 | Hodnocení vlivu vzdálenosti..... | 43 |
| 8.2 | Hodnocení vlivu meteorologických prvků | 45 |
| 8.2.1 | Hodnocení měřických dvojic a trojic | 46 |
| 8.2.2 | Hodnocení vzhledem k referenčním datům | 46 |
| 8.3 | Hodnocení stability souřadnic | 48 |
| 9 | DISKUZE | 49 |
| | ZÁVĚR | 50 |
| | POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE | |
| | PŘÍLOHY | |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| Zkratka | Význam |
|----------------|---|
| CZEPOS | Síť permanentních stanic GNSS České republiky |
| DOP | Dilution of Precision |
| EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution |
| EPN | EUREF Permanent Network |
| EPOS | European Plate Observing System |
| EPOSA | Echtzeit Positionierung Austria |
| EPSG | Geodetic Parameter Set |
| ETRF2000 | European Terrestrial Reference Frame 2000 |
| ETRS89 | European Terrestrial Reference System 1989 |
| GEONAS | GEodynamic Network of the Academy of Sciences of the CR |
| GLONASS | Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistéma |
| GNSS | Global Navigation Satellite System |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GPS | Global Positioning System |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| HSPA+ | Evolved High Speed Packet Access |
| IGS | International GNSS Service |
| IP | Internet Protocol |
| NMEA | National Marine Electronics Association |
| NTRIP | Networked Transport of RTCM via Internet Protocol |
| OTF | On-the-fly |
| PDOP | Position Dilution of Precision |
| PPBP | Podrobné polohové bodové pole |
| QZSS | Quasi-Zenith Satellite System |
| RINEX | Receiver Independent Exchange Format |
| RTCM | Radio Technical Commission for Maritime Services |
| RTK | Real Time Kinematic |
| S-JTSK | Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální |
| SIM | Subscriber Identity Module |
| TEC | Total Electron Content |
| UHF | Ultra-high frequency |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| VESOG | Výzkumná experimentální síť pro observace s GNSS |
| VRS | Virtuální referenční stanice |
| VÚGTK | Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický |
| WGS84 | World Geodetic System 1984 |
| ZPBP | Základní polohové bodové pole |
| ZÚ | Zeměměřický úřad |

ÚVOD

Moderní technologie určování polohy prostřednictvím GNSS (Global Navigation Satellite System) nacházejí v oblasti geodézie stále širší uplatnění a klasické geodetické metody pomalu ustupují do pozadí. Přesnost měření se stále zlepšuje díky vývoji nových přijímacích aparatur a rozšiřování globálních polohových navigačních systémů. Geodetická praxe požaduje vysoké nároky na přesnost a efektivitu měření. Toho lze dosáhnout metodami relativního určování polohy, které spočívají v simultánní observaci dvou měřických GNSS aparatur. Jedna z těchto aparatur se známými souřadnicemi (referenční stanice) je zdrojem korekcí pro druhou měřickou aparaturu. Programové vybavení referenční stanice umožňuje sledovat současně všechny viditelné družice a počítat pro ně korekční data.

V začátcích vývoje této techniky bylo možné získat výsledky měření s využitím korekcí pouze dodatečně (postprocessing). Tento způsob určování polohy se jevil natolik efektivní, že byl rozšířen o příjem dat i v reálném čase prostřednictvím zabudovaných komunikačních kanálů v přijímačích. To umožnilo využívat relativní určování polohy i pro účely navigace. Prudký rozmach byl zaznamenán především v lodní dopravě. Postupně se začaly budovat služby podél pobřeží, které zajišťovaly provoz jednotlivých referenčních stanic, které později byly propojovány do sítí. Časem bylo zajištěno nepřetržité a veřejné vysílání korekčních údajů, sítě referenčních stanic se rozšiřovaly směrem do vnitrozemí a škála využitelnosti se rapidně rozrůstala.

V ČR byl první provoz experimentální referenční stanice spuštěn v 90. letech minulého století. V současné době na území ČR existuje šest sítí referenčních stanic. Tři z nich pokrývají celé území státu, díky čemuž jsou schopny zajistit uživatelům nejmodernější služby s centimetrovou přesností v reálném čase. Nově budované referenční stanice v sítích přispívají k dalšímu zlepšování přesnosti výsledků měření. Avšak je vhodné před zapojením stanice do sítě ověřit její správnou funkčnost, ověřit přesnost produkovaných dat a ujistit se stabilitou určených souřadnic.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověřit stabilitu a monitorovat důležité parametry nově vzniklé GNSS referenční stanice ve vlastnictví Univerzity Palackého v Olomouci. Jednotlivými cíli ze zadání jsou:

- určit kvalitu souřadnic referenční stanice ve vztahu k národní realizaci souřadnicového systému ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989),
- ověřit stabilitu souřadnic referenční stanice z časových řad,
- ověřit dostupnost přenášených dat,
- ověřit vliv meteorologických prvků na přesnost měření.

V průběhu práce byly některé cíle upraveny nebo rozšířeny. Cíl určit kvalitu souřadnic referenční stanice ve vztahu k národní realizaci souřadnicového systému ETRS89 nebyl po domluvě s vedoucím bakalářské práce řešen. Důvodem je nezapojení referenční stanice UPOL do sítě EPN (EUREF Permanent Network), která monitoruje stabilitu jednotlivých referenčních stanic v čase.

Ověření stability referenční stanice z časových řad okrajově souvisí s předchozím bodem zadání. Protože geodetické aplikace vyžadují co nejpřesnější výsledky měření, je testování souřadnic v praxi přínosem. Stabilita souřadnic byla otestována realizací opakovaného určení souřadnic stanice ve spolupráci se společností Geotronics Praha, spol. s r.o.

Ověření dostupnosti přenášených dat bylo rozšířeno o ověření přesnosti. Tento bod zadání se zabývá především testováním RTK (Real Time Kinematic) metody. Dostupnost dat je splněna v tom případě, kdy je umožněn přenos korekcí, který je nejčastěji zprostředkován internetovým připojením a technologií NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Přesnost přenášených dat je testována ve vztahu ke vzdálenosti od referenční stanice, okrajově je také testována statická metoda. Výsledky jsou srovnávány s výsledky měření s využitím korekčních dat ze sítě referenčních stanic TopNET, která je běžně používána pro geodetické účely.

Ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost se zaměřuje především na dva meteorologické faktory, které by mohly nejrazantněji ovlivnit výslednou přesnost měření. Těmito faktory je relativní vlhkost vzduchu a stav geomagnetického pole Země. Oba tyto faktory způsobují v atmosféře určitou refrakci elektromagnetického záření vysílaného družicemi. Přesnost je testována statickou a RTK metodou za využití korekcí ze stanice UPOL a sítě TopNET.

Na základě monitoringu, testování přesnosti produkovaných korekčních dat a ověření stability souřadnic stanice UPOL lze rozhodnout o vhodnosti využití stanice pro přesné geodetické účely i za zhoršených meteorologických podmínek a o doporučení zapojení stanice do dalších sítí referenčních stanic.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

2.1 Použité metody

Statická metoda

Základní a nejpřesnější metoda využívaná v geodézii, která je založena na relativním určování polohy. Spočívá v kontinuální observaci současně dvěma přijímači po dobu několika hodin až v řádu několika dnů. Jedinou podmínkou realizace je zaručení přístupu signálu z družic na měřených bodech. Polohová přesnost metody je 3 až 5 milimetrů (Čábelka, 2008) a ovlivňuje ji především geometrická konfigurace družic, délka měřené základny a počet simultánně observovaných družic. Délku observace lze spočítat ze vztahu (Hoffman-Wellenhof a kol., 2001):

$$L1: 30 \text{ min} + 3 \text{ min/km} \quad (1)$$

$$L1 + L2: 20 \text{ min} + 2 \text{ min/km} \quad (2)$$

Statické relativní určení polohy vychází z jednofrekvenčního nebo dvoufrekvenčního měření fáze nosné vlny, při zpracování se využívají nejprve trojnásobné diference pro získání přibližných souřadnic, poté jsou zpracovávány dvojnásobné diference (Pisca, 2005). Statická metoda se využívá pro budování polohových základů, pro geodynamické výzkumy, při určování posunů a sledování tektonických pohybů bodů. Metoda je postprocesní.

Rychlá statická metoda

Ekonomičtější variantou statické metody je rychlá statická metoda, při které je doba observace zkrácena na dobu v řádech desítek minut. Zkrácení doby observace je umožněno použitím technik pro rychlé řešení ambiguit (např. metodou On-the-fly) využívajících současně zpracování fázových a kódových měření (Pisca, 2005). Výsledná přesnost je závislá především na dostatečném počtu observovaných družic a na jejich konfiguraci. Délku observace lze spočítat ze vztahu (Hoffman-Wellenhof a kol., 2001):

$$L1: 20 \text{ min} + 2 \text{ min/km} \quad (3)$$

$$L1 + L2: 10 \text{ min} + 1 \text{ min/km} \quad (4)$$

Tato metoda je používána pro budování podrobných polohových bodových polí a zhušťovacích bodů. Metoda je postprocesní.

RTK

Metoda RTK zažívá v posledních letech prudký vývoj a v současnosti je v praxi nejvíce užívanou GNSS metodou. Hlavní předností je získání korekčních dat v reálném čase s přesností, která je zcela dostačující pro většinu geodetických úloh. Polohová přesnost se pohybuje v rozmezí 3 až 5 centimetrů (Čábelka, 2008).

Principem metody je spojení referenční stanice a roveru v době měření. Rover přijímá v reálném čase kromě vlastních dat ze satelitů také korekční data produkovaná referenční stanicí. Po přijetí korekčních dat (chyb hodin a atmosféry) je rover schopen řešit ambiguitu v reálném čase prostřednictvím firmware přijímače metodou OTF (On-the-fly). V případě využití vlastní referenční stanice je využít radiový přenos korekcí pomocí odpovídajících si radiomodemů. Při využití služeb sítě referenčních stanic mohou být korekční data poskytnuta jednou referenční stanicí nebo virtuální stanicí, která je výsledkem síťového řešení více referenčních stanic. Nejpoužívanějším způsobem přenosu dat ze sítě je v současné době technologie NTRIP využívající přenos dat prostřednictvím internetu. Metoda RTK je uplatňována při určování souřadnic podrobných polohových

bodů, při vytyčování hranic parcel, v precizním zemědělství a v mnohých dalších aplikacích, které nevyžadují přesnost vyšší než v řádech několika centimetrů.

2.2 Použitá data

Většina dat byla získána vlastním měřením geodetickými GNSS přístroji (Trimble R4 a Topcon HiPer II). Měřená data byla zpracována diferenčními korekcemi pro postprocessing i pro RTK z dat referenční stanice UPOL. Srovnávacími daty pro RTK metodu jsou korekce ze sítě referenčních stanic TopNET, kterou provozuje společnost GB-geodezie, spol. s r. o. Tato data jsou zpoplatněna. Přístup k potřebným korekcím byl zajištěn vedoucím bakalářské práce.

Dalšími použitými daty byla data potřebná pro zajištění co nejoptimálnějších podmínek v době měření. Jednalo se o data popisující aktuální stav geomagnetického pole Země prostřednictvím planetárního Kp indexu, která jsou volně dostupná na internetových stránkách N3KL (Current solar data: NOAA data, 2001). Pro zpětné ověření byla použita data z archivu (Index of /sun/noaa_archive, 2001). Byl sledován také lokální K index pro území České republiky na internetových stránkách Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky (Předpověď geomagnetické aktivity, 2016). Meteorologická data byla získána z meteorologických čidel instalovaných na referenční stanici UPOL.

2.3 Použité přístroje

Vybavení referenční stanice UPOL je podrobně popsáno v kapitole 4. Sběr dat v terénu byl realizován geodetickými GNSS přístroji Trimble R4 a Topcon HiPer II.

R4

Větší část terénních dat v rámci bakalářské práce byla získána měřením geodetickým GNSS přijímačem R4, který je produktem americké firmy Trimble. Katedra geoinformatiky zakoupila dvě sady těchto přijímačů.

Přijímač R4 je vybaven dvoufrekvenční anténou se submilimetrovou stabilitou fázového centra zaručující přesné výsledky i v náročných podmínkách a integrovaným čipem Trimble Maxwell 6 umožňujícím zpracovat simultánně 220 kanálů současných i plánovaných GNSS systémů – GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema), Galileo, Beidou a QZSS (Quasi-Zenith Satellite System). Pokročilá technologie sledování družic Trimble R-Track kompenzuje přerušovaný signál a signál z družic s nízkou elevací a umožňuje pokračování přesného měření po přerušení RTK signálu. Přijímač obsahuje interní GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS/EDGE (General Packet Radio Service/Enhanced Data Rates for GSM Evolution) a UMTS/HSPA+(Universal Mobile Telecommunication System/Evolved High Speed Packet Access) modemy umožňující se připojit do sítě referenčních stanic skrze vloženou SIM (Subscriber Identity Module) kartu s datovými tarify. Přijímač lze nastavit i jako referenční stanici a prostřednictvím radiového UHF (Ultra-high frequency) modemu je schopen vysílat korekční data druhému přijímači nastaveného k příjmu korekcí. Součástí sady je kontrolér se softwarem Trimble Access. Technické parametry přijímače jsou shrnuty v Tab. 2.1.

HiPer II

Ke sběru menší části dat byl použit GNSS přijímač HiPer II, který je produktem japonské firmy Topcon. Katedra geoinformatiky vlastní dvě sady těchto přijímačů.

HiPer II je dvoufrekvenční přijímač vybavený 72 kanály schopných přijímat signály ze systémů GPS a GLONASS, zpracovává dálkoměrné kódy i fáze nosné vlny. Příjem RTK

korekcí ze sítě referenčních stanic je zprostředkován interním modemem GSM/GPRS a vloženou SIM kartou s datovými tarify. Přijímač je možno nastavit jako referenční stanici a vysílat korekční data prostřednictvím radiového UHF modemu. Součástí sady je kontrolér se softwarem TopSURV. Technické parametry přijímače jsou shrnuty v Tab. 2 1.

Tab. 2.1 Technické parametry přijímačů (upraveno podle: Trimble R8 GNSS and R6, R4 and 5800 Model 3 GPS Receivers User Guide, 2009; HiPer II Operator's Manual, 2010)

| Přijímač | | Trimble R4 | Topcon HiPer II |
|---------------------------|---------|--|---|
| Sledování satelitů | | | |
| Počet kanálů | | 220 | 72 |
| Sledované signály | GPS | L1 C/A, L1C, L2C, L2E | L1 C/A, L1/L2 P-kód, L2C |
| | GLONASS | L1 C/A, L1 P-kód, L2 C/A, L2 P-kód, L3 | L1 C/A, L1/L2 P-kód |
| | Galileo | E1, E5A, E5B | - |
| | BeiDou | B1, B2 | - |
| | SBAS | QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN | WAAS, EGNOS, MSAS |
| Polohová přesnost | | | |
| Statická metoda | | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm |
| Rychlá statická metoda | | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm |
| RTK | | H: 8 mm + 1 ppm V: 15 mm + 1 ppm | H: 10 mm + 1 ppm V: 15 mm + 1 ppm |
| DGNSS | | H: 0,25 m + 1 ppm V: 0,50 m + 1 ppm | < 0,5 m |
| RTK | | | |
| Formát korekcí | | RTCM ver 2.3, 3.0, 3.1 CMR+, CMRx | RTCM ver 2.2, 2.3, 3.0, 3.1 CMR2, CMR+ |
| Řešení ambiguit | | OTF | OTF |
| Doba inicializace | | < 8 s | < 15 s |

2.4 Použité programy

Pro zajištění co nejoptimálnějších podmínek při měření probíhalo před každým měřením jeho plánování v online softwaru Trimble Planning verze 2.4.6022 od společnosti Trimble (GNSS Planning Online, 2016). V terénu byl sběr dat realizován prostřednictvím softwaru Trimble Acces verze 2013.30 (přijímač R4) a Topcon TopSURV 8 (přijímač HiPer II).

Pro postprocesní zpracování dat naměřených přijímačem R4 byl použit software Trimble Business Center verze 3.61 a pro data z přijímače HiPer II speciální kancelářský balík Topcon Tools verze 8.2.3. Početní zpracování, tvorba grafů a tabulek byla zpracována v Microsoft Excel 2013.

2.5 Postup zpracování

Po nastudování teoretických materiálů a po domluvě s vedoucím bakalářské práce byl navržen postup zpracování jednotlivých bodů v zadání. V rámci každého cíle bylo potřeba zrealizovat měřickou kampaň. Před měřickou kampaní bylo potřeba rozhodnout o těchto krocích zpracování:

- výběr bodů – počet, lokalita,
- metoda – volba konkrétní metody, délka observace, nastavení elevační masky,
- korekční data – zajištění přístupu k datům.

Každé měření pro ověření přesnosti produkovaných dat UPOL a vlivu meteorologických prvků na přesnost bylo plánováno ve speciálním programu pro zajištění optimálních podmínek v době měření. Po realizaci měřických kampaní následovaly tyto kroky:

- zpracování surových dat – postprocessing,
- početní a statistické vyhodnocení.

Ověření stability souřadnic UPOL bylo realizováno ve spolupráci se společností Geotronics Praha, spol. s r.o. Data měřená statickou metodou byla předána této společnosti, která provedla postprocessing. Výsledky byly poté podrobeny statistickému vyhodnocení v této bakalářské práci.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 GNSS měření v geodézii

3.1.1 Metody

Určit polohu bodu pomocí GNSS lze různými metodami. Podle způsobu určování polohy se dělí metody na absolutní a relativní (Rapant, 2002; Pisca, 2005; Švábenský a kol., 2007). Oblast geodézie požaduje vysokou přesnost, proto se pro tyto účely využívá relativní určení polohy a nejčastěji fázové měření.

Absolutní metody určení polohy

Absolutní určování polohy je založeno na měření jedním přijímačem, vzdálenost družice od přijímače je určena pomocí pseudovzdáleností získaných kódovými měřeními. Kódová měření spočívají v určení časového rozdílu mezi okamžikem vyslání elektromagnetické vlny družicí a okamžikem přijetí této vlny přijímačem. Určení polohy zjišťovaného bodu vyžaduje výpočet pseudovzdáleností minimálně ke čtyřem družicím – jsou počítány neznámé souřadnice polohy přijímače X, Y, a Z a časový posun hodin přijímače ΔT vůči systémovému času (Rapant, 2002). Souřadnice jsou určeny v geocentrickém souřadnicovém systému WGS84 (World Geodetic System 1984) přímo v průběhu měření (Čábelka, 2008). Přesnost nominálních pseudovzdáleností je pro C/A kód 4,6 m a pro P kód 0,46 m, ale výsledky měření jsou zatíženy i dalšími chybami, proto výsledná přesnost určení absolutní polohy činí pro C/A kód 10 až 15 metrů a pro P kód 6 m (Sedlák a kol., 2009). Absolutní určování polohy se uplatňuje především v navigaci. Samostatně je tato metoda pro geodetické účely nevyhovující.

Relativní metody určení polohy

Relativní určování polohy je založeno na současné observaci dvou a více přijímacích GNSS aparatur. Souřadnice měřených bodů se určují vzhledem k poloze referenčního bodu přijímače, jehož geocentrické souřadnice jsou známé, tento přijímač je označován jako base a je zdrojem korekčních dat pro druhý přijímač označovaný rover. Vzdálenost družice od přijímače je určena pomocí fázových měření, v případě metod využívající k řešení ambiguit metodu OTF i pomocí kódových měření.

Fázová měření jsou založena na zpracování vlastní nosné vlny signálu. Přijímač počítá počet vlnových délek vyskytujících se mezi družicí a přijímačem. Desetinnou část vlnové délky nosné vlny je přijímač schopen určit relativně přesně a v krátkém časovém intervalu. Určení počtu celých vlnových délek nosné vlny vykazuje určitou nejednoznačnost tzv. ambiguit. K vyřešení této celočíselné nejednoznačnosti byla vypracována celá řada postupů s možností postprocesního řešení, tak i v reálném čase. Nejpoužívanější metodou je metoda OTF, která vyžaduje vysoké nároky na hardwarové i softwarové vybavení přijímače (Sedlák a kol., 2009). Princip metody spočívá ve vymezení prostoru pomocí kódových měření nejlépe na obou frekvencích, ve kterém se testují kombinace ambiguit fázových měření s tím, že se stanoví ta, která vede k nejmenší disperzi (Pisca, 2005).

Po prvotním určení celočíselné nejednoznačnosti přijímač udržuje její hodnotu a k ní přičítá nebo odečítá celý počet vlnových délek, o které se změnila původní poloha, a dále desetinnou část vlnové délky. Při ztrátě signálu dojde k tzv. fázovému skoku a přijímač musí začít nový cyklus od určení počáteční celočíselné nejednoznačnosti. Přesnost fázového měření bez uvážení ostatních vlivů se pohybuje v řádech milimetrů, a proto je tato metoda vhodná pro geodetické účely. Podle účelu a požadované přesnosti lze využít

několik metod relativního určování polohy. Přehled metod a jejich přesnost uvádí Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Přehled metod relativního určování polohy (upraveno podle: Čábelka, 2008)

| Metoda | Vyhodnocení | Polohová přesnost |
|-----------------|--------------------|--------------------------|
| Statická | postprocessing | 3–5 mm |
| Rychlá statická | postprocessing | 5–10 mm + 1 ppm |
| Stop and Go | postprocessing | 10–20 mm + 1 ppm |
| Kinematická | postprocessing | 20–30 mm + 3 ppm |
| RTK | v reálném čase | 30–50 mm |

3.1.2 Sítě referenčních stanic

Pro efektivní využívání relativního určování polohy jsou budovány referenční stanice, které lze vzájemně propojit do sítě. Referenční stanice je GNSS přijímač na bodě o známých souřadnicích, jehož softwarové vybavení umožňuje sledovat všechny viditelné družice a počítat pro ně korekce. V síti referenčních stanic jsou korekce uživatelům distribuovány nejčastěji prostřednictvím internetu technologií NTRIP. Každá síť referenčních stanic obsahuje operační centrum. Mezi jeho úkoly patří kontrola, přeformátování, uložení a distribuce dat uživatelům.

Podle metody vyhodnocování si uživatel volí požadovanou službu. V případě výpočtu polohy po skončení měření (postprocessing) se zpracují měřená data ve speciálním softwaru společně s korekčními daty pro zadaný interval měření ve standardním formátu RINEX (Receiver Independent Exchange Format), a to buď ze zvolené referenční stanice nebo z virtuální stanice o zadaných souřadnicích.

V případě určení polohy v reálném čase si uživatel zvolí RTK korekce. Zdrojem korekcí ze sítě referenčních stanic mohou být data z jedné referenční stanice nebo síťového řešení vypočítaného z více referenčních stanic. V případě použití korekcí z jedné stanice, si lze vybrat konkrétní stanici nebo je automaticky přiřazena stanice nejbližší k místu měření. V tomto případě rover odesílá normalizovanou zprávu podle standardu NMEA (National Marine Electronics Association) o své poloze (Láska a kol., 2010). Mezi síťové služby patří VRS (Virtuální referenční stanice) a plošné korekce. Tyto služby požadují také informaci o poloze rover stanice. Virtuální referenční stanice je generována v blízkosti měřeného bodu (maximálně 5 km od něj a směrem k nejbližší reálné stanici). Korekcemi plošnými jsou korekce z nejbližší referenční stanice, které jsou opraveny o síťové řešení.

Využívání služeb sítí referenčních stanic je pro uživatele ekonomicky výhodné. Uživateli odpadá nutnost zřízení vlastní referenční stanice, a tím i náklady spojené s jejím provozem. Uživatel není omezen vzdáleností od referenční stanice a jsou zaručeny homogenní výsledky v rozsáhlém území.

Podle počtu a rozmístění referenčních stanic v síti mohou být dostupné jen některé z uvedených služeb. Na území ČR se nacházejí tři GNSS sítě referenčních stanic, které pokrývají celé území státu: CZEPOS (Síť permanentních stanic GNSS České republiky), TopNET, VRS Now Czech. Dalšími sítěmi jsou: VESOG (Výzkumná experimentální síť pro observace s GNSS), GEONAS (GEOdynamic Network of the Academy of Sciences of the CR) a by/S@T. Podrobněji budou popsány sítě, jejichž korekční data byla použita pro tuto práci. Síť VESOG je popsána v kapitole 4.3.

TopNET

V síti, kterou provozuje firma GB-geodezie, spol. s r.o., je zapojeno 32 stanic na území ČR a tři stanice rakouské sítě EPOSA (Echtzeit Positionierung Austria). Průměrná vzdálenost jednotlivých stanic od sebe je 55 km, všechny stanice přijímají signály ze systému GPS a GLONASS (O síti TopNET, 2012). Síť poskytuje tyto služby:

- data pro postprocessing – ve formátu RINEX 2.10,
- RTK korekce – z jednotlivých nebo virtuálních stanic ve formátech RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) 2.3 a RTCM 3.0,
- DGNS korekce.

Souřadnice stanic byly určeny VÚGTK (Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický) v systému ETRS89 v rámci realizace ETRF2000 (European Terrestrial Reference Frame 2000) v roce 2012. Stabilita souřadnic je monitorována v Kampani CZECH Ústavem struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR.

Trimble VRS Now Czech

Správu sítě zajišťuje společnost Geotronics Praha, spol. s r.o. Na území ČR je rozmístěno 29 referenčních stanic, pro zajištění kvalitního pokrytí pohraničních částí ČR jsou navíc do sítě dodávána data z 10 stanic v Německu a Rakousku. Souřadnice stanic byly určeny statickým měření s využitím korekčních dat sítě CZEPOS. Tímto je zajištěna vzájemná homogenita těchto sítí. Stanice přijímají signály ze systémů GPS a GLONASS (O síti, 2016). Síť je zapojena do Kampaně CZECH a poskytuje korekční data pro postprocessing, RTK a DGNS.

3.1.3 Faktory ovlivňující přesnost GNSS

Řada faktorů ovlivňuje vysílání, šíření a příjem signálu mezi družicí a přijímačem. Dle Švábenského a kol. (2007) lze systematické faktory dělit na:

- umělé ovlivňování kvality signálu,
- chyby související s družicemi,
- chyby při šíření signálu atmosférou,
- chyby související s přijímačem,
- chyby související s místem měření a postavením antény.

Přehled jednotlivých chyb uvádí Tab. 3.2.

Tab. 3.2 Zdroje systematických chyb (zpracováno podle: Švábenský a kol., 2007; Pisca, 2005)

| Zdroj chyby | Chybové vlivy |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Umělé ovlivňování kvality signálu | selektivní dostupnost |
| | anti-spoofing |
| Družice | stav družice |
| | přesnost určení efemerid |
| | chyba hodin na družici |
| | nepřesná poloha fázového centra |
| | konfigurace družic |

| | |
|--------------|---|
| Atmosféra | ionosférická refrakce |
| | troposférická refrakce |
| | poměr signál/šum |
| Přijímač | chyba hodin přijímače |
| | nepřesné určení fázových center přijímače |
| Místo měření | vícecestné šíření signálu |
| | centrace přijímače |
| | odměření výšky antény |

Metody relativního určování polohy jsou obecně zatíženy systematickými chybami méně než metody absolutní. V následujícím textu budou podrobněji popsány vlivy, které může měřič eliminovat.

Konfigurace družic

Špatná konfigurace družic v době měření může mít zásadní vliv na přesnost určení polohy. Ideální rozmístění čtyř družic je jedna družice v nadhlavníku a zbylé tři 15–20 ° nad obzorem a 120 ° od sebe (Rapant, 2002). Kvalitu geometrické konfigurace družic a přijímačů popisuje faktor snížení přesnosti DOP (Dilution of Precision). Všeobecně platí, že čím je tento bezrozměrný parametr menší, tím lze dosáhnout lepších výsledků. Snížení hodnoty parametru DOP prospívá co největší počet observovaných družic, které jsou od sebe co nejvíce vzdálené.

Nejčastěji používanou modifikací DOP je polohový PDOP (Position Dilution of Precision), který zahrnuje jak vertikální tak horizontální složku. Hodnoty PDOP menší než hodnota 4 znamenají vhodnou konfiguraci družic, hodnoty v rozsahu 5 až 7 akceptovatelné, zatímco hodnoty větší než 7 značí špatnou konfiguraci družic (Rapant, 2002). Hodnoty PDOP v době plánovaného měření lze zjistit pomocí speciálního programu pro plánování měření.

Ionosférická refrakce

Ionosféra je disperzní část atmosféry nacházející se ve výšce 50 až 1000 km od zemského povrchu (Láska a kol., 2010) obsahující volné elektrony a ionty, které způsobují ionosférickou refrakci. Hustota volných elektronů není v čase a v jednotlivých vrstvách ionosféry konstantní. Nejvyšší hustota volných elektronů se nachází ve výšce 250 až 400 km (Misra a Enge, 2011). Hustotu ovlivňuje 11letý sluneční cyklus, který naposled dosáhl svého vrcholu v roce 2010 (Misra a Enge, 2011), roční období i denní doba. V nočních hodinách je hustota volných elektronů nejnižší, svého vrcholu dosahuje kolem 14. hodiny lokálního času (Misra a Enge, 2011). Výrazný efekt na degradaci šíření radiových vln mají geomagnetické bouře, které jsou vyvolány zvýšenou intenzitou slunečního větru (proud jader helia, elektronů a protonů) po slunečních erupcích. Částice slunečního větru zvyšují počet kladně nabitých částic v ionosféře a hromadí se v oblastech magnetických pólů a způsobují poruchy geomagnetického pole Země. Stav ionosféry je charakterizován parametrem TEC (Total Electron Content).

Ionosférickou refrakci lze odstranit měřením na obou frekvencích vytvořením vhodné lineární kombinace L3 „ionosphere free“, zaváděním ionosférických korekcí z navigační zprávy (nejčastěji Klobucharův model simulující 11letý sluneční cyklus) nebo zaváděním

modelů ionosféry (Švábenský a kol., 2007). V praxi je v době měření sledována hodnota parametru K_p a K indexu popisujícího stav geomagnetického pole Země.

Troposférická refrakce

Troposféra je neutrální vrstva atmosféry sahající do výšky 10 až 18 km od povrchu Země (Láska a kol., 2010). Velikost troposférické refrakce je závislá na meteorologických veličinách jako je vlhkost, teplota a tlak (Pisca, 2005). Maximální chyba způsobená troposférickou refrakcí ve vertikálním směru může dosahovat hodnot 2,3 m, v případě příjmu signálu z družic letících nízko nad horizontem může být tato hodnota až desetkrát vyšší (Rapant, 2002; Misra a Enge, 2011). Nastavením vhodné elevační masky (10 až 15 °) může být vyloučen příjem signálu z nízko letících družic.

Troposférická refrakce není závislá na frekvenci nosné vlny, proto ji nelze eliminovat měřením na obou frekvencích. Pro krátké vektory se předpokládá vyloučení vlivu troposféry tvorbou diferencí. Další možností je použití standardního modelu atmosféry nebo výpočet parametrů troposféry z GNSS měření na známých bodech. (Láska a kol., 2010).

Místo měření

Do této kategorie jsou řazeny nejen vlivy působící v místě měření, ale také typ použitého přijímače, dovednost a preciznost měřiče.

3.2 Stav literatury

Teorii relativního určování polohy se zabývají ve svých dílech čeští autoři Čábelka (2008), Láska a kol. (2010), Rapant (2002), Řiha (2014), Švábenský a kol. (2007) a zahraniční autoři Hoffmann-Wellenhof (2001), Pisca (2005), Misra a Enge (2011), Sedlák a kol. (2009). Praktickým ověřováním různých metod a jejich přesností se zabývají především závěrečné práce studentů vysokých škol.

Na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci byl v závěrečných pracích studentů testován geodetický přijímač Topcon HiPer II, který byl použit v této práci. Katedra geoinformatiky vlastní dvě sady těchto přijímačů. Minařík (2013) ve své bakalářské práci *Hodnocení přesnosti GNSS přístrojů v závislosti na jejich konfiguraci* testoval obě tyto sady. Autor experimentálně stanovil nejkratší možnou dobu observace statické metody pro přesné určení polohy v délce nejméně 20 minut v dobrých observačních podmínkách. Testování byla podrobena i RTK metoda za použití korekcí ze sítě TopNET, z výsledků měření je doporučeno využívat vždy možnost VRS. V případě nevhodnosti nebo znemožnění využití této služby je alternativou vlastní referenční stanice vybavená UHF rádiem, prostřednictvím kterého je možnost přenosu korekcí s polohovou přesností okolo 1 cm až do vzdálenosti 3 km.

Přijímač Hiper II byl okrajově testován v bakalářské práci Uhrové (2012) *Sběr terénních dat v morfologicky náročném terénu*. Byla využita RTK metoda se službou VRS sítě TopNET, relativní přesnost činila 3 cm. Metoda se jevila neefektivně z důvodu hustého vegetačního krytu způsobujícího výpadky signálu.

Studenti stavební fakulty Českého vysokého učení technického v Praze se věnovali problematice relativního určení polohy v mnoha závěrečných pracích. Zhodnocením přesností výsledků měření GNSS metodami se zbýval Dvořák (2014) ve své diplomové práci *Testování GNSS aparatur Trimble GeoXR na etalonu VÚGTK Skalka*. Testoval statickou a RTK metodu v různých variantách za optimálních observačních podmínek. Ze statického měření vyplynulo, že kratší observace nemají příliš nižší přesnost než delší,

a proto jsou dostačující pro většinu geodetických aplikací (testována 20minutová, hodinová, 2hodinová a 6hodinová observace). Zlepšení přesnosti nepřineslo noční měření ani opakované provedení observace. Vyloučení družic GLONASS nevedlo k zhoršení ani k zlepšení výsledků. Přesnost při nastavení elevační masky 15° se jevila o něco vyšší než při nastavení 10° . Obecně se výsledné souřadnice ze statického měření oproti souřadnicím z terestrického měření lišily v horizontální rovině maximálně o 1 mm a ve vertikální o 3,5 mm. Z výsledků měření RTK metodou vyplynulo, že minutová observace nepřináší přesnější výsledky oproti 5sekundové observaci. Při použití korekčních dat ze sítě CZEPOS jsou výsledky přesnější než při využití korekčních dat ze sítě Trimble VRS Now Czech. Metody nebyly testovány za zhoršených podmínek.

Kovařík (2012) se ve své diplomové práci *Srovnání přesnosti měření GNSS v síti referenčních stanic* zabýval porovnáním tří GNSS aparatur (Leica Viva GNSS – přijímač Leica GS12, Topcon – přijímač Topcon GR-5, Trimble – přijímač Trimble R8 GNSS model 3) ve třech sítích referenčních stanic (CZEPOS, Trimble VRS Now Czech, TopNET). Z testovacího měření lze konstatovat, že všechny přijímače měří RTK metodou srovnatelně. Nebylo potvrzeno, zda při měření v síti referenčních stanic vybavených aparaturami stejného výrobce jsou zvýhodněni uživatelé s GNSS přijímačem téhož výrobce.

Vyhodnocením přesnosti výsledků GNSS měření metodou RTK v síti CZEPOS a stabilitou permanentních stanic se zabývala Vilímková (2006) ve své diplomové práci *Testování sítě CZEPOS*. Zjištěná přesnost dle vyhlášky vyhovovala přesnosti pro určování bodů podrobného polohového bodového pole (střední souřadnicová chyba $m_{x,y}$ 0,06 m) i pro určování zhušťovacích bodů (střední souřadnicová chyba $m_{x,y}$ 0,02 m). Testem stability permanentních stanic byla zjištěna konzistence jednotlivých stanic vůči sobě v horizontální rovině okolo 2 mm a ve vertikální okolo 5 mm.

Na Západočeské univerzitě v Plzni na fakultě aplikovaných věd se zabývalo několik závěrečných prací studentů metodami relativního určování polohy i stabilitou referenčních stanic.

Hejdová (2012) ve své bakalářské práci *Ověření možnosti získání dvou nezávislých určení polohy z jednoho měření GNSS aparaturou* ověřuje pomocí rychlé statické metody hypotézu, zda zpracováním GPS a GLONASS satelitů odděleně z jednoho měření lze získat dvě určení polohy, které lze považovat za nezávislá. Výsledná přesnost určení polohy byla v souladu s platnou katastrální vyhláškou č. 26/2007 Sb. Navrhovaná metoda je efektivnější než postup uvedený vyhláškou, podle které je vyžadováno dvojí provedení zaměření pro splnění nezávislého určení polohy.

Šedivý (2011) v bakalářské práci *Ověření dostupnosti a přesnosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice* testoval na sedmi trigonometrických bodech s využitím pěti stanic sítě CZEPOS přesnost RTK metody. Ze statistického testování nebyla prokázána přesnost metody na vzdálenost (až do 80 km) bodu od referenční stanice. Problémem bylo získat fixní řešení ambiguit při vzdálenosti nad 50 km.

Luňák (2007) ve své bakalářské práci *Testování přesnosti měření GPS metodou RTK* testoval spolehlivost RTK metody v závislosti na zákrytu obzoru a použitelnosti metody pro zaměřování podrobných bodů. Z výsledků vyplynulo, že i při zákrytu obzoru 80 % byla splněna požadovaná přesnost v horizontální rovině dle katastrální vyhlášky č. 26/2007 Sb. Pro měření výškopisu doporučuje realizaci RTK metody pouze na místech s minimálním zakrytím obzoru pro dosažení požadované přesnosti.

Stabilitou referenční stanice se zabývala Šloufová (2007) ve své bakalářské práci *Zjišťování stability polohy referenční GPS stanice PLZE v čase*. V průběhu jednoho roku byla prováděna každý měsíc 24hodinová observace. Z výsledků 12 měření vyplynulo, že průměrná odchylka souřadnice X se během roku měnila v rozmezí 2,14 cm, v souřadnici Y tato odchylka činila 0,28 cm a v souřadnici Z 2,40 cm. Z grafů vyjadřujících vztah odchylek souřadnic a z dat měření vyplývá, že odchylky v souřadnicích X a Z mají v průběhu času rostoucí trend.

4 REFERENČNÍ STANICE UPOL

Referenční stanice UPOL byla pořízena v rámci projektu Prosperita Vědeckotechnický park Univerzity Palackého v roce 2015. Stanice byla instalována dne 30. 9. 2015. Anténa a meteorologická čidla jsou stabilizována kovovou konstrukcí na střeše budovy Koleje Bedřicha Václavka (Obr. 4.1). Přijímač a ostatní vybavení se nachází v místnosti před vstupem na střechu.



Obr. 4.1 Referenční stanice UPOL (zdroj: Š. Vymětalíková, 2015).

4.1 Určení souřadnic

Určení souřadnic UPOL provedla společnost Geotronics Praha, spol. s r.o. v říjnu 2015 statickou metodou. Pro výpočet souřadnic byla použita data ze čtyř okolních referenčních stanic sítě Trimble VRS Now Czech, a to Brno (CZBR), Olomouc (CZOL), Rýmařov (CZRV) a Zašová (CZZA). Výpočet jednotlivých základů byl proveden v softwaru Trimble Business Center. Do výpočtu vstupovaly přesné efemeridy družic z analytických center IGS (International GNSS Service) a jako neznámé byly kromě souřadnic a celočíselných ambiguit určovány také opravy k apriornímu modelu troposférické refrakce. Celkový objem dat činil 140 hodin nepřetržitého měření uskutečněného od 12. do 18. 10. 2015. Při výpočtu základů bylo dosaženo vysoké přesnosti (v horizontální rovině do 3 milimetrů a ve vertikální do 4 milimetrů). Vzniklá geodetická síť byla vyrovnána v souřadnicovém systému S-JTSK (Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální). Výška je vztažena ke spodku závitů antény.

Rovinné souřadnice UPOL v S-JTSK – EPSG (Geodetic Parameter Set): 5513 a odhady aposteriorních středních chyb:

| Y [m] | m_y [m] | X [m] | m_x [m] | Z [m] | m_z [m] |
|------------|-----------|-------------|-----------|---------|-----------|
| 546015,206 | 0,001 | 1121683,296 | 0,001 | 247,430 | 0,018 |

Geocentrické souřadnice UPOL v ETRS89 – EPSG: 4258

| φ | λ | H |
|------------------|------------------|-----------|
| 49°35'34,56309"N | 17°16'01,38823"E | 290,974 m |

Nebylo nutno provádět ověřovací měření z důvodů zapojení sítě Trimble VRS Now Czech do Kampaně CZECH, která je realizována VÚGTK, v.v.i. V rámci tohoto projektu je podle uvedené metodiky prováděn monitoring permanentních stanic GNSS, zpracování a vyhodnocení jimi poskytovaných dat. Metodika zaručuje výsledky zeměměřických činností, které nejsou zatíženy chybou z nesprávného určení souřadnic referenční stanice nebo chybou z nestability souřadnic z důvodu pohybu stanice nebo výkyvu fyzikálního vlivu.

4.2 Vybavení

Primárním vybavením stanice UPOL je geodetický GNSS přijímač a anténa se stínícími kruhy od společnosti Trimble. Stanice je vybavena i meteorologickými čidly pro sběr základních meteorologických prvků a dalšími doplňkovými přístroji.

4.2.1 Přijímač a anténa

GNSS přijímač Trimble NetR9

UPOL je vybavena multifrekvenčním satelitním přijímačem NetR9, který je produktem americké společnosti Trimble. Tento přijímač zastává běžné úlohy referenčních stanic a je vhodný k integraci do sítě. Disponuje dvěma čipy Trimble Maxwell 6 umožňujícími zpracovávat simultánně 440 kanálů. Podporuje širokou škálu satelitních signálů, v současné době je schopen přijímat signály systémů GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou a QZSS. Vysoký počet kanálů umožňuje rozšíření v budoucnosti o další signály.

NetR9 umožňuje vzdálenou správu, která je zajištěna komunikačním protokolem IP (Internet Protocol). Prostřednictvím webového rozhraní lze měnit konfiguraci přijímače a přistupovat k zaznamenaným datovým souborům. Přijímač obsahuje i interní rádiový modem pro komunikaci přes bezdrátovou technologii Bluetooth nebo prostřednictvím externího rádia.

Přijímač produkuje data pro postprocessing i pro vyhodnocení polohy v reálném čase. Způsob přenosu dat z přijímače je popsán v kapitole 4.3. Přehled technických parametrů přijímače jsou uvedeny v Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Technické parametry přijímače Trimble NetR9 (upraveno podle: Trimble NetR9 GNSS Reference Receiver: User Guide, 2010)

| Sledování satelitů | | |
|---------------------------|---------|---|
| Počet kanálů | | 440 |
| Sledované signály | GPS | L1 C/A, L2C, L2E, L5 |
| | GLONASS | L1 C/A, L1 P-kód, L2 C/A1, L2 P-kód, L3 |
| | Galileo | L1 CBOC, E5A, E5B, E5AltBOC |
| | BeiDou | B1, B2 |
| | QZSS | L1 C/A, L1C, L1 SAIF, L2C, L5, LEX |
| | SBAS | WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS |

| Polohová přesnost | |
|--------------------------|--|
| Statická metoda | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm |
| Rychlá statická metoda | H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm |
| RTK (single) <30 km | H: 8 mm + 1 ppm V: 15 mm + 1 ppm |
| RTK (síťová) | H: 8 mm + 0,5 ppm V: 15 mm + 0,5 ppm |
| DGNSS | H: 0,25 m + 1 ppm V: 0,50 m + 1 ppm |
| Záznam dat | |
| Max. rychlost ukládání | 50 Hz |
| Datové formáty | T02, RINEX v2.xx, RINEX v3.xx, BINEX, Google Earth KMZ |
| Přenos dat | HTTP, FTP Server, USB, FTP Push and Email Push |
| RTK | |
| Formát korekcí | RTCM ver 2.1 2.3, 3.0, 3.1 |

Anténa Trimble GNSS-Ti Choke

Velice přesná anténa od společnosti Trimble zajišťující stabilitu fázového centra, přesnost fázového středu antény je 2 milimetry a nižší. Je opatřena soustavou prstenců zabraňujících vícecestnému šíření signálů. Před meteorologickými vlivy je chráněna protisněžným krytem. Podporuje signály systémů GPS, GLONASS, Beidou a QZSS.

4.2.2 Meteorologické vybavení

Anemometr

Výrobce anemometru je společnost Solar Monitor, spol. s r.o. Tělo anemometru je z duralového korpusu s komaxitovou povrchovou úpravou. Rychlost větru se snímá otočným miskovým křížem, otáčky kříže jsou měřeny optoelektronicky. Čidlo je vybaveno topením s regulací povrchové teploty, které se automaticky zapíná při poklesu teploty pod 5 °C a vypíná se při 10 °C. Výstupem měřené hodnoty je přímo úměrně odpovídající elektrický proud o velikosti 4 až 20 mA. Základní parametry jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Technické parametry anemometru (upraveno podle: Senzor rychlosti větru, 2016)

| | |
|------------------|-------------------|
| Rozsah měření | 0 ÷ 30 m/s |
| Mez citlivosti | 0,8 m/s |
| Přesnost měření | 1 % |
| Pracovní teplota | - 40 °C ÷ + 80 °C |

Snímač teploty, vlhkosti a atmosferického tlaku

Meteorologické snímače od výrobce Comet System, spol. s r.o. s výstupem 4 až 20 mA jsou vybaveny mikroprocesorem, který zajišťuje dlouhodobou stabilitu parametrů, teplotní kompenzaci čidel a signalizaci poruchových stavů. Čidla teploty a vlhkosti jsou chráněna meteokrytem eliminujícím atmosférické vlivy. Rozsah provozní teploty čidel je od - 30 °C do + 80 °C. Základní technické parametry čidel jsou uvedeny v Tab. 4.3.

Tab. 4.3 Technické parametry meteorologických čidel (upraveno podle: T3111 Snímač teploty a vlhkosti s výstupem 4-20mA, 2016)

| Čidlo | Veličina | Rozsah měření | Přesnost měření |
|----------|-------------------|------------------|--|
| Teploměr | teplota | - 30°C ÷ + 105°C | ± 0,4°C od - 30 °C do + 100 °C ± 0,4 % z měřené hodnoty nad + 100 °C |
| Vlhkoměr | relativní vlhkost | 0 ÷ 100 % | ± 2,5 % při 23 °C od 5 do 95 % relativní vlhkosti |
| Tlakoměr | atmosférický tlak | 600 ÷ 1100 hPa | ± (1,3 hPa + 0,06 % z nastaveného výstupního rozsahu) při 23 °C od 800 do 1100 hPa |

4.2.3 Ostatní

Dalšími prvky hardwarového vybavení UPOL jsou:

- A/D převodník – převádí analogový signál z meteorologických čidel na digitální,
- staniční počítač – slouží pouze pro sběr meteorologických dat,
- přepěťová ochrana – chrání elektrické přístroje před poškozením vlivem přepětí izolace,
- zdroje napájení – pro vyhřívání anemometru a jako případný záložní zdroj energie.

4.3 VESOG

Referenční stanice UPOL je jednou z 11 stanic sítě VESOG, která je službou pro podporu a zajištění provozu sítě referenčních stanic GNSS, které slouží pro výzkumné, výukové a experimentální účely zúčastněných akademických a výzkumných pracovišť v ČR. Stanice VESOG a jejich provozovatele uvádí Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Referenční stanice sítě VESOG

| Stanice | Provozovatel | Umístění |
|---------|--|-----------------|
| GOPE | Výzkumný ústav geodetický a kartografický, v.v.i. | Pecný, Ondřejov |
| GOP6 | Výzkumný ústav geodetický a kartografický, v.v.i. | Pecný, Ondřejov |
| GOP7 | Výzkumný ústav geodetický a kartografický, v.v.i. | Pecný, Ondřejov |
| KUNZ | Výzkumný ústav geodetický a kartografický, v.v.i. | Kunžak |
| LYSH | Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava | Lysá Hora |
| PLZE | Západočeská univerzita v Plzni | Plzeň |

| | | |
|------|--|-----------|
| POL1 | Vojenský geografický a hydrometeorologický ústav | Polom |
| PRUH | Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, v.v.i. | Průhonice |
| TUBO | Vysoké učení technické v Brně | Brno |
| UPOL | Univerzita Palackého v Olomouci | Olomouc |
| VSBO | Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava | Ostrava |

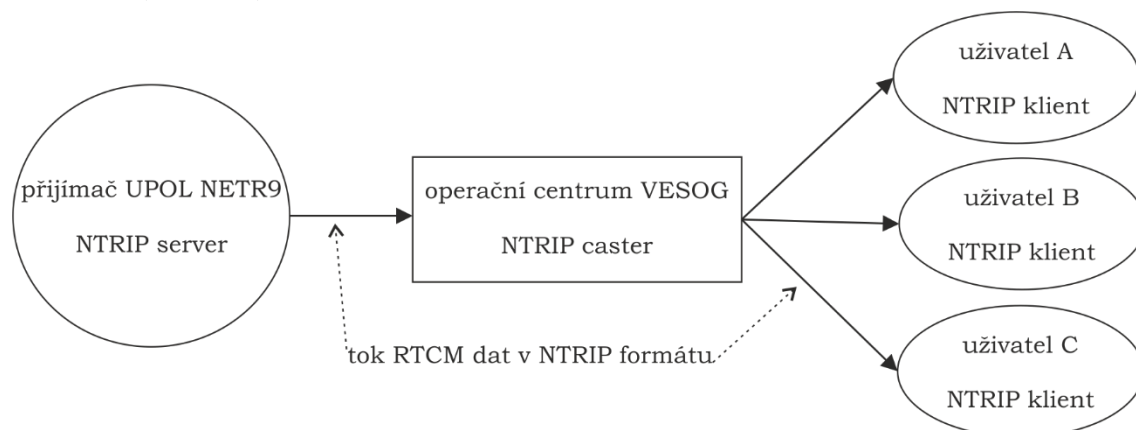
Operační centrum sítě

Hlavní operační centrum sítě je situováno v Geodetické observatoři Pecný v Ondřejově a jeho činnost zajišťuje VÚGTK. Hlavním úkolem je zajistit spolu s provozovateli referenčních stanic provoz sítě VESOG. Dalšími úkoly jsou:

- shromažďování, kontrola, přeformátování a rozesílání dat do datových center,
- archivace dat,
- výdej dat na základě podmínek, které stanovil provozovatel stanice (Operační centrum sítě VESOG, 2016).

Přenos dat určených pro postprocessing je ze stanice UPOL do operačního centra zprostředkován GNSS přijímačem UPOL. Data jsou odeslána na počítač v operačním centru a je provedena jejich kontrola. Observační data jsou převedena do formátu Compact RINEX a meteorologická data do formátu RINEX. Formátovaná data jsou komprimována a ukládána do archivu v jednodenních souborech s intervalem záznamu 30 sekund, z archivu jsou data odeslána do lokálního datového centra EPN v Geodetické observatoři Pecný. Datová centra jsou stanovena dle projektů, do kterých je stanice zapojena. V archivu jsou také uložena sekundová primární binární data v hodinových souborech.

UPOL produkuje i data v reálném čase, která jsou uživatelům dostupná prostřednictvím internetu a technologie NTRIP. NTRIP je transportní protokol, který vznikl za účelem šíření datových toků GNSS pomocí internetového připojení. Je navržen tak, aby bylo možné současné připojení několika klientů k odběru korekčních dat. NTRIP je složen ze tří programových částí: NTRIP server, NTRIP caster a NTRIP klient. GNSS přijímač UPOL zastává funkci NTRIP serveru, který měřená data formátuje podle standardu RTCM SC-104 a posílá do NTRIP casteru operačního centra VESOG. Caster je fyzicky umístěn u poskytovatele připojení k internetu v Praze. Z něj mohou uživatelé odebírat požadovaná data prostřednictvím NTRIP klientu ve formátu RTCM ve verzích 2.1, 2.3 a 3.xx (Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Schéma přenosu RTK dat.

4.4 CzechGeo

Referenční stanice UPOL je začleněna do projektu CzechGeo, který je úzce svázán s evropským programem EPOS (European Plate Observing System). Referenční stanice UPOL poskytuje data zdarma celosvětové vědecké komunitě. Distribuci dat zajišťuje operační centrum sítě VESOG.

CzechGEO je ucelený systém pozorování geofyzikálních polí provozovaný geovědními institucemi ČR. Systém tvoří observační stanice ve třech úrovních: stálé, lokální a mobilní. Stále stanice jsou zapojené do globálních datových sítí s dostupností dat v reálném čase. Dělí se na stanice seismické, GPS, magnetické, gravimetrické a geodynamické. Financování projektu CzechGeo zajišťuje Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (Co je CzechGeo, 2016).

EPOS je integrační projekt výzkumných infrastruktur zabývajících se výzkumem o Zemi. Klade si za cíl vytvořit ucelenou evropskou výzkumnou infrastrukturu existujících geofyzikálních, geodetických a geodynamických sítí, vulkanologických, lokálních a experimentálních stanic v Evropě.

5 PŘÍPRAVA MĚŘICKÉ KAMPANĚ

Kapitola se zabývá přípravou měřických kampaní pro ověření přesnosti přenášených dat a ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost. Před realizací měřické kampaně bylo nutné vybrat vhodná stanoviště, na kterých proběhne měření. Každému měření předcházelo jeho plánování pro zajištění co nejoptimálnějších podmínek.

5.1 Výběr bodů

Při výběru bodů pro měřickou kampaň byl brán ohled na stanovené cíle. Pro ověření přesnosti přenášených dat byla zvolena vzdušná maximální vzdálenost od referenční stanice UPOL 50 km. Tato hodnota vycházela z technických parametrů přístrojů, které byly použity pro realizaci kampaně. Pro objektivní srovnání bodů v různých vzdálenostech bylo žádoucí zvolit stanoviště s minimálními observačními překážkami. Snahou bylo využít pro účely testování trigonometrické body se souřadnicemi určenými GNSS metodou v systému ETRS89. Tyto souřadnice slouží jako referenční souřadnice.

Pro ověření přesnosti přenášených dat bylo vybráno celkem osm bodů ve vzdálenosti 0,3 km až 52,2 km od referenční stanice UPOL. Pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření byl vybrán bod 2 nacházející se v Olomouci v ulici Velkomoravská. Tento bod byl vybrán na základě dobré dostupnosti od katedry geoinformatiky. Přehled vzdáleností vybraných stanovišť od UPOL je v Tab. 5.1, rozmístění v prostoru je v Příloze 1.

Tab. 5.1 Vzdálenost bodů od UPOL

| Bod | Vzdálenost od UPOL [m] | Obec (ulice) |
|-----|------------------------|--------------------------|
| 1 | 297 | Olomouc (tř. Kosmonautů) |
| 2 | 1 339 | Olomouc (Velkomoravská) |
| 3 | 3 052 | Olomouc (Chválkovická) |
| 4 | 6 441 | Křelov-Břuchotín |
| 5 | 12 239 | Majetín |
| 6 | 21 049 | Bochoř |
| 7 | 35 638 | Bystřice pod Hostýnem |
| 8 | 52 221 | Valašské Meziříčí |

5.1.1 Trigonometrické body

Pět z vybraných bodů (bod 4 až 8) jsou trigonometrickými body. Souřadnice těchto bodů ZPBP (Základní polohové bodového pole) byly určeny v systému ETRS89 v realizaci ETRF2000 GNSS měřením statickou metodou při údržbě a obnově geodetických základů ČR, které provádí průběžně ZÚ (Zeměměřický úřad). Střední souřadnicová chyba $m_{x,y}$ určení polohy trigonometrických bodů je 0,015 m a přesnost elipsoidické výšky je dána

střední chybou m_h 0,02 m (Návod pro správu geodetických základů České republiky, 2015).

Body se nacházejí na území pole, jsou stabilizovány žulovým kamenem s vytesaným křížkem na horní straně ve směru úhlopříček a dvěma podzemními značkami - žulovou deskou a skleněnou destičkou, které jsou umístěny přesně ve svislici s vytesaným křížkem. Signalizovány jsou ochranou betonovou skruží a ochranným tyčovým znakem ve vzdálenosti 0,75 m od žulového mezníku. Ochranný tyčový znak je tvořen červenobílou železnou tyčí se smaltovanou tabulkou s nápisem „Státní triangulace, poškození se trestá“ ve směru k mezníku (Příloha 2). U těchto bodů nebyla provedena rekognoskace z důvodu umístění v poli bez blízkého dosahu výškových překážek. Základní geodetické údaje trigonometrických bodů jsou uvedeny v Tab 5.2.

Tab. 5.2 Základní geodetické údaje trigonometrických bodů (upraveno podle: ITC, 2010)

| Bod | Geodetické údaje | | |
|-----|--------------------|-----------------------|--|
| | Číslo a název | Obec | Místopisný popis |
| 4 | 31 Prostřední díly | Křelov-Břuchotín | Bod je v roli na kopci, 50 m východně od vodárny a 1,4 km jz. od kostela v Křelově. Bod sítě DOPNUL. |
| 5 | 11 Lhota | Majetín | Bod je v poli, 1,8 km východně od kostela v Majetíně. |
| 6 | 2 Trávník | Bochoř | Bod je v poli, 400 m sz. od křižovatky silnic Přerov – Bochoř – Lověšice. |
| 7 | 16 Novovesko | Bystřice pod Hostýnem | Bod je v poli, 1,3 km severně od kostela v B. p. H., 300 m sz. od silnice B. p. H. - Mrlínek. |
| 8 | 31 Tihelna | Valašské Meziříčí | Bod je na vrcholu kupy, 0,5 m jižně od Byniny u Valašského Meziříčí. |

5.1.2 Body s vlastní stabilizací

Na území obce Olomouc se nenacházejí trigonometrické body určené v ETRS89, které by zajišťovaly minimální observační překážky, proto byla zvolena tři stanoviště, na kterých byla provedena vlastní stabilizace. Tato stanoviště byla vybrána na základě rekognoskace vytipovaných stanovišť. Vertikální úhly byly změřeny úhloměrem a azimuty překážek byly určeny buzolou. Po vyhotovení polního zákresu bylo zjištěno, že v okolí těchto bodů se nachází nejméně observačních překážek nad zvolenou elevační maskou 13 °.

Bod 1 tř. Kosmonautů

Stanoviště se nachází na volném prostranství zhruba 200 m východně od vstupu do BEA centrum Olomouc, spol. s r.o. Bod je stabilizován zatlučeným hřebíkem v chodníku a signalizován značkovacím sprejem.

Bod 2 Velkomoravská

Bod je umístěn na stezce podél řeky Moravy v blízkosti křižící se řeky Moravy s ulicí Velkomoravská. Nedaleko se nachází areál Střední školy polytechnické Olomouc. Bod je stabilizován nastřelovacím hřebíkem a signalizován značkovacím sprejem (Příloha 3) Tento bod slouží pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření.

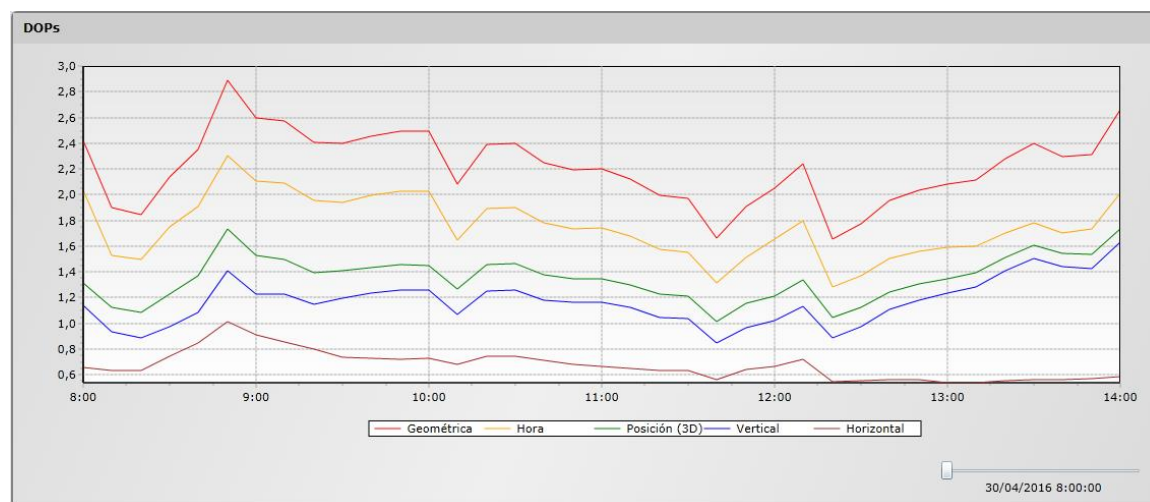
Bod 3 Chválkovická

Bod se nachází na začátku cyklotrasy č. 6029 Olomouc – Dětřichov nad Bystřicí. Je stabilizován původním výrazným kamínkem v asfaltové silnici, je signalizován značkovacím sprejem.

5.2 Plánování měření

5.2.1 Doba měření

Vhodná doba měření byla stanovena na základě plánování měření ve speciálním programu Trimble Planning. Program využívá platných almanachů pro stanovení přibližného počtu a konfigurace družic v době plánovaného měření. Starší verze programu požadovaly import platných almanachů uživatelem, nynější verze vyžaduje pouze zadání přibližných souřadnic místa měření, nadmořskou výšku a datum plánovaného měření. K určení vhodného času pro měření byl použit graf PDOP (Obr. 5.1) a počet viditelných satelitů. Pro všechna měření byla zvolena doba měření s co nejnižším parametrem PDOP a současně s co nejvyšším počtem viditelných satelitů. Průměrná hodnota PDOP v době všech měření RTK metodou byla 1,3 a průměrný počet viditelných satelitů byl 13 (Příloha 4).



Obr. 5.1 Ukázka grafu DOP (zdroj: <https://www.trimble.com/gnssplanningonline/>).

5.2.2 Meteorologické podmínky

Bezprostředně před plánovaným měření byly zhodnoceny také meteorologické podmínky. Rozhodujícími parametry byla především relativní vlhkost vzduchu a stav geomagnetického pole Země.

Relativní vlhkost vzduchu

Průchod elektromagnetických vln troposférou způsobuje troposférickou refrakci. Lze ji dělit na dvě složky – hydrostatickou složku a složku vodních par. Zatímco hydrostatická složka je relativně stabilní, závisí na zeměpisné šířce, ročním období a nadmořské výšce,

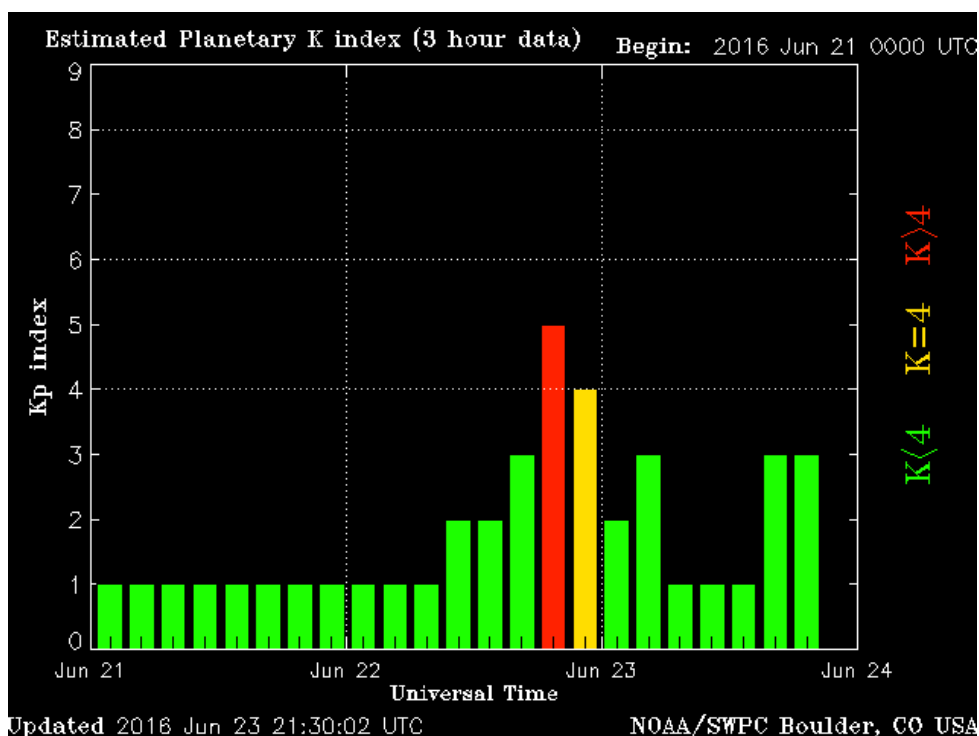
složka vodních par je dynamicky proměnlivá. Obecně platí, čím je prostředí v troposféře hustší (čím obsahuje větší množství vodních par), tím je efekt refraktivity vyšší.

Pro ověření přesnosti přenášených dat bylo žádoucí eliminovat systematické vlivy, proto bylo měření prováděno za převážně slunečního počasí. Pokud podle předpovědi počasí bylo očekáváno zataženo nebo deštivo, bylo měření odloženo. V případě ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření bylo žádoucí provést měření za co nejvíce zhoršených podmínek. Zdrojem přesných hodnot relativní vlhkosti vzduchu byl vlhkoměr instalovaný společně se stanicí UPOL. Hodnoty relativní vlhkosti při měření pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření jsou uvedeny v Tab 6.1.

Stav geomagnetického pole Země

Geomagnetické bouře značně narušují stav ionosféry, proto před každým měřením byl sledován aktuální planetární Kp index vyjadřující globální stav porušení geomagnetického pole Země (Obr. 5.2). Kp index je váženým průměrem lokálních K indexů ze 13 stanic umístěných převážně na severní polokouli. K index vyjadřuje změnu stavu geomagnetického pole Země vzhledem k jeho klidovému stavu. Oba indexy nabývají hodnot 0 až 9, přičemž hodnoty větší než 4 signalizují probíhající geomagnetickou bouřku. Kp index je aktualizován v intervalu 3 hodin (Space Weather Glossary, 2016). Zpětně byl zaznamenán lokální K index pro Českou republiku, který je měřen v geomagnetické observatoři Budkov. Stanici provozuje Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky.

Pro ověření přesnosti přenášených dat byl požadován co nejnižší Kp a K index v době měření, naopak pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření bylo žádoucí provést měření v době geomagnetické bouřky. V Příloze 5 jsou uvedeny hodnoty Kp a K indexů v době měření pro ověření přesnosti a v Tab 6.1 pro ověření meteorologických prvků.



Obr. 5.2 Ukázka Kp indexu

(zdroj: http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/2016/Jun_23/noaa_kp_3d.gif).

6 MĚŘICKÁ KAMPAŇ

6.1 Ověření přesnosti přenášených dat

Cílem této kampaně je ověřit vliv přesnosti přenášených dat z UPOL za využití RTK metody vzhledem k vzdálenosti od referenční stanice UPOL. Srovnávacími daty jsou výsledky měření RTK metodou ze sítě TopNET. Referenčními souřadnicemi pro body 4 až 8 jsou souřadnice uvedené v dokumentaci geodetických údajů, které jsou veřejně dostupné na webových stránkách ZÚ (Odbor geodetických základů, 2011). Referenčními souřadnicemi pro body 1 až 3 jsou výsledky měření rychlou statickou metodou (dále pouze statická metoda).

Testování proběhlo ve dvou měřických kampaních na vybraných osmi stanovištích. První kampaň byla zrealizována v březnu 2016 za použití přístroje HiPer II od firmy Topcon. Po technických problémech s přístrojem HiPer II byl ve druhé kampani nahrazen přístrojem R4 od společnosti Trimble. Druhá kampaň byla zrealizovaná převážně v dubnu 2016.

Při měření byly přijímány signály z družic ze systémů GPS a GLONASS na nosných frekvencích L1 a L2. Elevační maska byla pro všechna měření nastavena na 13 °. GNSS přijímače byly při každém měření precizně zhorizontovány trojnožkou s optickým centrovačem na dřevěném stativu nad měřeným bodem (Příloha 6). Svinovacím metrem byla měřena šikmá výška antény ke středu nárazníku přijímače.

6.1.1 RTK metoda

Na každém z osmi bodů proběhlo dvojí měření RTK metodou. Byla zvolena 5sekundová délka observace. Dvořák (2014) ve své diplomové práci ověřil, že delší observace nepřináší zpřesnění výsledků. Korekční data byla odebírána z referenční stanice UPOL ve formátu RTCM 3.0 a pro srovnání ze sítě TopNET za využití služby VRS ve formátu RTCM 3.0. Obě připojení k přenosu korekčních dat byla zprostředkována NTRIP technologií. Měření proběhlo bezprostředně za sebou pro zachování stejných podmínek.

6.1.2 Statická metoda

Délka observace činila 30 minut s intervalem záznamu dat 5 sekund. V první měřické kampani byla provedena statická metoda na bodech 1 až 3 za účelem získání referenčních souřadnic, vůči kterým bude zhodnocena přesnost výsledků měření RTK metodou. V druhé měřické kampani byla provedena tato metoda na všech osmi bodech. Důvodem provést měření statickou metodou i na bodech 4 až 8 bylo srovnat přesnost referenčních souřadnic uvedených ZÚ a vlastně měřených souřadnic. Měření statickou metodou proběhlo bezprostředně před nebo po měření RTK metodou.

6.2 Ověření vlivu meteorologických prvků

Cílem kampaně bylo ověřit vliv relativní vlhkosti vzduchu a stavu geomagnetického pole Země na přesnost přenášených dat UPOL. Pro kampaň byl vybrán bod 2 v blízkosti ulice Velkomoravská v Olomouci. Každé provedené měření obnášelo měření statickou metodou a RTK metodou za využití korekčních dat UPOL a TopNET. Většina dat byla pořízena přístrojem R4. Nastavení elevační masky a doby observací byly totožné jako u měřické kampaně pro ověření přesnosti.

Pro splnění zadaného cíle bylo potřeba provádět měření ve zhoršených podmínkách. Vznik a délku geomagnetických bouří nelze předpovědět, proto nebylo možné s předstihem určit vhodnou dobu měření.

Celkem bylo provedeno sedm měření. Referenčními daty byly zvoleny hodnoty souřadnic z výsledků měření statickou metodou za příznivých podmínek (jedná se o měření 2.1.1, 2.1.2 a 2.1.3). Tab. 6.1 uvádí přehled provedených měření. Zhoršené parametry K_p indexu, K indexu a relativní vlhkosti jsou zvýrazněny. Ve dvou případech nebylo možné získat korekce ze stanice UPOL, a to z důvodu nefunkčnosti internetového připojení v budově Koleje Bedřicha Václavka, na které je stanice UPOL instalována.

Tab. 6.1 Přehled parametrů měřické kampaně pro ověření meteorologických prvků na přesnost přenášených dat UPOL

| Měření | Datum | Čas | K_p | K | Vlhkost [%] | Poznámka |
|--------|--------------|-------|----------|----------|-------------|-------------------------------|
| 2.1.1 | 04. 03. 2016 | 13:45 | 1 | 0 | 66,8 | |
| 2.1.2 | 25. 04. 2016 | 14:10 | 2 | 2 | 33,2 | |
| 2.2.1 | 08. 07. 2016 | 14:10 | 4 | 4 | 30,9 | přenos korekcí UPOL neumožněn |
| 2.2.2 | 12. 07. 2016 | 9:50 | 5 | 3 | 68,4 | přenos korekcí UPOL neumožněn |
| 2.1.3 | 12. 07. 2016 | 14:45 | 2 | 2 | 48,9 | |
| 2.3.1 | 14. 07. 2016 | 11:10 | 4 | 3 | 88,7 | |
| 2.3.1 | 14. 07. 2016 | 12:50 | 4 | 3 | 90,7 | |

6.3 Ověření stability souřadnic

Pro ověření stability souřadnic referenční stanice UPOL bylo uskutečněno měření přijímačem stanice UPOL NETR9 statickou metodou od 6. 4. 2016 do 19. 4. 2016. Surová data byla zpracována společností Geotronics Praha, spol. s r. o. Do výpočtu vstupovaly korekční data ze čtyř stanic sítě Trimble VRS Now Czech, a to Brno (CZBR), Olomouc (CZOL), Rýmařov (CZRV) a Zašová (CZZA). Výpočet jednotlivých základů byl proveden v softwaru Trimble Business Center. Do výpočtu vstupovaly přesné efemeridy družic z analytických center IGS (International GNSS Service) a jako neznámé byly kromě souřadnic a celočíselných ambiguit určovány také opravy k apriornímu modelu troposférické refrakce. Na základě obdrženého protokolu o výpočtu proběhlo srovnání výsledných souřadnic se souřadnicemi, které tato společnost určila stejným způsobem v říjnu roku 2015.

7 ZPRACOVÁNÍ DAT

Kapitola se zabývá postupy zpracování měřených dat z měřických kampaní realizovaných pro ověření přesnosti přenášených dat a ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost.

7.1 Surová data

Data měřená statickou metodou je nutné postprocesně zpracovat ve speciálních programech s korekčními daty ve formátu RINEX pro příslušný časový úsek. Korekční data byla stahována prostřednictvím webového rozhraní referenční stanice UPOL.

Data měřená přijímačem R4 se ukládají do interní paměti přijímače, je potřeba je nejprve exportovat do kontroléru a poté do počítače. Tato data byla zpracována v softwaru Trimble Business Center společně s korekčními daty ve formátu RINEX 3.0. Data měřená přijímačem HiPer II jsou ukládána na SD kartu v kontroléru. Data byla přenesena z SD karty do počítače a zpracována v softwaru Topcon Tools s korekčními daty ve formátu RINEX 2.1.

Zpracování v obou programech bylo obdobné. Bylo potřeba založit nový projekt, naimportovat měřená i korekční data ze stejného časového úseku. Byla kontrolována zadaná výška antény přijímače, elevační maska a souřadnice UPOL, které vstupovaly do výpočtu jako fixní. Po kontrole byly vypočítány základnice a výsledné upravené souřadnice měřených bodů v souřadnicovém systému ETRS89 byly vyexportovány spolu s protokoly o výpočtu.

Do programů byla naimportována také data měřená RTK metodou. Tato data jsou již opravena o korekce, neprovádí se postprocessing. Lze si data prohlédnout, případně opravit výšku antény přijímače, transformovat do jiných souřadnic a exportovat spolu s protokoly.

7.2 Početní zpracování

Výsledná data po zpracování v softwaru Trimble Business Center a Topcon Tools byla kopírována do MS Excel 2013. Pro každý stanovený cíl byl vytvořen samostatný sešit, ve kterém bylo provedeno výpočetní zhodnocení přesnosti výsledků. Veškeré výpočty byly prováděny v souřadnicovém systému ETRS89. Souřadnice trigonometrických bodů uvedené ZÚ bylo potřeba transformovat z úhlového vyjádření do metrického. Tento úkon byl proveden v online aplikaci Transformace souřadnic, která je dostupná na webových stránkách ZÚ (ČÚZK: Geoportál, 2010).

Sešit pro ověření přesnosti přenášených dat obsahuje tři listy: list s daty z měřické kampaně realizované přístrojem HiPer II, list s daty z měřické kampaně realizované přístrojem R4 a list se zpracováním charakteristik hodnocení přesnosti. U měřických kampaní jsou zaznamenány pro jednotlivá stanoviště výsledné souřadnice, data a časy jednotlivých měření i podmínky v době měření (PDOP, počet viditelných satelitů, Kp index, K index, relativní vlhkost).

Sešit pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost přenášených dat obsahuje jeden list se všemi provedenými měřeními na stanovišti 2 v ulici Velkomoravská. Jsou zde zaznamenány stejné údaje jako u předchozího sešitu pro ověření přesnosti. Ve stejném listě jsou počítány charakteristiky hodnocení přesnosti.

7.2.1 Charakteristiky hodnocení přesnosti

V geodézii je nutné každé měření provést minimálně dvakrát z důvodu odhalení potencionálních hrubých chyb (Weigel, 2004). Klasickými geodetickými metodami byla tato podmínka nejčastěji splněna měřením délek v polygonových pořadech (tam a zpět) a měřením převýšení v nivelačních oddílech (tam a zpět). Při určování polohy GNSS metodami také platí zásada provést minimálně dvě měření jednoho bodu. Tímto postupem je vyloučeno možné chybné určení polohy, které by mohlo vzniknout různými faktory ovlivňujícími výslednou přesnost (ustavení přijímací aparatury, určení výšky antény, konfigurace družic, atmosférické vlivy). Dvojným určením polohy vznikají měřické dvojice, u kterých je posuzována jejich vzájemná přesnost.

Základní charakteristikou hodnocení přesnosti je koncentrace výsledků měření kolem skutečné hodnoty, platí: čím je koncentrace větší, tím je přesnost výsledků vyšší (Hauf, 1982). Skutečnou přesnost měření charakterizuje základní střední chyba \bar{m} , v případě malého počtu měření výběrová střední chyba m , která je odhadem základní střední chyby \bar{m} . V bakalářské práci je přesnost výsledků hodnocena (výběrovou) střední chybou m v jednotlivých souřadnicových osách a (výběrovou) střední souřadnicovou chybou $m_{x,y}$, kterou lze vypočítat ze vztahu (Hauf, 1982; Weigel, 2004):

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

Přesnost měřických dvojic (v případě ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření i trojic) byla hodnocena vzájemná přesnost dvojice (trojice) a také přesnost měřické dvojice (trojice) vůči referenčním datům. Výpočet střední souřadnicové chyby je pro všechny případy stejný. Vzorce potřebné pro výpočet středních chyb pro jednotlivé případy je uveden níže (upraveno podle: Hauf, 1982; Weigel, 2004):

Přesnost měřických dvojic

Střední hodnota (aritmetický průměr)

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (6)$$

kde:

l_1první měřená veličina

l_2druhá měřená veličina

Diference

$$d_i = l_1 - l_2 \quad (7)$$

Střední hodnota jednoho měření ve dvojici

$$m_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (8)$$

kde:

npočet měření

Střední chyba aritmetického průměru

$$m_x = \frac{m_{(x)}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Přesnost měřických trojic

Střední hodnota (aritmetický průměr)

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3} \quad (10)$$

kde:

l_1první měřená veličina

l_2druhá měřená veličina

l_3třetí měřená veličina

Oprava měřených veličin od střední hodnoty

$$v_i = \bar{l} - l_i \quad (11)$$

Střední chyba jednoho měření

$$m_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{3}} \quad (12)$$

Střední chyba aritmetického průměru

$$m_x = \frac{m_{(x)}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

Přesnost měřických dvojic a trojic vzhledem k referenčním datům

Střední chyba

$$m_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - x_i)^2}{n}} \quad (14)$$

kde:

Xskutečná hodnota veličiny

x_inaměřená hodnota veličiny

npočet měření

Střední chyby byly analogicky vypočítány i pro osy Y a Z dle vzorců (6) až (14).

8 VÝSLEDKY

8.1 Hodnocení přesnosti

Přesnost přenášených dat je hodnocena na základě měření na osmi bodech vzdálených 0,3 až 52,2 km od UPOL. Na všech bodech bylo provedeno dvojí měření RTK metodou za použití korekčních dat produkovaných stanicí UPOL a pro srovnání byla využita síťová služba VRS sítě TopNET. Na bodech 1 až 3 bylo provedeno dvojí měření statickou metodou, na ostatních bodech pouze jedno měření. Při postprocessingu byla použita korekční data stanice UPOL.

8.1.1 Hodnocení měřických dvojic

Pro vyloučení existence hrubých chyb je zhodnocena přesnost měřických dvojic střední chybou v jednotlivých souřadnicových osách (m_x , m_y , m_z) a střední souřadnicovou chybou ($m_{x,y}$) podle vzorců (5) až (9). Hrubé chyby mohou vzniknout omylem a nepozorností měřiče, poruchou přístroje nebo nevhodně zvolenou metodou. Lze je snadno rozpoznat, protože se výrazně vychylují svým charakterem oproti hodnotám stejné veličiny. Pokud by bylo zjištěno měření zatížené hrubou chybou, bylo by vyloučeno z dalšího testování, protože by nepřípustně ovlivnilo další výsledky.

RTK metoda

Je zhodnoceno osm dvojic měření s korekcemi z UPOL a z TopNET. Z výsledných hodnot lze vyloučit výskyt hrubých chyb (Tab. 8.1). V Tab. 8.1 jsou zvýrazněny nejvyšší hodnoty středních chyb červeně, zeleně naopak hodnoty nejnižší. Nejhorší přesnosti dat z UPOL jsou kumulovány do spodní části tabulky. Tento trend je způsoben narůstající vzdáleností referenční stanice UPOL od měřených bodů.

Ze srovnání přesnosti dvojic z dat UPOL a VRS TopNET vyplývá, že průměrná přesnost dat UPOL je vyšší ve všech souřadnicových osách. Nejvýraznější rozdíl v přesnostech je zaznamenán v ose Y. V této rovině mají data UPOL třikrát lepší přesnost. Nejmenší rozdíl přesností dvojic je zaznamenán v souřadnicové ose X. Metoda RTK je využívána pro vytváření PPBP (Podrobné polohové bodové pole) s přesností, která je dána střední souřadnicovou chybou $m_{x,y}$ 0,06 m (vyhláška č. 357/2013 Sb.), všechny výsledné hodnoty $m_{x,y}$ splňují danou přesnost podle katastrální vyhlášky.

Tab. 8.1 Přesnost měřických dvojic měřených RTK metodou

| Bod | UPOL | | | | VRS TopNET | | | |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
| 1 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,003 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,007 |
| 2 | 0,005 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,011 | 0,014 | 0,012 | 0,033 |
| 3 | 0,009 | 0,005 | 0,007 | 0,004 | 0,026 | 0,014 | 0,021 | 0,007 |
| 4 | 0,006 | 0,000 | 0,005 | 0,006 | 0,004 | 0,009 | 0,007 | 0,004 |
| 5 | 0,007 | 0,000 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,007 | 0,008 | 0,035 |
| 6 | 0,004 | 0,010 | 0,008 | 0,001 | 0,006 | 0,016 | 0,012 | 0,006 |
| 7 | 0,012 | 0,001 | 0,008 | 0,008 | 0,020 | 0,024 | 0,022 | 0,004 |
| 8 | 0,024 | 0,008 | 0,018 | 0,027 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,020 |
| Průměr | 0,009 | 0,004 | 0,008 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 0,015 |

Statická metoda

Dvojí měření bylo uskutečněno na bodech 1 až 3. Výsledné přesnosti vyvrátily existenci hrubých chyb (Tab. 8.2).

Tab. 8.2 Přesnost měřických dvojic měřených statickou metodou

| Bod | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
|-----|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 1 | 0,005 | 0,003 | 0,004 | 0,007 |
| 2 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,006 |
| 3 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |

8.1.2 Hodnocení vzhledem k referenčním datům

Dle vzorců (5) a (14) byly vypočítány střední chyby v jednotlivých osách (m_x , m_y , m_z) a střední souřadnicové chyby ($m_{x,y}$) dvojic měřených RTK metodou vzhledem k referenčním datům. Referenčními souřadnicemi pro body 1 až 3 jsou průměrné hodnoty z dvojího měření na bodech statickou metodou. Pro body 4 až 8 jsou to souřadnice uvedené ZÚ.

V Tab. 8.3 jsou zvýrazněny nejvyšší hodnoty středních chyb červeně, zeleně naopak hodnoty nejnižší. Z přesnosti dat UPOL je stejně jako u hodnocení měřických dvojic patrný vliv vzdálenosti stanice od měřeného bodu.

Z výsledných hodnot vyplývá, že původ referenčních souřadnic ovlivňuje výsledné přesnosti. Přesnost souřadnic bodů 1 až 3 u RTK UPOL je výrazně vyšší než při použití korekcí ze sítě TopNET. Důvodem je totožný zdroj korekcí referenčních dat. Průměrné hodnoty středních chyb jsou v tomto případě ve všech osách přesnější pro data UPOL.

Pro objektivní posouzení přesnosti UPOL a TopNET je vhodné se zaměřit na body 4 až 8, jejichž souřadnice jsou určeny nezávisle na této bakalářské práci. V tomto případě průměrné střední chyby UPOL vykazují v ose X horší výsledky, naopak v ose Y lepší oproti síti TopNET. Průměrné hodnoty střední souřadnicové chyby $m_{x,y}$ a střední chyby v ose Z jsou totožné. Nutno podotknout, že u bodu 8 jsou střední chyby dat UPOL silně ovlivněny značnou vzdáleností od referenční stanice (52 km). Pro ostatní body lze konstatovat, že RTK korekce stanice UPOL jsou srovnatelně přesné a ve více případech dokonce i přesnější než při využití sítě TopNET.

Tab. 8.3 Přesnost měřických dvojic měřených RTK metodou vzhledem k referenčním datům

| Bod | UPOL | | | | VRS TopNET | | | |
|-----|-----------|-----------|---------------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
| | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
| 1 | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 0,004 | 0,019 | 0,024 | 0,022 | 0,015 |
| 2 | 0,005 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,035 |
| 3 | 0,011 | 0,005 | 0,008 | 0,008 | 0,030 | 0,020 | 0,025 | 0,007 |
| 4 | 0,012 | 0,003 | 0,008 | 0,016 | 0,012 | 0,022 | 0,018 | 0,009 |
| 5 | 0,022 | 0,003 | 0,016 | 0,029 | 0,030 | 0,009 | 0,022 | 0,044 |
| 6 | 0,039 | 0,011 | 0,029 | 0,074 | 0,044 | 0,018 | 0,034 | 0,076 |
| 7 | 0,033 | 0,001 | 0,023 | 0,021 | 0,038 | 0,033 | 0,035 | 0,039 |
| 8 | 0,065 | 0,008 | 0,046 | 0,050 | 0,016 | 0,001 | 0,011 | 0,021 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Průměr 1-8 | 0,024 | 0,005 | 0,018 | 0,026 | 0,027 | 0,019 | 0,024 | 0,031 |
| Průměr 4-8 | 0,034 | 0,005 | 0,024 | 0,038 | 0,028 | 0,016 | 0,024 | 0,038 |

Srovnání metod

Ve druhé měřické kampani byly body 4 až 8 měřeny i statickou metodou. Podnětem provést toto měření byly výsledky první měřické kampaně, ze kterých vyplývalo, že body 1 až 3 dosahují výrazně lepších přesností než ostatní body. Cílem tedy bylo porovnat vzájemnou přesnost souřadnic trigonometrických bodů s výsledky statické metody. Bylo provedeno pouze jedno měření, proto nelze výsledné souřadnice z geodetického hlediska považovat za plnohodnotné. Z tohoto důvodu je vzájemná přesnost posouzena pouhým rozdílem výsledných souřadnic (r_x , r_y , r_z) statické metody od souřadnic trigonometrických bodů. Pro porovnání byly rozdíly (r_x , r_y , r_z) vypočítány i pro výsledné souřadnice RTK metody, které byly určeny průměrem dvou měření. Průměrné hodnoty rozdílů vycházejí z absolutních hodnot jednotlivých rozdílů.

Statická metoda je obecně z teoretických i praktických poznatků přesnější metodou oproti RTK. Průměrnými rozdíly bylo toto tvrzení potvrzeno pro osy X a Z. Nicméně nejpřesnějších průměrných hodnot v ose Y bylo dosaženo RTK metodou s UPOL korekcemi. V ostatních osách se jeví RTK UPOL nejméně přesná, ale opět je tu zřejmý vliv velké vzdálenosti bodu 8 od referenční stanice UPOL. Vliv velké vzdálenosti na přesnost není ale prokázán u tohoto bodu při užití statické metody, naopak výsledky z tohoto měření se jeví jako nejpřesnější z výsledků statické metody.

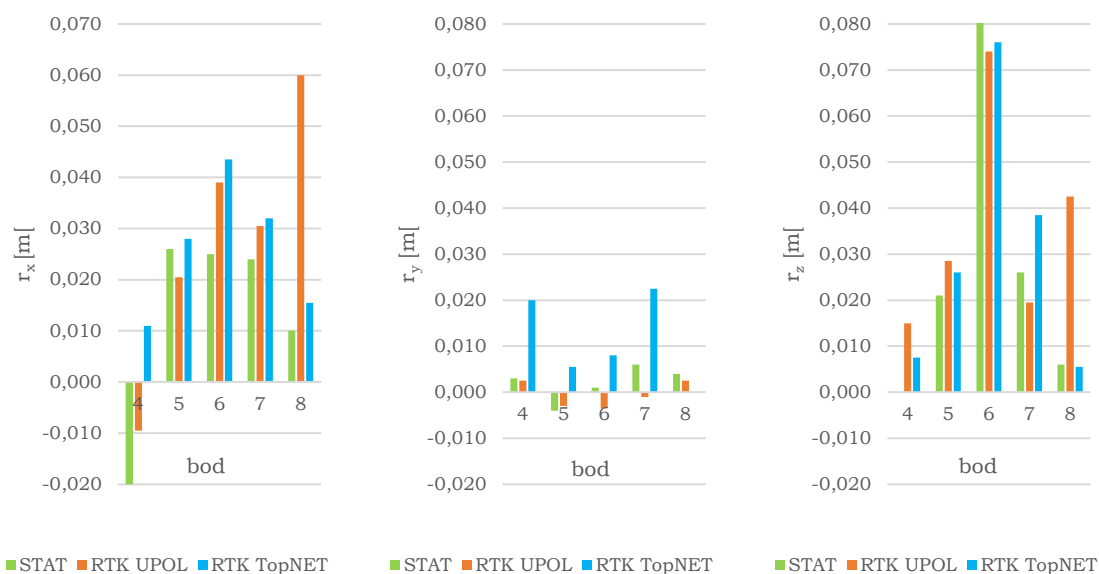
Tab. 8.4 Rozdíly souřadnic trigonometrických bodů s výsledky různých metod

| Bod | Statická metoda | | | RTK UPOL | | | RTK TopNET | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | r_x [m] | r_y [m] | r_z [m] | r_x [m] | r_y [m] | r_z [m] | r_x [m] | r_y [m] | r_z [m] |
| 4 | -0,020 | 0,003 | 0,000 | -0,009 | 0,003 | 0,015 | 0,011 | 0,020 | 0,008 |
| 5 | 0,026 | -0,004 | 0,021 | 0,021 | -0,003 | 0,029 | 0,028 | 0,005 | 0,026 |
| 6 | 0,025 | 0,001 | 0,082 | 0,039 | -0,003 | 0,074 | 0,044 | 0,008 | 0,076 |
| 7 | 0,024 | 0,006 | 0,026 | 0,030 | -0,001 | 0,019 | 0,032 | 0,023 | 0,039 |
| 8 | 0,010 | 0,004 | 0,006 | 0,060 | 0,002 | 0,042 | 0,015 | 0,000 | 0,005 |
| Průměr | 0,021 | 0,004 | 0,027 | 0,032 | 0,002 | 0,036 | 0,026 | 0,011 | 0,031 |

Rozdíly v jednotlivých osách (r_x , r_y , r_z) pro každý bod a metodu jsou znázorněny skupinovým sloupcovým grafem (Obr. 8.1). V ose X nelze určit metodu, která by byla u všech testovaných bodů nejpřesnější. U bodu 4 je dokonce nejméně přesná metoda statická, nutno zmínit, že tyto souřadnice vycházejí pouze z jednoho měření. Obecně v geodézii platí, že s vyšším počtem měření roste přesnost. Nicméně body 6 až 8 se projevují nejlepšími výsledky u statické metody.

V ose Y je dosaženo pro všechny metody nejlepších hodnot. Pro statickou metodu a RTK UPOL se hodnoty pohybují převážně do 0,5 cm. Značně horších výsledků dosahuje RTK TopNET s maximální hodnotou 2,3 cm u bodu 7, avšak v bodě 8 dosahuje naprosto shodné souřadnice se souřadnicí určenou ZÚ.

V ose Z u bodu 6 se projevily enormní výsledky u všech metod v rozmezí 7,4 až 8,2 cm. Existenci této chyby nezpůsobilo nepřesné měření, protože z Tab 8.1 vyplývá, že přesnost měřických dvojic RTK metody pro UPOL činila 0,1 cm a pro TopNET 0,6 cm. Střední chyba výšky m_z trigonometrických bodů určena ZÚ v systému ETRS89 je dána hodnotou 0,02 m. I s ohledem na tuto chybu je výsledná hodnota vysoká.



Obr. 8.1 Graf rozdílů výsledných souřadnic různých metod vzhledem k referenčním datům.

8.1.3 Hodnocení vlivu vzdálenosti

RTK metoda

Vliv přesnosti vzhledem k vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu byl vyjádřen korelačním koeficientem, který je ukazatelem míry korelace. Pojmem korelace je označován lineární vztah mezi veličinami x a y (vzdálenost, hodnota střední chyby). Korelační koeficient může nabývat hodnot od - 1 do + 1. Mezní hodnoty tohoto intervalu znamenají silnou korelaci mezi veličinami, záporná hodnota vyjadřuje nepřímo úměrný vztah, naopak kladné hodnoty vyjadřují přímo úměrný vztah. Hodnoty blíží se nule značí, že závislost veličin není skoro žádná.

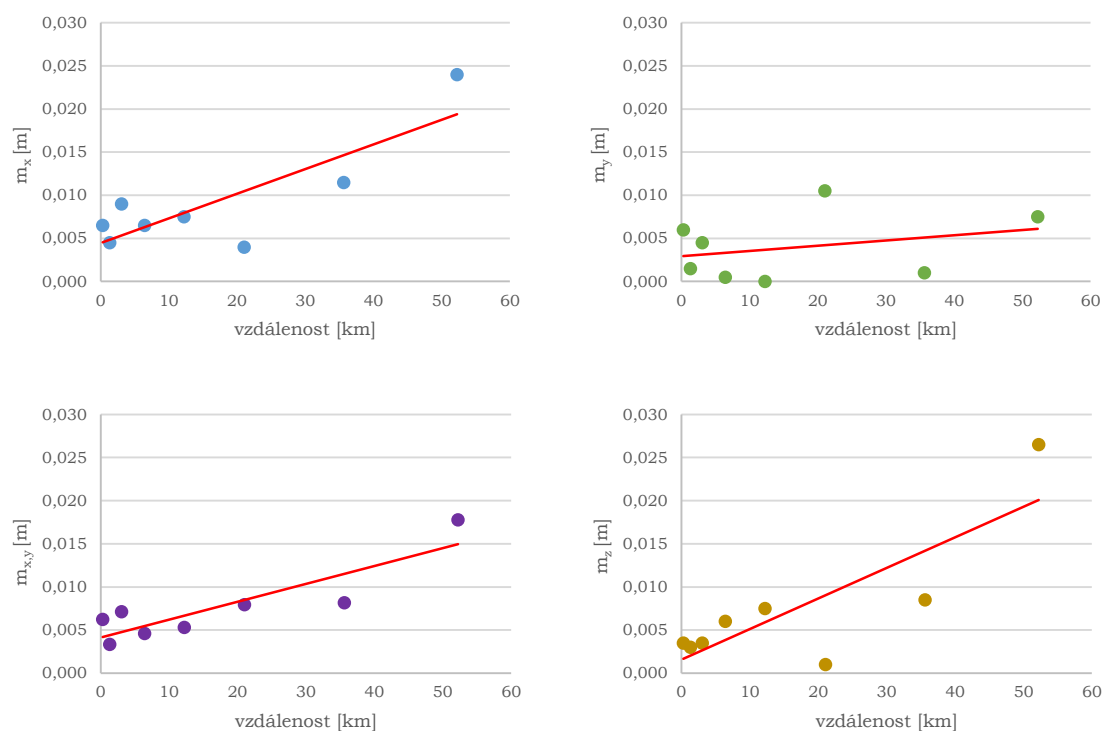
Korelační koeficient byl vypočítán pro střední chyby pro data RTK UPOL z Tab. 8.2 a z Tab. 8.3 (Tab. 8.5). Z důvodu předchozího zjištění, že přesnost bodů 1 až 3 je zkreslena kvůli původu dat referenčních dat, byl pro data z Tab. 8.3 vypočítán korelační koeficient pro všechny body a také pouze pro body 4 až 8. Největší rozdíl koeficientů se projevil o hodnotu 0,323 v ose Z. O tuto hodnotu je míra korelace nižší pro body 4 až 8 oproti hodnotě pro všechny body.

Tab. 8.5 Korelační koeficienty středních chyb metody RTK UPOL

| Data | m_x | m_y | $m_{x,y}$ | m_z |
|------------------------|-------|-------|-----------|-------|
| Tab. 8.2 | 0,829 | 0,296 | 0,872 | 0,820 |
| Tab. 8.3 – body 1 až 8 | 0,953 | 0,287 | 0,945 | 0,619 |
| Tab. 8.3 – body 4 až 8 | 0,918 | 0,286 | 0,909 | 0,296 |

Míra korelace středních chyb pro osu X se ve všech případech projevila obdobně, a to vysokou mírou korelace v kladném směru (v rozmezí 0,829 až 0,953). Hodnoty korelačního koeficientu pro m_y jsou téměř srovnatelné (v rozmezí 0,286 až 0,296) a značí pouze mírnou kladnou korelaci vztahu vzdálenosti a přesnosti. Z nich vycházející střední souřadnicová chyba $m_{x,y}$ se projevuje opět silnou kladnou korelací ve všech případech (v rozmezí 0,872 až 0,945). Proměnlivý korelační koeficient je zřejmý pro osu Z. Zatímco hodnota měřických dvojic značí silnou korelační vazbu (0,820), pro měřické dvojice hodnocené vzhledem k referenčním souřadnicím tato hodnota významně klesá (0,619 a 0,296). Důvodem je vysoká nepřesnost v ose Z u bodu 6, která svou vysokou hodnotou vybočuje oproti ostatním hodnotám, a tím narušuje korelační vazbu. Proto objektivnějším ukazatelem míry korelace vzdálenosti a přesnosti v ose Z je korelační koeficient měřických dvojic.

Pro všechny osy je potvrzen vliv vzdálenosti referenční stanice od měřeného bodu na přesnost, avšak pro osu Y je tento nárůst minimální. Graficky je vliv přesnosti vzhledem k vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu znázorněn vynesáním dat z Tab 8.2 pro RTK UPOL do bodového grafu, který je proložen křivkou lineární regrese (Obr. 8.2). Graf je vytvořen pro střední chyby v jednotlivých osách m_x , m_y , m_z a pro střední souřadnicovou chybu $m_{x,y}$.



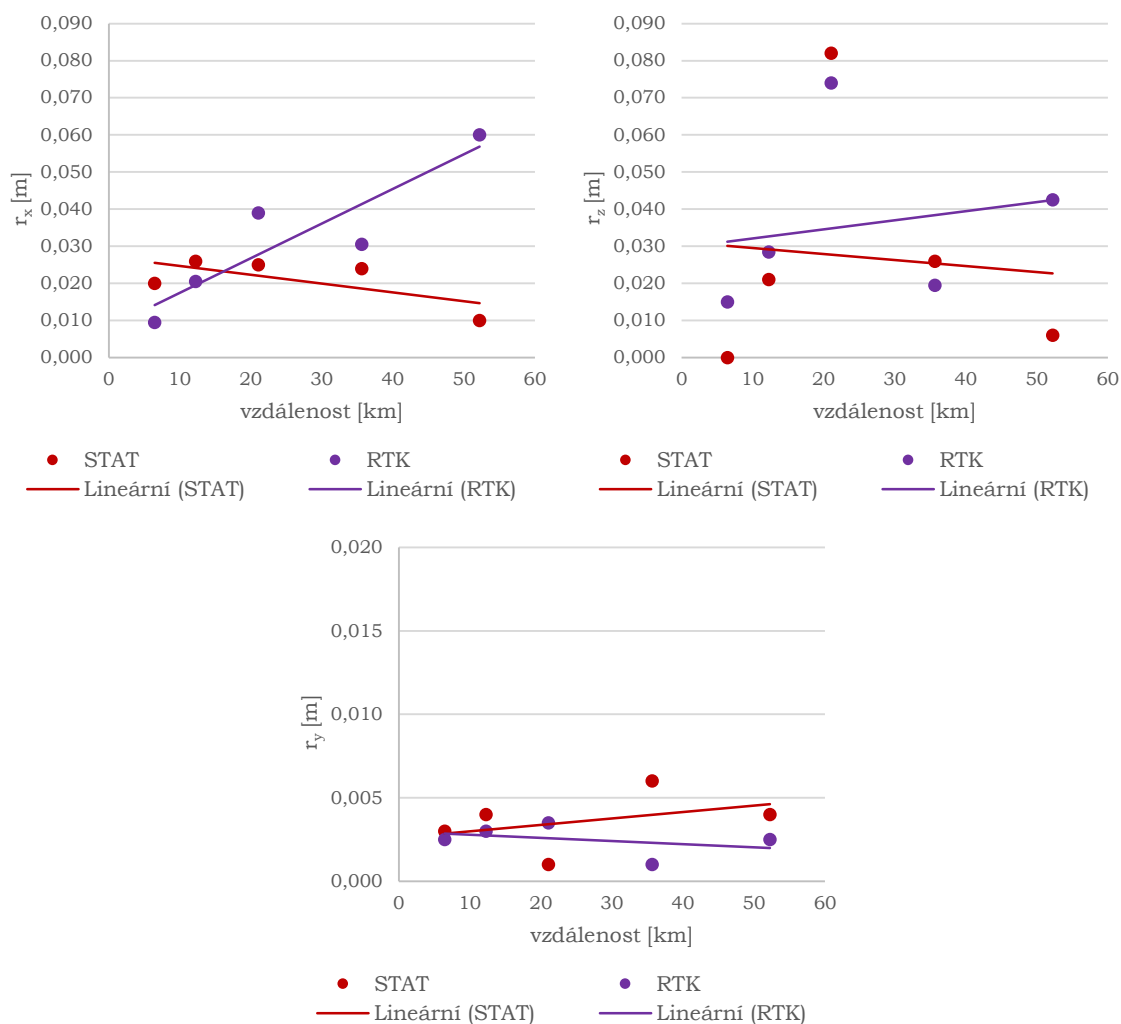
Obr. 8.2 Graf vztahu vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu a přesnosti RTK metody s korekcemi UPOL.

Srovnání statické a RTK metody

Srovnání statické a RTK metody ve vztahu přesnosti a vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu je provedeno vytvořením bodového grafu a proložením křivky lineární regrese. Do grafu jsou vyneseny hodnoty z Tab 8.4 pro rozdíly v jednotlivých souřadnicových osách (r_x , r_y , r_z) pro statickou metodu a pro RTK UPOL (Obr. 8.3).

Statická metoda v hodnotách rozdílů v osách X a Z projevuje ve srovnání s RTK klesající trend. V ose Y je trend stoupající, avšak hodnoty rozdílů jsou natolik nízké (většina do 0,5 cm), že vliv na výslednou přesnost je zanedbatelný.

Využití statické metody u bodu 8 dokázalo výborně eliminovat negativní vliv velké vzdálenosti způsobující nižší přesnosti, který se projevil při využití RTK metody. Lze konstatovat, že vliv vzdálenosti u statické metody není shledán a při horších výsledcích metody RTK lze použít statickou metodu minimálně do testované vzdálenosti 52,2 km a získat tak výsledky s požadovanou přesností.



Obr. 8.3 Graf vztahu vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu a přesnosti RTK UPOL a statické metody.

8.2 Hodnocení vlivu meteorologických prvků

Ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření je provedeno na základě sedmi měření na jednom bodě za různých meteorologických podmínek. Při každém měření byla využita 30minutová statická metoda a 5sekundová observace RTK metody s korekcemi z UPOL a pro srovnání s korekcemi sítě TopNET. Ze sedmi měření byly vytvořeny dvě dvojice a jedna trojice sad měření, které byly získány za zhruba stejných podmínek (Tab 6.1). V případě sady 2.2 nebyly získány pro RTK UPOL žádná data z důvodu neumožnění přenosu korekcí způsobeného nefunkčností internetového připojení v budově, na které je stanice instalována.

8.2.1 Hodnocení měřických dvojic a trojic

Pro vyloučení hrubých chyb byly vypočítány střední chyby m_x , m_y , $m_{x,y}$ a m_z pro dvojice a trojice měření. Charakteristika přesnosti trojice měření byla počítána dle vzorců (5) a (10) až (13) a byla užita pouze v případě sady měření 2.1, která sdružuje tři měření provedená za příznivých podmínek relativní vlhkosti vzduchu a stavu geomagnetického pole Země. V ostatních sadách měření 2.2 a 2.3 byly výpočty provedeny dle vzorců (5) až (9). Měření 2.2 byla provedena za příznivé podmínky relativní vlhkosti vzduchu a nepříznivém stavu geomagnetického pole, při měření 2.3 byly oba tyto faktory nepříznivé.

Výsledné hodnoty vyloučily existenci hrubých chyb. (Tab. 8.6 a Tab. 8.7). Ze srovnání hodnot středních chyb u metody RTK za použití korekcí UPOL a TopNET vyplývá, že v ose X je dosaženo totožné hodnoty a v ose Y a Z je potvrzena vyšší přesnost UPOL. Výsledky středních chyb statické metody dosahují nejlepších přesností ze všech použitých metod. Obecně všechny dvojice a trojice jsou charakterizovány velmi nízkými hodnotami středních chyb a neprojevují se ve výsledcích žádné náznaky zhoršení přesnosti kvůli nepříznivým meteorologickým podmínkám v době měření.

Tab. 8.6 Přesnost měřických dvojic a trojic měřených RTK metodou

| Měření | UPOL | | | | VRS TopNET | | | |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
| 2.1 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,005 | 0,007 | 0,006 | 0,016 |
| 2.2 | - | - | - | - | 0,001 | 0,009 | 0,006 | 0,009 |
| 2.3 | 0,005 | 0,001 | 0,003 | 0,006 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,006 |
| Průměr | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,007 | 0,005 | 0,010 |

Tab. 8.7 Přesnost měřických dvojic a trojic měřených statickou metodou

| Měření | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 2.1 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,003 |
| 2.2 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,004 |
| 2.3 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| Průměr | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |

8.2.2 Hodnocení vzhledem k referenčním datům

Referenčními souřadnicemi byly zvoleny průměrné hodnoty souřadnic z výsledků měření statickou metodou za příznivých podmínek (sada měření 2.1). Dle vzorců (5) a (14) byly vypočteny střední chyby m_x , m_y , $m_{x,y}$ a m_z (Tab. 8.8 a Tab. 8.9). Z výsledných hodnot pro RTK metodu vyplývá, že výsledky UPOL jsou výrazně lepší. Důvodem je stejný zdroj korekčních dat pro referenční data.

Tab. 8.8 Přesnost měřických dvojic a trojic měřených RTK metodou vzhledem k referenčním datům

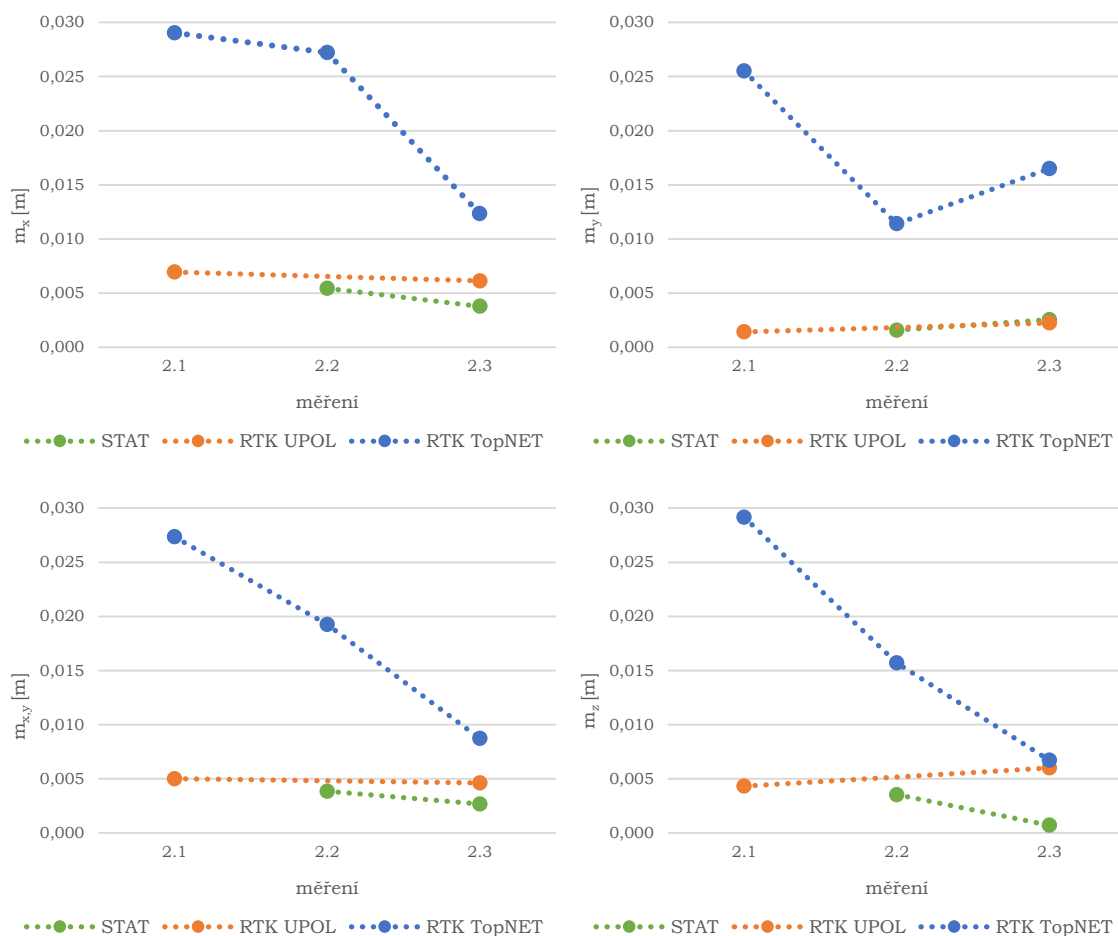
| Měření | UPOL | | | | VRS TopNET | | | |
|--------|-----------|-----------|---------------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
| | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
| 2.1 | 0,007 | 0,001 | 0,005 | 0,004 | 0,029 | 0,026 | 0,027 | 0,029 |

| | | | | | | | | |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.2 | - | - | - | - | 0,027 | 0,011 | 0,019 | 0,016 |
| 2.3 | 0,006 | 0,002 | 0,005 | 0,006 | 0,012 | 0,016 | 0,009 | 0,007 |
| Průměr | 0,007 | 0,002 | 0,005 | 0,005 | 0,023 | 0,018 | 0,018 | 0,017 |

Tab. 8.7 Přesnost měřických dvojic a trojic měřených statickou metodou vzhledem k referenčním datům

| Měření | m_x [m] | m_y [m] | $m_{x,y}$ [m] | m_z [m] |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 2.1 | - | - | - | - |
| 2.2 | 0,005 | 0,002 | 0,004 | 0,004 |
| 2.3 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,001 |
| Průměr | 0,005 | 0,002 | 0,003 | 0,002 |

Hodnoty středních chyb vzhledem k referenčním datům byly vyneseny do spojnicového grafu se značkami pro všechny metody (Obr. 8.4). Měření 2.3, které bylo uskutečněno za zhoršené podmínky relativní vlhkosti vzduchu i stavu geomagnetického pole Země, se projevuje nejlepší přesností ve všech středních chybách kromě střední chyby v ose Y m_y . Lze konstatovat, že přesnost statické metody a RTK metody není ovlivněna testovanými meteorologickými vlivy. Minimálně do hodnoty 4 Kp indexu a při maximální možné relativní vlhkosti vzduchu jsou zaručeny výborné výsledky měření.



Obr. 8.4 Graf vztahu meteorologických prvků a středních chyb.

8.3 Hodnocení stability souřadnic

Hodnocení stability souřadnic referenční stanice UPOL bylo provedeno srovnáním souřadnic určených v říjnu 2015 s výsledky opakovaného určení souřadnic v dubnu 2016. Při výpočtu určení souřadnic v dubnu bylo dosaženo těchto hodnot:

Rovinné souřadnice UPOL v S-JTSK – EPSG: 5513 a odhady aposteriorních středních chyb:

| Y [m] | m_y [m] | X [m] | m_x [m] | Z [m] | m_z [m] |
|------------|-----------|-------------|-----------|---------|-----------|
| 546015,206 | 0,001 | 1121683,296 | 0,001 | 247,430 | 0,018 |

Geocentrické souřadnice UPOL v ETRS89 – EPSG: 4258

| φ | λ | H |
|------------------|------------------|-----------|
| 49°35'34,56309"N | 17°16'01,38823"E | 290,974 m |

Výsledné souřadnice z dubnového měření vypovídají, že ve všech souřadnicových osách bylo dosaženo totožných hodnot jako při určení souřadnic v říjnu 2015. Lze konstatovat, že referenční stanice UPOL není postihnuta nesprávným určením souřadnic a nejví nález nestability z důvodu pohybu stanice. Pro adekvátní posouzení stability stanice je potřebné nadále sledovat její vývoj v čase.

9 DISKUZE

Zpracování této bakalářské práce provázelo několik problémů. Po první realizované měřické kampani statickou metodou nastal problém při postprocessingu v softwaru Topcon Tools. Při importu korekčních dat UPOL do softwaru nebyly souřadnice v souřadnicovém systému S-JTSK totožné jako v protokolu při určování souřadnic stanice. Po neúspěšné snaze vyřešit tento problém bylo definitivně rozhodnuto, že veškeré zpracování dat bude realizováno v souřadnicovém systému ETRS89. Nicméně tento problém byl objasněn při opakovaném určení souřadnic, při kterém se zjistilo, že při výpočtu v říjnu 2015 byl použit neplatný transformační klíč.

V začátku druhé měřické kampaně došlo k potížím s aparaturou HiPer II, kterou kvůli poruše softwaru nebylo možno dále používat. V dalších měření byla tato aparatura nahrazena měřicí aparaturou od společnosti Trimble s přijímačem R4. Bylo potřeba provést nastavení přijímače tak, aby bylo možné odebírat korekční data a byly zajištěny stejné parametry nastavení jako při měření přístrojem HiPer II (nastavení elevační masky, intervalu záznamu dat, atd.). Také bylo nutné zajistit licenci a správně nastavit software Trimble Business Center pro zpracování měřených dat.

Referenčními daty u bodů 1 až 3 byly zvoleny výsledky statické metody s korekčními daty UPOL, výsledné přesnosti RTK UPOL proto dosahovaly lepších hodnot oproti RTK TopNET. Pro objektivnější srovnání metod a zdrojů korekčních dat by bylo vhodné statickou metodu zpracovat i s korekcemi sítě TopNET, avšak tato data nebyla získána. Předpokladem je, že přesnost RTK UPOL by se jevila vzhledem k referenčním datům získaných statickou metodou s využitím korekcí TopNET horší ve srovnání s RTK TopNET. Námětem pro další rozpracování ověření přesnosti by mohlo být zjištění, do jaké vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice lze využít statickou metodu s efektivními výsledky. Také by mohla být stanovena nejkratší možná délka observace.

Ověření stability polohy stanice bylo provedeno za použití korekčních dat stejné sítě referenčních stanic jako při prvotním určení souřadnic. Snahou bylo měřená data zpracovat s korekcemi z jiných sítí (CZEPOS nebo TopNET). Protože se jedná o data pocházející z více jak 300 hodin nepřetržitého záznamu dat, nebylo možné v takovém rozsahu zajistit korekční data z jiných sítí referenčních stanic. Pro ověření stability referenční stanice je jedno opakované určení souřadnic nedostatečné. Tento úkol je dlouhodobý a nad časový rámec této bakalářské práce. Námětem k dalšímu rozpracování této problematiky je sledování stability minimálně po dobu jednoho roku, lépe po dobu několika let. Z těchto dat by bylo možné určit změny vývoje polohy stanice v čase v závislosti na ročních obdobích.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo ověřit přesnost produkovaných dat UPOL, a to především ve vztahu vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice a srovnání výsledků měření s korekčními daty produkovaných sítí referenčních stanic, která je běžně využívána v geodetické praxi. Dalším cílem bylo ověřit přesnost dat i za zhoršených meteorologických podmínek a ověřit stabilitu souřadnic UPOL. Výsledky jednotlivých cílů měly být podrobeny statistickému vyhodnocení, na základě kterých lze rozhodnout o kvalitě produkovaných dat UPOL.

Pro ověření přesnosti produkovaných dat UPOL bylo vybráno osm stanovišť ve vzdálenostech 0,3 km až 52,2 km od referenční stanice. Na bodech 1 až 3, které se nacházejí na území obce Olomouc, byla provedena vlastní stabilizace. Ostatní body jsou součástí ZPBP. Testování proběhlo ve dvou měřických kampaních za použití dvoufrekvenčních geodetických přijímačů HiPer II od společnosti Topcon a R4 od společnosti Trimble. Každému měření předcházelo jeho plánování, byly sledovány parametry PDOP, počet satelitů, Kp index, stav a vývoj počasí v době měření. Při měření bylo využito statické metody v jednotné délce observace 30 minut a 5sekundové observace RTK metody. Při všech měřeních byly přijímány signály systémů GPS a GLONASS a elevační maska byla nastavena na 13 °. Na každém z osmi bodů bylo realizováno dvojí měření RTK metodou za využití korekčních dat UPOL ve formátu RTCM 3.0 a pro srovnání byla využita služba VRS sítě referenčních stanic TopNET ve formátu RTCM 3.0. Na bodech s vlastní stabilizací bylo provedeno dvojí měření statickou metodou, na ostatních bodech pouze jedno. Surová data získána měřeními statickou metodou byla zpracována postprocessingem s korekčními daty UPOL ve formátu RINEX (verze 2.1 a 3.0).

Veškeré zpracování a hodnocení výsledků probíhalo v souřadnicovém systému ETRS89. Pro každou dvojici měření byly vypočítány charakteristiky hodnocení přesnosti – výběrové střední chyby pro jednotlivé souřadnicové osy (m_x , m_y , m_z) a výběrové střední souřadnicové chyby ($m_{x,y}$). Z výsledných hodnot středních chyb bylo ověřeno, že žádné měření není zatíženo hrubou chybou. Z porovnání měřických dvojic RTK metody s korekcemi UPOL a TopNET vyplynulo, že UPOL v ose Y dosahuje třikrát vyšší přesnosti než TopNET, avšak všechny výsledné hodnoty středních souřadnicových chyb $m_{x,y}$ splnily přesnost danou katastrální vyhláškou (vyhláška č. 357/2013 Sb.) pro tvorbu PPBP v hodnotě 0,06 m. Průměrná střední souřadnicová chyba $m_{x,y}$ měřických dvojic UPOL dosahuje hodnoty 0,008 m, pro TopNET tato hodnota je 0,012 m. Lze konstatovat, že korekce UPOL pro RTK metodu se srovnáním se službou VRS sítě TopNET dosahují srovnatelně stejných přesností a v některých případech i lepších výsledků až do vzdálenosti 52,2 km od stanice UPOL.

Vliv přesnosti vzhledem k vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu byl vyjádřen korelačním koeficientem. Pro všechny souřadnicové osy byla z výsledků potvrzena kladná korelace značící přímo úměrný vztah narůstající vzdálenosti referenční stanice UPOL od měřeného bodu a zhoršující se přesnosti. Zatímco osy X a Z se vyznačily silnou korelační vazbou (0,83 a 0,82), osa Y projevila pouze mírný vztah (0,30). Ze srovnání výsledků přesnosti statické a RTK UPOL metody vyplynulo, že využití statické metody dokáže výborně eliminovat negativní vliv zhoršující se přesnosti s narůstající vzdáleností od UPOL, který se projevuje při využití RTK metody. Vliv vzdálenosti u statické metody nebyl shledán v žádné ose, proto při horších výsledcích metody RTK lze využít metodu statickou minimálně do testované vzdálenosti 52,2 km a získat tak výsledky s požadovanou přesností.

Pro ověření vlivu meteorologických prvků na přesnost měření bylo provedeno sedm měření na bodě vzdáleném 1,3 km od stanice UPOL. Byly použity stejné přístroje, nastavení, metody a korekční data jako u předchozích měřických kampaní. Čtyři ze sedmi měření byla realizována za zhoršených podmínek relativní vlhkosti vzduchu a stavu geomagnetického pole Země. Tyto dva faktory způsobují refraktivitu elektromagnetického záření vysílaného družicemi v atmosféře. Nejvyšší hodnota relativní vlhkosti vzduchu v době měření byla 90,7 % a planetárního Kp indexu v hodnotě 5. Vypočítané střední chyby vyloučily zatížení výsledků hrubými chybami a vyplynulo z nich, že přesnost statické a RTK metody není ovlivněna testovanými meteorologickými vlivy a lze využívat korekce za nepříznivých podmínek se stejnou přesností jako za podmínek příznivých.

Pro ověření stability referenční stanice bylo provedeno opakované určení souřadnic, které bylo porovnáno se souřadnicemi určenými v říjnu 2015. Bylo zrealizováno měření statickou metodou v délce observace přes 300 hodin, postprocessing zajistila společnost Geotronics Praha, spol. s r. o. Z výpočtu vyplynulo, že souřadnice ve všech osách jsou totožné se souřadnicemi určenými v říjnu roku 2015. Stabilita referenční stanice je tedy zajištěna, ale je potřeba sledovat její vývoj i v budoucnosti.

Závěrem lze konstatovat, že stanice UPOL produkuje korekční data, která zajišťují určení polohy s výbornou přesností. Využívání služeb UPOL je vhodné pro velmi přesné geodetické účely i za zhoršených meteorologických podmínek. Ověření souřadnic UPOL potvrdilo jejich stabilitu, avšak ověření stability je dlouhodobý úkol, kterým je potřeba se zabývat i nadále. Na základě výsledků cílů bakalářské práce lze referenční stanici UPOL doporučit k zapojení do dalších sítí referenčních stanic.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Co je CzechGeo. *Datový portál CzechGeo* [online]. c2011-2016 [cit. 2016-07-12].
Dostupné z: <http://www.czechgeo.cz/article/default/co-je-czechgeo>

Current Solar Data: NOAA data. *N3KL* [online]. 2001 [cit. 2016-07-10]. Dostupné z:
<http://www.n3kl.org/sun/noaa.html>

ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS* [online]. Praha, 2008 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z:
<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/view>

ČÚZK: Geoportál. *ČÚZK* [online]. c2010 [cit. 2016-07-09]. Dostupné z:
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(jvs1unqdhvkruwu12xl525l\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=19](http://geoportal.cuzk.cz/(S(jvs1unqdhvkruwu12xl525l))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=19)

DVOŘÁK, Jan. *Testování GNSS aparatur Trimble GeoXR na etalonu VÚGTK Skalka* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z:
<http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2014/jan-dvorak-dp-2014.pdf>

Geofyzikální ústav: Předpověď geomagnetické aktivity. GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR, v.v.i. *Geofyzikální ústav* [online]. 2005, 2016 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z:
<https://www.ig.cas.cz/noright/predpoved-geomagneticke-aktivity>

GNSS Planning Online. *Trimble - Transforming the Way the World Works* [online]. 2016 [cit. 2016-07-12]. Dostupné z: <https://www.trimble.com/gnssplanningonline/>

HAUF, Miroslav a kol. *Geodézie: Technický průvodce*. Svazek 42. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982, 544 s.

HEJDOVÁ, Jana. *Ověření možnosti získání dvou nezávislých určení polohy z jednoho měření GNSS aparaturou* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z:
https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/5071/BP_Hejdova.pdf?sequence=1

HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard. *Global positioning system: theory and practice*. 5th, rev. ed. Wien: Springer, 2001, xxii, 382 s. ISBN 32-118-3534-2.

Index of /sun/noaa_archive. *N3KL* [online]. 2001 [cit. 2016-07-10]. Dostupné z:
http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/

ITC. *ČÚZK: Geoportál* [online]. 2016 [cit. 2016-07-29]. Dostupné z:
<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?serverconf=bodpole>

KOVAŘÍK, Karel. *Srovnání přesnosti měření GNSS v síti referenčních stanic* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2012/karel-kovarik-dp-2012.pdf>

LÁSKA, Zdeněk, Martin TEŠNAR, Jaroslav SLABÝ a Jan SUKUP. *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi* [online]. 2010 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf

LUŇÁK, Tomáš. *Testování přesnosti měření GPS metodou RTK* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/dp/2007/Lunak__Testovani_presnosti_mereni_GPS_metodou_RTK_BP.pdf

MINAŘÍK, Robert. *Hodnocení přesnosti GNSS přístrojů v závislosti na jejich konfiguraci* [online]. Olomouc, 2013 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/vcz63a/00179005-878098105.pdf>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

MISRA, Pratap a Per ENGE. *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*. Revised Second Edition. Lincoln, Massachusetts: Ganga-Jamuna Press, 2011. ISBN 978-0-97095442-8.

Odbor geodetických základů [online]. c2003-2011 [cit. 2016-07-09]. Dostupné z: <http://bodovapole.cuzk.cz/>

Operační centrum sítě VESOG. *Výzkumná a experimentální síť pro observace s GNSS* [online]. 2016 [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: <http://oko.pecny.cz/vesog/>

O síti. *GEOTRONICS Praha | Prodej a servis geodetických přístrojů* [online]. c2016 [cit. 2016-07-12]. Dostupné z: <http://geotronics.cz/produkty/gnss-korekce/o-siti/>

O síti TopNET. *TopNET* [online]. c2012 [cit. 2016-07-12]. Dostupné z: <http://topnet.gb-geodezie.cz/topnet/topnet.aspx>

PISCA, Peter. *Globálne navigačné systémy* [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: http://svf.utc.sk/kgd/skripta/Globalne_navigacne_systemy.pdf

Předpověď geomagnetické aktivity. *Geofyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i.* [online]. 2016 [cit. 2016-07-10]. Dostupné z: <https://www.ig.cas.cz/noright/predpoved-geomagneticke-aktivity>

RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy* [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_source/RAP02.pdf

ŘÍHA, Jan. *Moderní přístrojová technika* [online]. PRAHA, 2014 [cit. 2016-07-10].

Dostupné z:

http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/01_04_Modern%C3%AD%20p%C5%99%C3%A1Dstrojov%C3%A1%20technika%20-%20GNSS.pdf

SEDLÁK, Vladimír, Peter LOŠONCZI a Ivana PODLESNÁ. *Družicové navigačné systémy* [online]. 1. vyd. Košice: Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, 2009

[cit. 2016-06-20]. VŠBM v Košiciach. ISBN 978-80-89282-31-9. Dostupné z:

<http://mafiajara.stranky.cc/4.%20rocnik/druzicove%20navigacne%20systemy/dns.pdf>

Senzor rychlosti větru. *Solar Monitor* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:

<http://www.solarmonitor.cz/cz/produkty/senzory/senzor-rychlosti-vetru-anemometr>

Space Weather Glossary. NOAA / NWS Space Weather Prediction Center [online]. [cit.

2016-07-29]. Dostupné z: <http://www.swpc.noaa.gov/content/space-weather-glossary>

ŠEDIVÝ, Michal. *Ověření dostupnosti a přesnosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z:

<https://stag-ws.zcu.cz/ws/services/rest/soubory/getSouborContent?soubIdno=14456>

ŠLOUFOVÁ, Alena. *Zjišťování stability polohy referenční GPS stanice PLZE v čase* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z:

http://gis.zcu.cz/studium/ZaverecnePrace/2007/Sloufova__Zjistovani_stability_polohy_referencni_GPS_stanice_PLZE_v_case__BP.pdf

ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-06-25]. Dostupné z:

http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE09_M01-Semin%C3%A1%C5%99%20GPS.pdf

TOPCON. *HiPer II Operator's Manual: Rev.C.* [online]. Livermore, 2010 [cit. 2016-07-01].

Dostupné z: http://www.topptopo.dk/uploads/media/manualer/GPS/HiPerII_OM.pdf

TRIMBLE. *Trimble R8 GNSS and R6, R4 and 5800 Model 3 GPS Receivers User Guide: Version 4.11 Revision A* [online]. 2009 [cit. 2016-07-01]. Dostupné z:

http://www.orient-mediterranee.com/IMG/pdf/R8-R6-R4-5800M3_UserGuide.pdf

TRIMBLE. *Trimble NetR9 GNSS Reference Receiver: User Guide* [online]. Raunheim, Germany, 2010 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:

http://geotronics.com.pl/produkty/Infrastruktura/NetR9/NetR9_UserGuide_13506.pdf

T3111 Snímač teploty a vlhkosti s výstupem 4-20mA. *Výrobce snímačů teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, dataloggerů, monitorovacích systémů* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/reg-T3111#featuress>

UHROVÁ, Helena. *Sběr terénních dat v morfologicky náročném terénu* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://theses.cz/id/dgxj0f/uhrova_BP.pdf

VILÍMKOVÁ, Miluše. *Testování sítě CZEPOS* [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/diplomka.pdf>

Vyhláška č.357/2013 Sb. o katastru nemovitosti (katastrální vyhláška) ze dne 1. listopadu 2013. [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-357>

WEIGEL, Josef. *Teorie chyb a vyrovnávací počet I: Základní druhy vyrovnání (1. část)* [online]. Brno, 2004 [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: [http://fast.darmy.net/opory%20-%20I%20Bc/GE04-Teorie_chyb_a_vyrovnavaci_pocet_I--M02-Zakladni_druhy_vyrovnani_\(1._cast\).pdf](http://fast.darmy.net/opory%20-%20I%20Bc/GE04-Teorie_chyb_a_vyrovnavaci_pocet_I--M02-Zakladni_druhy_vyrovnani_(1._cast).pdf)

ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. *Návod pro správu geodetických základů České republiky* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-07-22]. Dostupné z: [http://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod_pro_spravu_geodetickych_zakladu_151086722-\(1.aspx](http://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod_pro_spravu_geodetickych_zakladu_151086722-(1.aspx)

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1 Rozmístění a vzdálenost bodů měřické kampaně od UPOL
- Příloha 2 Ukázka stabilizace trigonometrických bodů
- Příloha 3 Ukázka vlastní stabilizace
- Příloha 4 Hodnoty PDOP a počet satelitů při měření RTK metodou
- Příloha 5 Hodnoty Kp a K indexu při měření pro ověření přesnosti
- Příloha 6 Dokumentace měřické kampaně

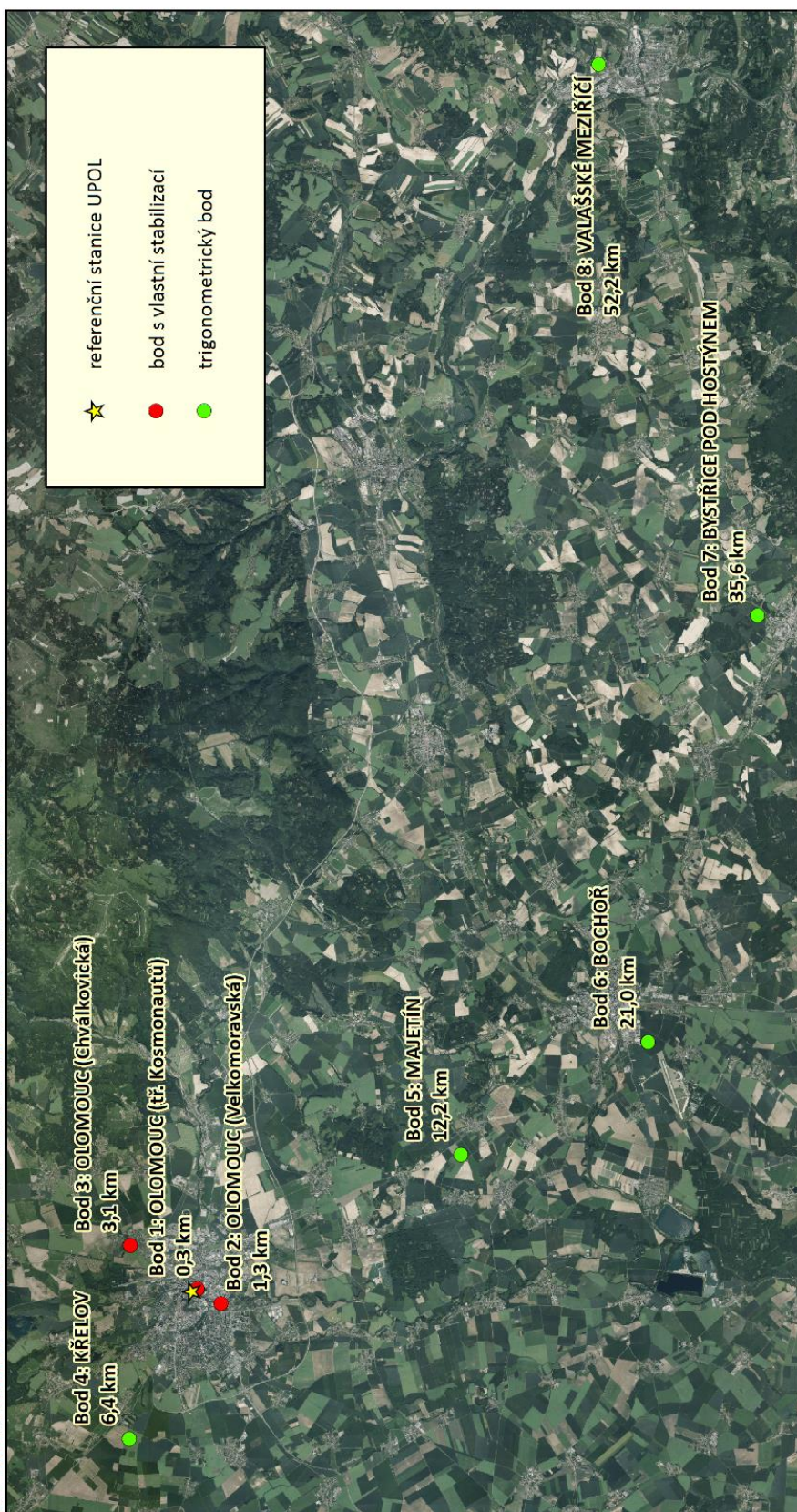
Volné přílohy

- Příloha 7 Poster
- Příloha 8 CD

Popis struktury CD

| Adresář | Podadresář |
|---------------|-------------|
| Metadata | - |
| Text_Prace | - |
| Vstupni_Data | Meteo |
| | Rinex |
| | Surova_data |
| Vystupni_Data | Excel |
| | Protokoly |
| Web | files |
| | img |

ROZMÍSTĚNÍ A VZDÁLENOST BODŮ MĚŘICKÉ KAMPANĚ OD UPOL



Příloha 2



Trigonometrický bod 16 Novovesko v Bystřici pod Hostýnem.

Příloha 3



Bod 2 Velkomoravská.

Příloha 4

| Datum | Čas | PDOP | Počet viditelných satelitů |
|---------------|------------|--------------|---------------------------------------|
| 04. 03. 2016 | 09:50 | 1,2 | 14 |
| 04. 03. 2016 | 12:00 | 1,4 | 10 |
| 04. 03. 2016 | 13:45 | 1,6 | 13 |
| 05. 03. 2016 | 10:00 | 1,2 | 13 |
| 05. 03. 2016 | 10:40 | 1,2 | 14 |
| 05. 03. 2016 | 12:45 | 1,2 | 11 |
| 06. 03. 2016 | 09:45 | 1,1 | 14 |
| 06. 03. 2016 | 10:50 | 1,1 | 16 |
| 25. 04. 2016 | 14:10 | 1,2 | 15 |
| 25. 04. 2016 | 15:00 | 1,1 | 16 |
| 28. 04. 2016 | 10:35 | 1,6 | 12 |
| 29. 04. 2016 | 14:15 | 1,5 | 13 |
| 29. 04. 2016 | 15:55 | 1,2 | 14 |
| 30. 04. 2016 | 10:30 | 1,5 | 12 |
| 21. 06. 2016 | 13:15 | 1,5 | 13 |
| 21. 06. 2016 | 14:15 | 1,6 | 11 |
| 08. 07. 2016 | 14:10 | 1,3 | 11 |
| 12. 07. 2016 | 09:50 | 1,1 | 16 |
| 12. 07. 2016 | 14:45 | 1,5 | 14 |
| 14. 07. 2016 | 11:10 | 1,5 | 14 |
| 14. 07. 2016 | 12:50 | 1,5 | 12 |
| Průměr | - | 1,338 | 3,238 |

Příloha 5

| Datum | Čas | Kp | K |
|---------------|------------|--------------|--------------|
| 02. 03. 2016 | 14:45 | 2 | 2 |
| 04. 03. 2016 | 09:50 | 0 | 0 |
| 04. 03. 2016 | 12:00 | 1 | 0 |
| 04. 03. 2016 | 13:45 | 1 | 0 |
| 05. 03. 2016 | 10:00 | 2 | 1 |
| 05. 03. 2016 | 10:40 | 2 | 1 |
| 05. 03. 2016 | 12:45 | 2 | 1 |
| 06. 03. 2016 | 09:45 | 2 | 2 |
| 06. 03. 2016 | 10:50 | 2 | 2 |
| 25. 04. 2016 | 14:10 | 2 | 2 |
| 25. 04. 2016 | 15:00 | 2 | 2 |
| 28. 04. 2016 | 10:35 | 2 | 1 |
| 29. 04. 2016 | 14:15 | 1 | 1 |
| 29. 04. 2016 | 15:55 | 1 | 1 |
| 30. 04. 2016 | 10:30 | 2 | 1 |
| 21. 06. 2016 | 13:15 | 1 | 1 |
| 21. 06. 2016 | 14:15 | 1 | 1 |
| Průměr | - | 1,529 | 1,118 |

Příloha 6



Bod 1 tř. Kosmonautů.



Bod 8 Valašské Meziříčí.