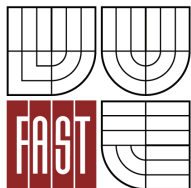




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

VYUŽITÍ PERMANENTNÍCH SÍTÍ GNSS PRO URČOVÁNÍ VÝŠEK

THE USING OF GNSS PERMANENT NETWORKS FOR HEIGHT DETERMINATION

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

VĚDNÍ OBOR

3646V003 GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. MICHAL KURUC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF WEIGEL, CSc.

OBSAH

1	Úvod	3
2	Cíle práce	3
3	Současný stav	4
3.1	Technologie GNSS	4
3.2	Modely kvazigeoidu	5
4	Určování průběhu kvazigeoidu na území města Brna	6
5	Testování služeb poskytovaných sítěmi permanentních GNSS stanic	6
5.1	Vyhodnocení dlouhodobé observace	6
5.1.1	Testovací měření přesnosti RTK observací	7
5.1.2	Zpracování RTK observací	8
5.1.3	Vyhodnocení polohové složky	8
5.1.4	Vyhodnocení výškové složky	8
5.1.5	Statistické vyhodnocení	9
5.1.6	Vyhodnocení observace statickou metodou	10
5.1.7	Určování doby inicializace	11
5.2	Opakování dlouhodobé observace	11
6	Současné určování výšek technologií GNSS a nivelací	12
6.1	Návrh držáku závěsné latě	12
6.2	Metodika současného měření technologií GNSS a nivelací	13
6.3	Varianty využití	14
6.4	Doporučený postup měření	15
7	Testování metody GNSS/nivelace	15
7.1	Síť AGNES	15
7.2	Určování kvazigeoidu	16
7.3	Porovnání s jinými modely kvazigeoidu	17
7.4	Testování kvazigeoidu pomocí kontrolního profilu	17
8	Porovnání modelu s astronomickým kvazigeoidem	18
9	Přínos práce	20
10	Závěr	21
	Použitá literatura	23
	Webové zdroje	25
	Curriculum vitae	27
	Seznam publikací v impaktovaných časopisech	28
	Seznam publikovaných prací	28
	Seznam prací přijatých k publikaci	29
	Abstract	30
	Key words	30

1 ÚVOD

Svůj rozmach v současné době zažívají technologie mobilního mapování, 3D skenování a metody permanentního monitoringu staveb. Technologie globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) v současnosti přestává dominovat v popředí aktuálního vývoje, jako tomu bylo ještě v nedávné době. Nicméně většina výše zmíněných technologií v určité míře družicových měření využívá a nezřídka je určování prostorové polohy pomocí GNSS jejich nezbytnou součástí. Právě z důvodu všeobecné aplikovatelnosti technologie GNSS jsou neustále vyvíjeny nové možnosti jejího využití.

V geodetické praxi se tato technologie stala jednou z nejpoužívanějších metod při měření v terénu. To je jeden z důvodů, proč vzniká potřeba garantovat výsledky získané pomocí technologie GNSS, resp. snaha stanovit konkrétní postupy měření, které by zajistily určitou kvalitu výsledných souřadnic. Otázky související s přesností určení prostorové polohy technologií GNSS jsou díky tomu stále aktuální. Testování metod a postupů, pomocí kterých by se dalo dosáhnout zvýšení přesnosti výsledných souřadnic je i v dnešní době žádoucí.

Disertační práce se zabývá testováním přesnosti při určování výškové složky souřadnic technologií GNSS. Bylo využíváno jak měření statickou metodou, tak metodou měření v reálném čase – Real Time Kinematic (RTK), která je často využívanou metodou při měření družicovými metodami v praxi. Dále byl vyhodnocován vliv některých faktorů působících během měření, jako např. vliv denní doby, vliv použití služeb různých sítí permanentních stanic apod. Pro účely analýzy přesnosti družicových měření byly realizovány speciálně navržené experimenty, v rámci kterých byly vyhodnocovány jak dlouhodobé observace na jednotlivých bodech, tak GNSS observace na několika desítkách bodů se standardní délkou observace. Za tím účelem byly vybudovány testovací sítě, které se nachází na území města Brna a v jeho okolí.

2 CÍLE PRÁCE

V posledních několika letech dochází v České republice k rozvoji sítí permanentních GNSS stanic. Sice již nevznikají nové sítě, nicméně stávající sítě jsou neustále inovovány tak, aby podporovaly co nejvíce aktuálně dostupných globálních navigačních družicových systémů. Zvyšuje se počet služeb poskytovaných sítěmi permanentních stanic a také se zvyšuje kvalita těchto služeb.

Z legislativních důvodů jsou více upřednostňovány požadavky na polohovou přesnost, které jsou kladeny např. pro práci v katastru nemovitostí. Nicméně technologie GNSS je využívána i v ostatních aplikacích geodetických činností a často bývá využívána také pro určování výšek bodů. Technologie GNSS umožňuje získávat výšky bodů s nižší přesností než jejich polohu, nicméně v souvislosti s vývojem poskytovaných služeb se i kvalita určení výškové složky zvyšuje.

Tato práce si klade za cíl zhodnotit současný stav RTK služeb poskytovaných vybranými sítěmi permanentních GNSS stanic na území České republiky. Kvalita poskytovaných korekčních dat je nejčastěji charakterizována přesností, se kterou pomocí těchto dat získáme prostorové souřadnice určených bodů. Vedle této přesnosti lze služby rozlišovat také podle

jejich dostupnosti, podle doby inicializace, podle způsobu generování korekčních dat atd. V rámci této práce byla navržena řada experimentálních měření, pomocí kterých byla testována nejen přesnost určování prostorové polohy, ale také další faktory, např. vliv dlouhodobé observace, doba inicializace dosažená pomocí vybraných RTK služeb apod.

Dále si tato práce klade za cíl doporučit na základě těchto testovacích měření optimální postup měření za účelem získání výsledků s kvalitní přesností výškové složky. K tomuto účelu a zároveň z důvodu potřeby kvalitního výškového bodového pole pro výše zmíněná testovací měření byla v rámci této práce vybudována síť výškových bodů na části území města Brna, která byla využita rovněž pro vytvoření modelu kvazigeoidu metodou GNSS/nivelace. Jedná se o lokální model kvazigeoidu pro vybranou část území města Brna. Přesnost tohoto modelu byla vyhodnocena pomocí porovnání s jinými modely dostupnými na daném území. Vedle globálních modelů kvazigeoidu, které jsou k dispozici pro území ČR, byl model porovnán také s modelem získaným z astronomických měření.

3 SOUČASNÝ STAV

Výšky bodů ve výškovém bodovém poli na území České republiky byly určovány pomocí nivelačních měření. Vedle metody geometrické nivelace existují i další metody, pomocí kterých lze určovat výšky resp. převýšení. Je to např. trigonometrické měření, hydrostatická nivelace, barometrické měření, fotogrammetrie nebo družicová měření. Zdaleka ne všechny metody však poskytují dostatečnou přesnost výsledků a také nejsou vždy vhodné pro určování výšek na rozsáhlém území států, popř. celého kontinentu.

Kromě požadavků na přesnost jsou také důležité ekonomické požadavky na měření, popř. na údržbu vybudovaných výškových bodových polí. Z tohoto pohledu již metoda nivelace nemusí být vždy tou nejvhodnější metodou. Často bývá pro určování výšek využívána některá z výše uvedených metod, v současné době je to zejména technologie GNSS. Pro některé aplikace v geodetické praxi je přesnost určování výšek pomocí družicových měření často dostačující. Výsledky získané tímto způsobem se postupem času neustále zkvalitňují v souvislosti s vývojem nových služeb, které jsou poskytovány prostřednictvím sítí permanentních GNSS stanic. Je bezesporu, že v některých případech, zejména při měření v extravilánu nebo v místech s řídkou hustotou nivelačních bodů, je oproti výše uvedeným metodám určování výšek technologie GNSS výhodnější především z hlediska menší časové náročnosti měření. Lze nalézt také lokality s vyložené nepřístupným terénem, jako jsou bažinaté oblasti, těžko dostupné horské oblasti, popř. ostrovy vzdálené od břehu, kde nivelační měření využít ani nemůžeme.

3.1 Technologie GNSS

V současné době je v provozu několik družicových navigačních systémů, které dokáží určovat polohu kdekoli na Zemi. Tyto systémy jsou navíc vzájemně nezávislé a trendem výrobců GNSS aparatur je využívat při měření co nejvíce dostupných družic z různých družicových systémů.

Struktura družicových navigačních systémů je obecně popisována pomocí rozdělení do čtyř segmentů. Vedle kosmického, řídicího a uživatelského segmentu se uvádí také podpůrný

segment, ve kterém jsou zahrnuty systémy pro zpřesnění navigační polohy, jako např. systém SBAS (WAAS, EGNOS apod.). Do tohoto segmentu lze zahrnout také sítě permanentních GNSS stanic, které poskytují služby pro zvýšení přesnosti polohy v reálném čase.

Na území České republiky je provozováno několik sítí permanentních GNSS stanic. Některé působí lokálně na menších, zájmových územích (např. síť by/S@T byla jednou z prvních sítí permanentních GNSS stanic působících ve středočeském kraji), jiné globálně na území celé republiky (síť CZEPOS, TopNET, Trimble VRS Now Czech). Některé permanentní stanice výše uvedených sítí jsou zároveň součástí některých evropských anebo celosvětových sítí permanentních GNSS stanic.

S rozvojem permanentních GNSS stanic, které nepřetržitě registrují signály navigačních satelitních systémů, se rozvíjí přesnost poskytovaných RTK korekcí použitím dat z více stanic. Obecně lze síťové RTK korekce používat pomocí dvou základních principů:

- princip generování virtuální referenční stanice (VRS),
- princip přenosu vysílaných korekcí.

Hlavní rozdíl těchto dvou způsobů je v tom, že při použití VRS módu jsou korekční data aplikována na síťovém serveru, zatímco vysílané korekce jsou aplikovány v aparatuře rover.

3.2 Modely kvazigeoidu

Model kvazigeoidu lze vytvářet pomocí několika metod. Mezi ty nejčastěji používané lze zařadit tyto metody:

- gravimetrická metoda,
- astronomicko-geodetická nivelace,
- GNSS/nivelace.

Výsledkem nejpřesnějších z nich (astronomicko-geodetické nivelace, gravimetrické metody) je buď relativní model kvazigeoidu, popřípadě geoid vztahovaný k referenčnímu elipsoidu, jehož střed je totožný s těžištěm Země. Pro praktické využití se používají modely vztahované k referenčním elipsoidům v běžně užívaných souřadnicových systémech, např. WGS84. Jednou z metod určování odlehlosti kvazigeoidu ζ vzhledem k elipsoidu WGS84 je právě metoda GNSS/nivelace. Je sice náročnější z hlediska měřických prací, ovšem v konkrétních měřených bodech nám přímo dává odlehlost kvazigeoidu od elipsoidu WGS84. Tato metoda bývá často použita pro absolutní umístění relativních modelů kvazigeoidu určených pomocí jiných metod anebo pro ověřování modelů kvazigeoidu, kdy umožňuje ve vybraných bodech nezávisle určit hodnotu převýšení kvazigeoidu nad elipsoidem.

Přesnou transformaci normálních a elipsoidických se zabývá vedle jiných služeb také aplikace InGeoCalc poskytovaná prostřednictvím webové aplikace na stránkách VÚGTK. Konkrétně se jedná o aplikaci hTrans, která nabízí uživateli výběr ze čtyř modelů kvazigeoidu. Jedním z nich je tzv. kombinovaný kvazigeoid InGeoCalc označovaný jako IGC-GRAV 2011. Tento model vychází z podrobného gravimetrického modelu Novák 2006, který byl rektifikován na bodech GNSS/nivelace použitých u předchozího modelu. Jeho přesnost byla určena metodou crossvalidace a lze ji vyjádřit směrodatnou odchylkou 0,029 m. V současné době lze tento model považovat za nejpodrobnější a nejpřesnější model kvazigeoidu pro území ČR. [30]

4 URČOVÁNÍ PRŮBĚHU KVAZIGEOIDU NA ÚZEMÍ MĚSTA BRNA

Jedním z hlavních cílů této práce je analýza přesnosti výškové složky při určování prostorové polohy bodů technologií GNSS. Tato problematika je v této práci řešena pomocí modelování průběhu kvazigeoidu metodou GNSS/nivelace. Tímto způsobem je možné porovnávat výsledky měření realizovaných technologií GNSS vzhledem k výsledkům nivelačních měření, která mají teoreticky řádově lepší přesnost při určování výšek.

Za tímto účelem byla na území města Brna vybudována síť výškových bodů, na kterých byla realizována potřebná měření. V roce 2006 byla započata testovací měření metodou GNSS/nivelace, přičemž elipsoidické výšky bodů byly určovány družicovými observacemi pomocí statické metody a nadmořské výšky byly určovány technickou nivelací. V roce 2008 tato síť obsahovala celkem 71 výškových bodů a pokryla část území města Brna.

S rozvojem sítí permanentních GNSS stanic byl posléze navržen postup měření, který využíval pro určování elipsoidických výšek metody RTK. V této souvislosti byla realizována testovací měření, při kterých byly porovnávány výsledky získané prostřednictvím vybraných služeb jednotlivých sítí permanentních GNSS stanic. Popis a výsledky těchto testovacích měření jsou obsaženy v kapitole 5.

V návaznosti na výše popsaná testovací měření byl navržen projekt, v rámci kterého byl vytvořen model kvazigeoidu pomocí navrženého postupu měření metodou GNSS/nivelace. K tomu účelu bylo přistoupeno k rozšíření sítě bodů, které byly použity pro určování průběhu kvazigeoidu. Nově vznikla síť bodů AGNES (Astronomicko-GNSS-Nivelační Experimentální Síť), na kterých byla realizována potřebná měření.

Model určený metodou GNSS/nivelace byl následně ověřen pomocí kontrolního profilu na trase Velká Bíteš – Brno a především pomocí plošného porovnání na území města Brna s modelem kvazigeoidu určeného astronomickou metodou. O těchto ověřovacích experimentech je pojednáno v kapitolách 7.4 a 8.

Na základě výsledků výše uvedených testovacích měření byl navržen specifický postup měření metodou GNSS/nivelace, při kterém dochází k určování elipsoidické i nadmořské výšky měřeného bodu současně, což přináší určité výhody. Popis navrženého způsobu měření, je uveden v kapitole 6.

5 TESTOVÁNÍ SLUŽEB POSKYTOVANÝCH SÍTĚMI PERMANENTNÍCH GNSS STANIC

5.1 Vyhodnocení dlouhodobé observace

Za účelem testování přesnosti určování prostorové polohy bodu metodou RTK bylo navrženo experimentální měření, jehož cílem bylo zhodnotit přesnost opakovaného určení prostorové polohy bodu během jednoho dne (opakovatelnost). Opakovatelnost je definovaná jako těsnost shody mezi výsledky měření provedených při stejných podmínkách, tj. za použití stejné měřické metody, týmž pozorovatelem, týmž měřidlem, na stejném místě, za přibližně stejných pracovních podmínek a opakovaně po krátkém časovém úseku. Pro experimentální

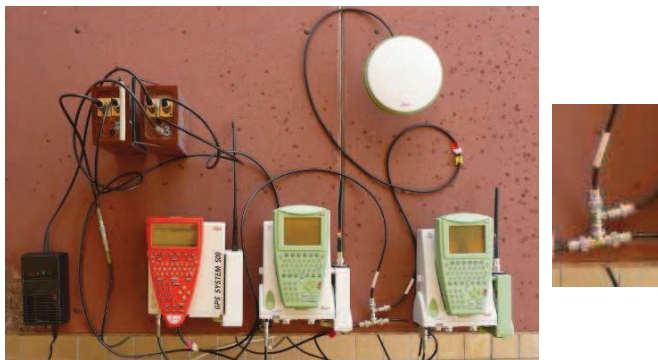
měření byly využity služby dvou vybraných sítí permanentních GNSS stanic – sítě CZEPOS a sítě Trimble VRS Now Czech.

Testovací měření se uskutečnilo na terase Střední průmyslové školy stavební, Kudelova 8 v Brně ve dnech 31. 8. a 1. 9. 2010. Pro měření bylo zvoleno stabilní postavení antény, tedy postavení aparatury na pilíři s nucenou centrací.

5.1.1 Testovací měření přesnosti RTK observací

Při měření byly testovány vybrané služby jednotlivých sítí permanentních GNSS stanic poskytované v reálném čase. Pro získání srovnatelných výsledků byly vybrány odpovídající si služby. Obě sítě poskytují RTK korekce v různých formátech a různých variantách. V rámci testovacího měření byly zvoleny služby VRS3-MAX sítě CZEPOS a TVN_RTCM_31 sítě Trimble VRS Now Czech. Oba tyto typy RTK korekcí jsou generovány na základě síťového řešení i z ostatních stanic příslušné sítě a oba typy korekcí jsou poskytované ve formátu RTCM verze 3.1.

Měřický experiment byl navržen tak, aby splňoval podmínky opakovatelnosti – měření v jednom místě, v krátkém časovém úseku, stejnou metodou a stejnými přístroji. Cílem experimentu bylo zhodnotit přesnost opakovaného určení prostorové polohy bodu metodou RTK během 24 hodin a určit statistické rozložení odchylek vzhledem ke vztažné poloze bodu určené statickou metodou. Z toho důvodu byla současně s RTK observací registrována také statická data. Pro realizaci tohoto měření bylo použito speciální zapojení aparatur (viz obr. 1). K jedné GNSS anténě byly pomocí anténního rozdělovače připojeny tři GNSS přijímače – první zaznamenával statická data, druhý přijímal RTK korekce sítě CZEPOS (služba VRS3-MAX) a třetí přijímal korekce sítě Trimble VRS Now Czech (služba TVN_RTCM_31).



Obr. 1 – a) zapojení GNSS aparatur, b) anténní rozdělovač signálu

Zapojení všech přijímačů ke stejné anténě umožnilo, že aparatury přijímaly totožné signály. Výsledky prostorové polohy pomocí jednotlivých aparatur byly tudíž získány za shodné konfigurace družic, se stejnými vlivy z nepřesností parametrů fázového centra antény a za shodného působení všech systematických vlivů v průběhu observace. Obě aparatury přijímající korekce RTK byly připojeny k internetu prostřednictvím stejného mobilního operátora a jednalo se o stejný model aparatury Leica System 1200. Jediný faktor, ve kterém se měření jednotlivými aparaturami lišilo, byl poskytovatel korekcí RTK a typ přijímaných korekcí.

5.1.2 Zpracování RTK observací

Při praktickém měření se pro určení souřadnic bodu nepoužívají observace s délkou pouze 1 s. Např. při určování souřadnic bodu pro účely katastru nemovitostí je stanoveno registrovat minimálně pět odečtů souřadnic. Při testování přesnosti sítě CZEPOS z roku 2006 [31] byly vyhodnocovány 20s, 40s a 60s observace, přičemž ve výsledcích se zvýšení přesnosti použitím observací delších než 20 s výrazně neprojevovalo. Z toho důvodu byly v rámci popsáného experimentu z 1sekundových dat vypočteny 5sekundové a 20sekundové klouzavé průměry bez překrytí průměrovaných hodnot. Tím došlo k určitému vyhlazení a získání informace o přesnosti průměrovaných měření. Následně bylo provedeno statistické vyhodnocení 1sekundových, 5sekundových a 20sekundových řešení pro obě použité služby zvlášť.

5.1.3 Vyhodnocení polohové složky

Vztažné souřadnice pro výpočet souřadnicových odchylek byly vypočteny zvlášť pro síť CZEPOS a zvlášť pro síť Trimble VRS Now pomocí postprocessingového zpracování statických dat. Jako referenční stanice byly použity stanice TUBO a CZBR pro řešení prostorové polohy v rámci příslušné sítě permanentních stanic.

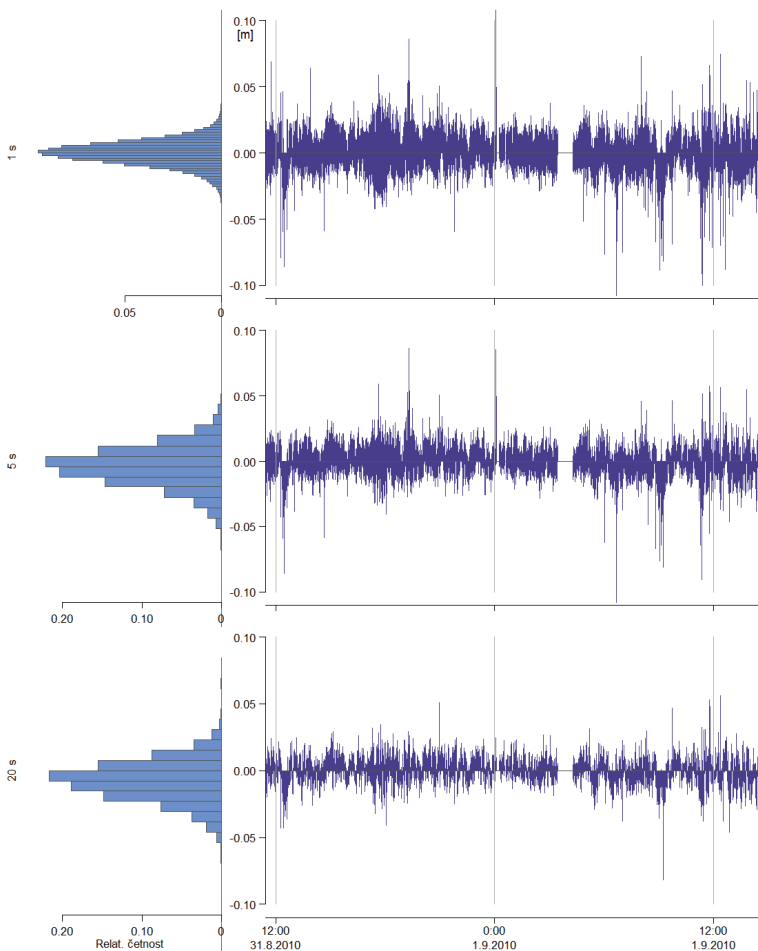
Za účelem vyhodnocení polohové přesnosti určení bodu byly z naměřených prostorových souřadnic v systému ETRS-89 (B, L, h) vypočteny jejich odchylky od vztažné polohy určené statickou metodou. Tyto odchylky byly převedeny na odchylky ve směrech N (sever), E (východ), U (nahoru). Z nich byla odvozena přesnost polohové složky. Střední polohové chyby vyhodnocovaných souborů 1s, 5s a 20s dat dosahují hodnot od 0,006 m do 0,007 m pro síť CZEPOS a od 0,003 m do 0,006 m pro síť Trimble VRS Now.

5.1.4 Vyhodnocení výškové složky

Při měření byly registrovány souřadnice v systému ETRS-89 (B, L, h), ze kterých byla následně vyhodnocována přesnost elipsoidické výšky h . Vzhledem k použitému postupu měření při tomto testování lze tvrdit, že vyhodnocované veličiny jsou zatíženy pouze systematickými chybami GNSS observace a chybami spojenými s přenosem RTK korekcí.

V případě výsledků získaných pomocí korekcí obou sítí došlo po výpočtu 5sekundových a 20sekundových průměrů k vyhlazení odchylek, směrodatné odchylky jednotlivých souborů dat se výrazně snižovaly. Spíše bylo patrné výraznější vyhlazení odlehlejších hodnot. Při zpracování odchylek byly rovněž porovnány střední hodnoty výšky určené metodou RTK z celé délky observace se vztažnými souřadnicemi ze statické metody. Jak pro síť CZEPOS, tak pro síť Trimble VRS Now Czech byla průměrná poloha určená metodou RTK odchýlena od vztažných souřadnic určených statickou metodou nejvýše o 0,002 m. Tím byla ověřena správnost nastavení výpočetních parametrů při postprocessingu, nastavení parametrů použitých antén, popř. jiných systematických vlivů.

Na obrázku 2 je znázorněn časový průběh výškových odchylek od jejich střední hodnoty, který byl získán pomocí korekcí ze sítě CZEPOS. Pro lepší názornost objemu registrovaných dat jsou na obrázku znázorněny také histogramy relativní četností výškových odchylek. Obdobným způsobem byl vyhodnocen také časový průběh výškových odchylek získaných pomocí korekcí ze sítě Trimble VRS Now Czech.



Obr. 2 – Časový průběh výškových odchylek – CZEPOS

5.1.5 Statistické vyhodnocení

Před vyhodnocením charakteristik přesnosti měřených veličin byl soubor zpracovávaných odchylek podroben statistickému testování. V rámci testování bylo ověřeno, že odchylky neobsahují systematicky odlehle hodnoty, a že se jedná o výběr s normálním rozdělením. Statistické testování bylo provedeno v programu STATISTICA 10 společnosti StatSoft. Na testované soubory odchylek byl nejprve aplikován test normality a následně byly určovány jednotlivé statistické charakteristiky naměřených dat.

Na základě statistických testů normality (Lilieforsovy modifikace Kolmogorov-Smirnovova testu a Shapiro-Wilkova testu) byly postupně zamítnuty hypotézy, že jednotlivé

vzorok neodpovídají normálnímu rozdělení na hladině statistické významnosti 5 %. Lze tedy s uvedeným rizikem konstatovat, že testované výběrové soubory splňují normální rozdělení. O normalnosti rozdělení souboru odchylek lze rozhodnout pomocí grafického zhodnocení histogramů četnosti souborů se všemi registrovanými daty, pomocí grafického vyhodnocení průběhu grafu distribuční funkce a tzv. kvantil-kvantilového grafu. Na základě průběhu těchto grafů lze konstatovat, že odpovídají očekávanému normálnímu rozdělení.

Dále byla na těchto testovaných souborech zjišťována míra korelace výsledné nadmořské výšky H a vybraných vlivů (použitá síť permanentních stanic, denní doba). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 – Statistické vyhodnocení souboru naměřených dat

síť	faktor		střední hodnota H [m]	směrodatná odchylka [m]	koeficient korelace	statistické vyhodnocení
CZEPOS	síť perm.		270,556	0,010	-0,233	nízká korelace
Trimble VRS Now	stanic		270,552	0,008		
CZEPOS	denní doba	den	270,555	0,010	0,139	nízká korelace
		noc	270,558	0,008		
Trimble VRS Now	denní doba	den	270,552	0,008	-0,009	žádná korelace
		noc	270,552	0,007		

Tučně zvýrazněné hodnoty jsou statisticky signifikantní na hladině významnosti 5 %. Všechny testy vyhodnotily nízkou nebo téměř žádnou míru závislosti srovnávaných veličin. Z dat získaných tímto experimentem nebyla potvrzena vzájemná závislost naměřené výšky na vybraných faktorech.

5.1.6 Vyhodnocení observace statickou metodou

Kromě výpočtu vztazných souřadnic bodu P4 byla statická data využita pro vytvoření časové řady znázorňující změny v určení prostorové polohy pomocí řešení po kratších intervalech. Obvykle se při praktickém měření pomocí dvoufrekvenční GNSS aparatury volí délka statické observace přibližně 15 minut, protože je to ve většině případů dostatečně dlouhá doba k úspěšnému vyřešení ambiguit a výpočtu souřadnic. Samozřejmě s ohledem na vzdálenost od referenční stanice, stav zastínění obzoru na určeném bodě a další faktory, může být délka observace jiná. V rámci tohoto zpracování byla statická observace vyhodnocena dvěma způsoby. Výpočet souřadnic byl uskutečněn postupně v jednotlivých intervalech (výpočtových oknech) v průběhu celé délky observace. Posouváním těchto výpočtových oken byly získány souřadnice pro každé okno, a tím vznikla časová řada. Za prvé byl realizován výpočet v 15minutových intervalech, které byly od sebe posunuty o 15 minut a za druhé v 3minutových intervalech s odstupem 1 minuta.

Směrodatné odchylky zpracovávaných souborů dat dosahovaly hodnot 0,002 m až 0,006 m. Tyto hodnoty potvrdily předpoklad, že výsledky statické observace vykazují vyšší přesnost než výsledky získané metodou RTK. Soubor odchylek dokonce téměř neobsahoval takové hodnoty, které by výrazně převyšovaly trojnásobek směrodatné odchylky. Tato hodnota statisticky vymezuje interval, ve kterém by se mělo nacházet 99,7 % naměřených hodnot.

Na základě srovnání výsledků metody RTK s výsledky ze statické metody lze potvrdit, že použitím statické metody lze dosáhnout vyšší přesnosti určených výšek oproti metodě RTK. Nicméně při použití dostatečně dlouhé doby observace je možné dosáhnout pomocí obou metod výsledné prostorové polohy charakterizované směrodatnou odchylkou lepší než 0,010 m. Použití statické metody má také svoje nevýhody, jednou z nich je větší časová náročnost na měření oproti metodě RTK. Také nesmíme zapomenout, že výsledky získané statickou metodou mohou být zatíženy případnými chybami v určení prostorové polohy použité referenční stanice.

5.1.7 Určování doby inicializace

Jedním z dalších ukazatelů kvality služeb poskytovaných permanentními stanicemi je také doba inicializace. To je čas potřebný k dosažení fixního řešení od okamžiku, kdy GNSS aparatura odešle požadavek k odběru korekčních dat. Za účelem testování tohoto ukazatele bylo realizováno další testovací měření. V rámci tohoto měření byly na šesti testovacích bodech opakovaně realizovány RTK observace, při kterých byly využívány korekce ze sítí CZEPOS, TopNET i Trimble VRS Now Czech. Střední hodnota doby inicializace byla ve všech případech menší než 30 s. Tento experiment byl uskutečněn v roce 2009. V té době ještě síť TopNET neposkytovala korekce generované pomocí síťového řešení, proto tato služba není obsažena mezi testovanými službami.

Testování proběhlo v městské zástavbě, kde může být na rozdíl od lokalit v extravilánu kvalitnější pokrytí signálem GSM pro připojení k internetu prostřednictvím GPRS anebo EDGE. Dalo by se očekávat, že při použití korekcí generovaných pomocí síťového řešení bude doba inicializace delší než při použití korekcí z konkrétní stanice. Tuto hypotézu z testovaných služeb nepotvrdily např. služby RTK-NS a RTK-PRS sítě CZEPOS anebo TVN_RTCM_31 sítě Trimble VRS Now Czech. Doba inicializace služby RTK-NS byla delší než u obdobné služby ze sítě TopNET. To mohlo být způsobeno např. nutností komunikace, která musí proběhnout s NtripCasterem na rozdíl od případu, kdy v aparatuře předem zvolíme permanentní stanici, ze které požadujeme odběr korekcí. Naproti tomu služby RTK-PRS a TVN_RTCM_31, které poskytují korekce na základě síťového řešení, měly i přesto kratší dobu inicializace než některé služby poskytující korekce z konkrétní permanentní GNSS stanice.

5.2 Opakování dlouhodobé observace

Z důvodu aktuálnosti zjišťovaných parametrů GNSS observací bylo dlouhodobé GNSS měření metodou RTK realizováno znovu s odstupem dvou let. Ve dnech 29. a 30. listopadu 2012 byla uskutečněna 24h observace na pilíři s nucenou centrací na terase Ústavu geodézie Fakulty stavební VUT v Brně. Prostorová poloha tohoto bodu byla registrována metodou RTK s intervalem záznamu dat 1 s. Korekce měřených dat byly získávány ze sítě CZEPOS (služba VRS3-MAX) a ze sítě TopNET (služba NVR3).

Vzdálenost nejbližších permanentních GNSS stanic obou sítí vzhledem k observovanému bodu nebyla příliš srovnatelná, z toho důvodu bylo voleno síťové řešení, které zohledňuje rovněž observace na okolních permanentních stanicích jednotlivých sítí. Obě použité služby poskytují korekce ze síťového řešení příslušné sítě permanentních stanic prostřednictvím protokolu RTCM3.1. Při měření byly použity dvě aparatury Leica System 1200, které byly pomocí

anténního rozdělovače připojeny k jedné anténě Leica AX 1202GG, podobně jako tomu bylo během předchozího testovacího měření.

V rámci tohoto testování nebyla registrována statická observace, jako vztažná hodnota výšky bodu byla použita střední hodnota z naměřených veličin. Registrovaná data byla zpracována stejným postupem, jako v předchozí kapitole. Z registrovaných 1s dat byly vypočteny 5s a 20s průměry z hodnot získaných pomocí korekcí ze sítě CZEPOS a z hodnot získaných pomocí korekcí sítě TopNET.

Následně byly zpracovány odchylky naměřených výšek od jejich vztažných hodnot zvláště pro výsledky získané pomocí jednotlivých sítí permanentních GNSS stanic. Směrodatné odchylky souboru dat získaných pomocí korekcí sítě CZEPOS dosahovaly hodnot 0,006 m až 0,003 m, v případě použití sítě TopNET dosahovaly směrodatné odchylky hodnot 0,010 m až 0,008 m. Z výsledků vyplývá neobvyklé zvýšení přesnosti při použití korekcí sítě CZEPOS při použití 5sekundových a 20sekundových průměrů.

6 SOUČASNÉ URČOVÁNÍ VÝŠEK TECHNOLOGIÍ GNSS A NIVELACÍ

Při měření technologií GNSS jsme při měření v terénu limitováni zejména požadavky na vhodný, zejména nezastíněný obzor. Měřené body tedy musí být při určování touto metodou voleny s ohledem na podmínky observace. Naproti tomu má technologie GNSS několik nesporných výhod, zejména její nezávislost na stávajícím bodovém poli. Může být použita kdekoliv na Zemi a poskytuje přitom výsledky s homogenní přesností.

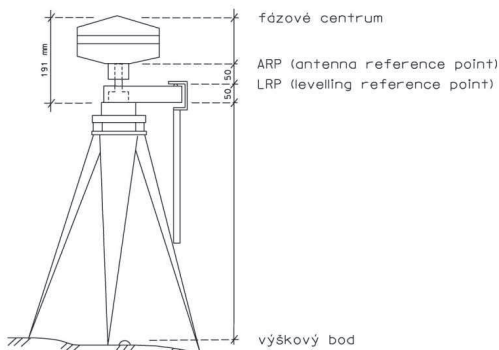
V rámci této práce byla testována metodika současného měření technologií GNSS a nivelací. Spojením těchto dvou metod můžeme využít výhod obou z nich. Společně jsou využitelné v lokalitách, kde například již jsou zřízeny body, jejichž výšku je třeba určovat, ale nejsou vhodné pro družicová měření kvůli překážkám v obzoru, a zároveň by bylo náročné výškové připojení prostřednictvím niveláčnického měření. Tuto situaci lze řešit například tím způsobem, že v blízkosti určovaného bodu nalezneme místo vhodné k družicovému měření, zde určíme výšku pomocí GNSS observace a s použitím výšky tohoto pomocného bodu určíme výšku určovaného bodu nivelací. Praktické nasazení této metody do procesu určování nadmořských výšek je závislé na počátečním uvážení, jestli nám pro získání výšky určovaného bodu postačuje přesnost, kterou poskytuje technologie GNSS.

6.1 Návrh držáku závěsné latě

Za účelem současného měření elipsoidických a nadmořských výšek bylo navrženo speciální sestavení GNSS aparatury, při kterém byla niveláčnická lať uchycena k trojnožce GNSS antény. Tím bylo možné provádět měření nivelace v průběhu GNSS observace. Společným upevněním niveláčnické latě s anténou GNSS můžeme po zavedení příslušných výškových offsetů vztáhnout obě výšky ke stejné výškové úrovni, tedy ke stejnému bodu.

Hlavní myšlenkou tohoto měřického postupu je měření nivelace za současného postavení antény a přijímání signálů z družic. Společné upevnění niveláčnické latě k anténě GNSS bylo realizováno pomocí speciálně vytvořeného držáku niveláčnické latě, který se přichytí k nástavci

(trnu), který je upevněn v trojnožce, a na kterém je usazena anténa během družicové observace. Zabroušená spodní podstava držáku se usadí na jednu z výškových úrovní nástavce, jejíž vertikální ofset od referenční úrovně antény (ARP – antenna reference plane) je udáván výrobcem. Vzhledem ke konstrukci aparatury a její funkci byla pro nivelační měření použita závěsná nivelační lať. Tato lať je zavěšena na držáku na kulovém vrchlíku, který určuje vztažnou výškovou úroveň pro nivelační měření (LRP – levelling reference plane). S použitím výškových ofsetů jednotlivých vztažných rovin je potom výšková úroveň měření nivelace vztažena přímo k referenčnímu bodu GNSS antény. Výškové ofsety vztažných rovin (viz obr. 3) byly zjištěny laboratorně metodou přesné nivelace.



Obr. 3 – Znázornění výškových ofsetů GNSS aparatury

Popisovaný měřicí systém je přizpůsoben pro přichycení závěsné nivelační latě s kódovým čtením, která je k dispozici na Ústavu geodézie FAST VUT v Brně.

6.2 Metodika současného měření technologií GNSS a nivelací

Pomocí současného měření GNSS a nivelace můžeme určovat elipsoidickou i nadmořskou výšku daného bodu (resp. v daném místě). Metodika je uzpůsobena pro určování obou těchto výšek např. za účelem určení převýšení kvazigeoidu nad elipsoidem. Sestavíme aparaturu včetně držáku pro závěsnou lať v blízkosti nivelačního bodu sítě ČSNS (viz obr. 4). Polohu stanoviště volíme tak, abychom měli co nejlepší obzor pro GNSS observaci. Nejvhodnější je zvolit stanoviště ve vzdálenosti do 50 m až 100 m od nivelačního bodu, aby se nivelační měření skládalo z jediné nebo z několika málo sestav.

Současně s GNSS observací probíhá nivelační měření, na základě kterého se určuje nadmořská výška úrovně LRP aparatury. Pokud nepotřebujeme stanoviště měření stabilizovat, lze připočtením příslušných offsetů určit nadmořskou výšku úrovně ARP, ke které je určována elipsoidická výška RTK měřením. Výsledkem je tedy jak nadmořská, tak elipsoidická výška úrovně ARP použité aparatury.



Obr. 4 – GNSS aparatura se závěsnou latí při měření

6.3 Varianty využití

Popisovanou metodu měření lze využít např. těmito způsoby:

- určování převýšení kvazigeoidu na základě současného měření elipsoidické i nadmořské výšky určovaného bodu,
- určování popř. ověřování nadmořské výšky bodu na základě měření elipsoidické výšky a známého převýšení kvazigeoidu v daném bodě,
- modelování lokálního průběhu kvazigeoidu pomocí současného měření elipsoidické i nadmořské výšky několika bodů, které jsou vhodně rozmístěné v zájmové lokalitě.

V první řadě byla tato metoda měření vyvinuta pro účely určování lokálního kvazigeoidu metodou GNSS/nivelace. V tomto případě potřebujeme určit elipsoidickou výšku a zároveň nadmořskou výšku určovaného bodu. Pokud není na určovaném bodě vhodný obzor pro družicovou observaci, použijeme postavení na jiném místě, které je k tomu vhodné. Toto pomocné stanovisko nemusí být stabilizováno, pokud jsme schopni výšku určenou technologií GNSS vztáhnout přímo k nivelační značce anebo naopak znivelovat přímo vztahnou výškovou úroveň aparatury GNSS. Popisovaná metoda měření nám přesně tohle umožňuje.

Popsaným způsobem je možné určit převýšení kvazigeoidu na více bodech v dané lokalitě, čímž vznikne lokální model kvazigeoidu, pomocí kterého můžeme pomocí interpolace určovat hodnoty převýšení ζ také na ostatních určovaných bodech v této lokalitě.

Další varianta využití se nabízí při ověřování výšek nivelačních značek. V tomto případě je nutné znát průběh kvazigeoidu v dané lokalitě s požadovanou přesností. Pomocí měření elipsoidické výšky lze potom určit nadmořskou výšku určovaného bodu, kterým může být nivelační bod, jehož výšku potřebujeme ověřit. Vzhledem k přesnosti měřené elipsoidické výšky a přesnosti dostupných modelů kvazigeoidu je tato metoda vhodná spíše k vyhledávání řádově centimetrových chyb ve výšce ověřovaného bodu. V lokalitách s nízkou hustotou nivelačních bodů, popř. se zhoršenou přístupností pro nivelační měření se jedná o efektivnější metodu měření, která dokáže odhalit hrubé chyby v ověřovaných výškách.

6.4 Doporučený postup měření

Technologie GNSS obecně neposkytuje takovou přesnost určování výšek jako metoda geometrické nivelace. Výsledky dlouhodobých observací metodou RTK sice dosahují relativně vysokou přesnost v určované poloze, nicméně jednotlivé observace vykazují až řádově 10-ti centimetrové odchylky od střední hodnoty. Vyšší spolehlivost výsledku může zaručit pouze několikrát opakování observace, popř. určení prostorové polohy bodu prostřednictvím několika různých typů korekčních dat nejlépe od různých poskytovatelů RTK služeb.

Na základě výsledků experimentálních měření popsanych v této práci lze doporučit následující požadavky na měření:

- délka jedné RTK observace: 20 s
- počet opakování observace: 5 (v rámci každé použité služby)
- počet využívaných služeb: 2

Kromě těchto podmínek výrazně zvyšuje spolehlivost výsledků rovněž opakování celého měření za jiné konfigurace družic. Teprve tímto opakováním dojde k verifikaci určované výšky, jejíž přesnost je možné při použití RTK služeb poskytovaných na území České republiky charakterizovat střední výběrovou chybou 0,030 m. Jiná konfigurace družic je obvykle definována časovým odstupem alespoň 3 hodiny od předchozí observace, a zároveň alespoň 3 hodiny od okamžiku, kdy nastane znovu stejná konfigurace v důsledku pravidelného opakování konfigurace družic použitých navigačních systémů.

7 TESTOVÁNÍ METODY GNSS/NIVELACE

Metoda GNSS/nivelace pro určování převýšení kvazigeoidu byla použita na testovacích bodech na území města Brna. Testovací měření, která jsou součástí této práce, probíhala již od roku 2006. Za tímto účelem byly stabilizovány měřické body na části území města Brna, jejichž nadmořské výšky byly určeny nivelací a rovněž na nich byly realizovány GNSS měření statickou metodou. Celkem bylo tímto způsobem určeno převýšení kvazigeoidu na 71 bodech (v roce 2006 bylo zaměřeno 28 bodů, v roce 2007 dalších 23 bodů a v roce 2008 přibýlo 20 bodů).

7.1 Síť AGNES

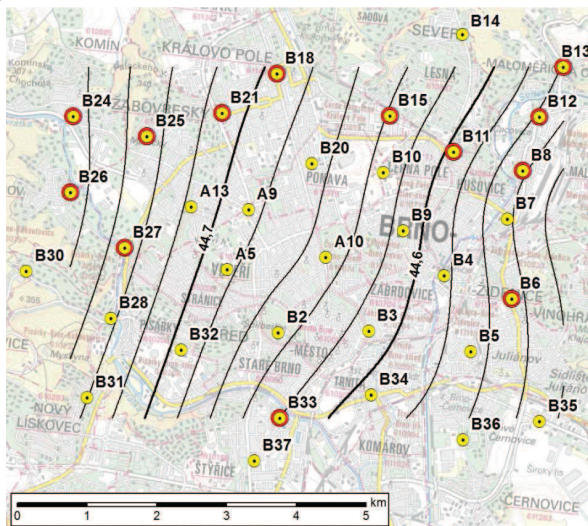
V roce 2009 byl naplánován projekt, při kterém byla porovnáována metoda GNSS/nivelace s metodou určování kvazigeoidu pomocí astronomických měření (viz kap. 8).

K tomu účelu byla vybudována síť bodů, na kterých bylo potřeba realizovat všechny porovnané typy měření, tedy GNSS observace, nivelační měření a astronomická měření. Nově vzniklá síť byla označena názvem AGNES a skládá se celkem z 34 bodů, z nichž 14 bylo převzato z testovací sítě popsané výše. Přehled bodů této sítě je znázorněn např. na obrázku 5 (jedná se o body zobrazené žlutou barvou).

Body sítě AGNES jsou rovnoměrně rozmístěny na území města Brna, na rozloze přibližně 50 km², přičemž průměrná vzdálenost mezi jednotlivými body je přibližně 500 m.

7.2 Určování kvazigeoidu

Převýšení kvazigeoidu na jednotlivých bodech bylo určováno pomocí metody GNSS/nivelace. Na základě získaných hodnot $\zeta_{G/N}$ byl vygenerován průběh kvazigeoidu v dané lokalitě. Z průběhu vrstevnicového vyjádření plochy kvazigeoidu bylo patrné, že výsledné hodnoty jsou zatíženy jak systematickými chybami, které působí při družicových observacích, tak chybami v určení výšek nivelačních bodů. Pro porovnání byl také vygenerován průběh kvazigeoidu pouze z měření na bodech, jejichž výška byla ověřena pomocí přípojovacího měření na body ČSNS. Z tohoto modelu bylo patrné, jak výrazný vliv na průběh kvazigeoidu mají jednotlivé body. Ze změny průběhu izolinií vyplynulo, že použitá metoda nedosahuje takové přesnosti při určování hodnot $\zeta_{G/N}$, aby mohla být použita při modelování lokálního průběhu kvazigeoidu s touto podrobností (vzájemná vzdálenost měřených bodů byla 500 m až 1000 m). Výsledný model kvazigeoidu byl porovnán s jinými modely, o tomto porovnání je pojednáno v kapitole 7.3. Průběh výsledného modelu kvazigeoidu získaného metodou GNSS/nivelace je znázorněn na obrázku 5 pomocí izolinií, body použité pro vygenerování modelu kvazigeoidu jsou zvýrazněny červeně.



Obr. 5 – Kvazigeoid GNSS/nivelace z vybraných bodů, hodnoty izolinií jsou uvedeny v metrech (zdroj podkladu: geoportal.gov.cz)

7.3 Porovnání s jinými modely kvazigeoidu

Hodnoty převýšení kvazigeoidu získané pomocí tohoto experimentu byly v rámci jejich verifikace porovnány s hodnotami získanými prostřednictvím jiných modelů kvazigeoidu. K tomuto účelu byly vybrány následující modely:

- CR2005 – hodnoty označené ζ_{CR2005}
- EGM2008 – hodnoty označené ζ_{EGM08}
- InGeoCalc geometrický model (Kadlec 2011) – hodnoty označené ζ_{geom}
- InGeoCalc kombinovaný model (Kadlec 2011) – hodnoty označené ζ_{kombi}

Hodnoty z modelu CR2005 byly získány pomocí zpřesněné globální transformace mezi novou realizací ETRS89 v ČR a S-JTSK, v rámci které je model CR2005 používán. Hodnoty z ostatních modelů byly získány pomocí aplikace InGeoCalc přístupné na webových stránkách VÚGTK, v.v.i.

Hodnoty převýšení kvazigeoidu vygenerované pomocí jednotlivých modelů byly porovnány s hodnotami $\zeta_{G/N}$ převýšení určenými v předchozí kapitole. Odchytky výsledných hodnot $\zeta_{G/N}$ od hodnot získaných pomocí vybraných modelů dosahují velikosti od $-0,060$ m do $+0,006$ m. Z velikosti průměrných hodnot odchylek je patrné odchýlení modelu kvazigeoidu určeného metodou GNSS/nivelace od ostatních modelů. Největší průměrné odchýlení vykazuje porovnání s modelem CR2005, a sice o hodnotu $-0,022$ m. Směrodatné odchytky určené z hodnot odchylek dosahují velikosti přibližně $0,020$ m až $0,030$ m. Z toho lze usoudit, že systematické posuny mezi jednotlivými modely touto metodou nebyly prokázány. Velikosti odchylek uvedených v předchozí tabulce potvrzují řádově centimetrovou přesnost určení modelu kvazigeoidu.

7.4 Testování kvazigeoidu pomocí kontrolního profilu

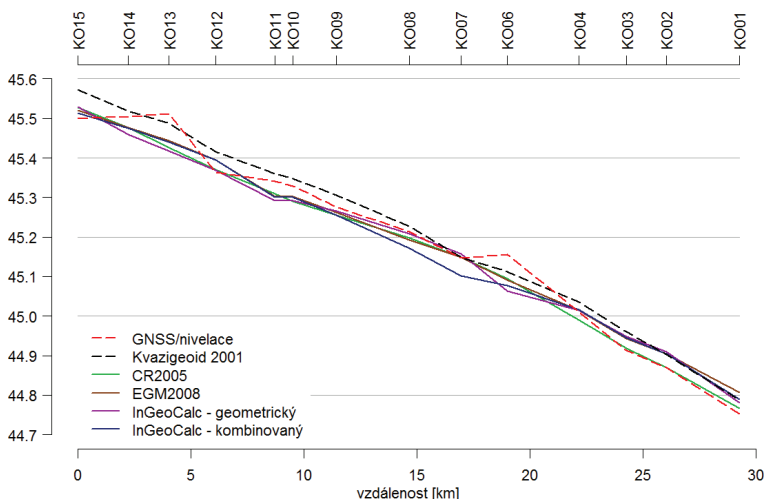
V předcházejících kapitolách bylo pojednáno o plošném testování lokálního průběhu kvazigeoidu. Dalším způsobem porovnání dvou modelů je pomocí kontrolního profilu. V letech 1999 až 2001 byl metodou GNSS/nivelace zaměřen profil, který vedl z Velké Bíteše do Uherského Hradiště. Trasa profilu byla příhodně volena ve směru spádu, který vykazuje průběh kvazigeoidu na území jižní Moravy. Profil byl veden po trase nivelačních pořadů I. řádu. Primárně byly realizovány družicové observace přímo na nivelačních bodech, které poskytovaly vhodný obzor pro observaci. Pro měření byly voleny body, které byly vzájemně vzdáleny přibližně 2 až 3 km. Celková délka profilu dosahovala přibližně 120 km. Výsledné hodnoty převýšení kvazigeoidu byly porovnány s modely CR2000, VÚGTK96, EGM96 a EGG97, které byly v té době aktuální. [17]

Na toto měření bylo navázáno v roce 2009, kdy byla znovu změřena část profilu metodou GNSS/nivelace s využitím metody RTK. Jednalo se o úsek mezi Velkou Bíteší a Brnem, tento úsek kontrolního profilu byl veden podél nivelačního pořadu KO. V průběhu GNSS observací na měřených bodech byly přijímány čtyři typy korekcí sítě CZEPOS. Na každém bodě byla realizována observace, která zahrnovala pětinasobné určení prostorové polohy bodu pomocí každé z vybraných RTK služeb. Doba jednotlivých měření byla 20 s.

Z hodnot elipsoidických výšek určených prostřednictvím jednotlivých služeb byly poté určeny jejich střední hodnoty. Zároveň byly určovány nadmořské výšky měřených bodů

metodou přesné nivelace. Z naměřených výšek byly určeny velikosti převýšení kvazigeoidu nad elipsoidem, opět z hodnot získaných pomocí jednotlivých použitých RTK služeb.

Výsledků s nejmenší výběrovou směrodatnou odchylkou výšek dosáhla z vybraných služeb služba RTK-PRS. Z toho důvodu byl průběh kvazigeoidu určený pomocí výšek získaných touto metodou vybrán pro následující porovnání s dalšími modely kvazigeoidu: s modelem CR2005, s modelem EGM2008, s geometrickým modelem projektu InGeoCalc a s kombinovaným modelem projektu InGeoCalc. Grafický průběh porovnávaných modelů kvazigeoidu je znázorněn na obrázku 6.



Obr. 6 – Porovnání průběhu kvazigeoidu GNSS/nivelace s vybranými modely

Ze vzájemného znázornění vyplývá, že průběh kvazigeoidu určený metodou GNSS/nivelace odpovídá ostatním modelům, s výjimkou výsledků na bodech KO06 a KO13, na kterých je patrná jistá odlehlost. Tyto odchylky jsou způsobeny náchylností metody GNSS/nivelace k systematickým chybám, které jsou zapříčiněny zpravidla chybami v určení výšek výchozích výškových bodů nebo přesností určení elipsoidických výšek metodou GNSS.

8 POROVNÁNÍ MODELU S ASTRONOMICKÝM KVAZIGEIDEM

V rámci porovnávání zjišťovaných hodnot výškové anomálie ζ v předchozích experimentech bylo navíc přistoupeno kurčování této odlehlosti kvazigeoidu metodou astronomicko-geodetické nivelace. Měření astronomickou metodou bylo realizováno na všech 34 bodech sítě AGNES popsané v předchozí kapitole. Souřadnice bodů, na kterých nebylo měřeno metodou GNSS/nivelace, byly určeny metodou RTK, neboť tyto souřadnice byly potřeba pro výpočet tížnicových odchylek určovaných z astronomických měření.

Na Fakultě stavební VUT v Brně byl pro určování astronomických souřadnic vyvinut Mobilní astronomický automatizovaný systém (MAAS). Jedná se o měřicí systém, který je

výsledkem vlastního vývoje pod vedením Ing. Radovana Machotky, Ph. D. Tento systém byl navržen právě pro terénní astronomická měření s cílem určit tížnicové odchylky pomocí měření astronomických souřadnic. Podrobnější popis měřicího systému lze nalézt např. v publikacích [25] a [26].

V průběhu astronomické observace byla zaměřena poloha vždy minimálně čtyř hvězdných párů v severo-j jižní konfiguraci a alespoň čtyř hvězdných párů v západovýchodní konfiguraci. Vlastnímu měření na každém bodě předcházela příprava tzv. pozorovacího programu, kdy bylo potřeba zvolit vhodné dvojice hvězd pro měření. V průběhu observace byly měřeny topocentrické souřadnice těchto hvězd, tedy jejich souřadnice v horizontální souřadnicové soustavě – azimut a zenitový úhel. Zároveň byl registrován přesný čas v okamžiku měření těchto souřadnic. Přesný čas byl získáván pomocí GNSS přijímače, který po dobu měření přijímal signál navigačního systému GPS. Astronomická observace na jednom bodě trvala jednu až dvě hodiny v závislosti na stavu oblačnosti. Během jedné měřické noci bylo obvykle zaměřeno čtyři až pět stanovišek.

Geodetické souřadnice observovaných bodů byly určovány na základě znalosti souřadnic měřených hvězd v rovníkové souřadnicové soustavě z hvězdné ročenky a měřených topocentrických souřadnic těchto hvězd. Pomocí tížnicových odchylek byly vypočteny hodnoty relativního převýšení kvazigeoidu mezi jednotlivými body.

Model kvazigeoidu určený metodou GNSS/nivelace byl porovnán s astronomickým kvazigeoidem. Vzájemné odchylky těchto dvou modelů lze charakterizovat směrodatnou odchylkou 0,020 m. V případě, že bychom do porovnání brali v úvahu pouze výsledky získané na bodech, jejichž nadmořská výška byla ověřena nivelačním měřením na přípojovací body I. až III. řádu, klesne tato směrodatná odchylka na hodnotu 0,017 m. Z těchto výsledků je patrné, že zbytkové chyby nivelačních měření a především chyby družicových metod při určování výšek výrazně ovlivňují přesnost výsledného modelu kvazigeoidu.

Výsledný astronomický kvazigeoid vykazuje velmi dobrou shodu s gravimetrickým modelem kvazigeoidu, pomocí kterého byl jeho průběh verifikován. Směrodatná odchylka charakterizující soubor vzájemných odchylek těchto dvou modelů byla vyčíslena na 0,003 m. Astronomický kvazigeoid lze tudíž chápat jako referenční model pro ověřování přesnosti při určování kvazigeoidu metodou GNSS/nivelace, neboť je určen s přesností lepší o jeden řád. [33]

Dále byl model kvazigeoidu určený z astronomických měření porovnán s vybranými modely kvazigeoidu, které jsou dostupné pro území České republiky. Jedná se o tytéž modely, které byly použity v kapitole 7.3.

Ze zjištěných odchylek je patrné, že si jednotlivé modely vzájemně odpovídají na úrovni několika málo centimetrů. Hodnoty jednotlivých odchylek nevykazují žádný systematický posun nebo jinou závislost mezi porovnávanými modely.

Metoda GNSS/nivelace se z hlediska přesnosti výsledných výšek neukazuje jako nejpřesnější metoda pro tvorbu lokálního kvazigeoidu, jak je patrné podle výsledků v kapitole 7. Přesnost výsledných hodnot převýšení kvazigeoidu $\zeta_{G/N}$ je totiž ovlivněna plnou vahou systematickými chybami působícími při určení elipsoidické výšky technologií GNSS a stejně tak chybami v určení výšek výchozích bodů použitých pro nivelační měření. Tyto vlivy způsobují odchylky až v řádu centimetrů, které při detailnějším mapování průběhu kvazigeoidu způsobují lokální nehomogenní chyby při modelování kvazigeoidu.

9 PŘÍNOS PRÁCE

V rámci této práce byla provedena řada testovacích měření zabývajících se zjišťováním reálné přesnosti prostorové polohy bodů určených technologií GNSS. Jednalo se o testovací měření metodou RTK a statickou metodou, o dlouhodobé i krátkodobé observace s využitím referenčních dat z různých sítí permanentních GNSS stanic. Při těchto testovacích měřeních byly vyhodnocovány nejen charakteristiky přesnosti výškové složky registrovaných dat, ale také vlivy vybraných faktorů, které působí v průběhu observace. Bylo např. zjišťováno, jestli má na přesnost měření vliv denní doba, použitá síť permanentních stanic a podobné faktory. Výsledky a závěry těchto experimentů tvoří řadu dílčích přínosů této práce.

Za účelem realizace navržených testovacích měření byla vybudována síť výškových bodů na území města Brna. Od roku 2006 bylo zřízeno 71 bodů, na kterých byly určovány elipsoidické výšky technologií GNSS a nadmořské výšky nivelací. V roce 2009 byl navržen projekt, v rámci kterého byl určován průběh kvazigeoidu několika různými metodami, kromě metody GNSS/nivelace také pomocí astronomických měření. Z toho důvodu byly ze stávající sítě výškových bodů vybrány takové body, na kterých bylo možno realizovat všechna navržená testovací měření. Celkem bylo použito 14 původních bodů, které byly doplněny o dalších 20 bodů. Při zřizování nových bodů již byly využívány zkušenosti z dřívějších testovacích měření. Vzhledem k charakteru měřených veličin byla nově vzniklá síť označena názvem AGNES (Astronomicko-GNSS-Nivelační Experimentální Síť). Body této sítě jsou rovnoměrně rozmístěny na části území města Brna o rozloze přibližně 50 km². Na těchto bodech byly uskutečněny družicové observace, nivelační měření a astronomické observace. Vybudování kvalitní sítě bodů bylo nezbytné pro realizaci navržených testovacích měření. Vznikl lokální model kvazigeoidu, pomocí něhož byla testována přesnost výšek určených pomocí technologie GNSS.

V rámci verifikace výchozích dat bylo provedeno ověření výšek zvolených bodů sítě ČSNS v některých částech města Brna. To bylo realizováno prostřednictvím několika bakalářských prací vypracovaných v součinnosti s testovacími měřeními realizovanými v rámci této práce.

Jedním z dalších přínosů této práce je navržená metodika současného měření technologií GNSS a metodou nivelace pomocí speciálního závěsného držáku nivelační latě, který lze uchytit ke GNSS aparatuře. Pomocí tohoto držáku je možné současně určovat elipsoidickou a nadmořskou výšku bodu. Nespornou výhodou popisovaného současného měření je skutečnost, že obě tyto výšky můžeme vztáhnout ke stejné referenční úrovni. Tímto postupem se redukuje chyby vznikající vlivem změn stabilizace bodu v době mezi jednotlivými měřeními, pokud tato měření probíhají odděleně.

Tato metodika je využitelná zejména při určování průběhu kvazigeoidu metodou GNSS/nivelace. Dále je možno ji využít při určování nadmořských výšek pomocí měření elipsoidických výšek technologií GNSS v lokalitách, kde známe průběh kvazigeoidu, popř. kde jej lze určit. Na základě stejného principu může být tato metoda využita rovněž při ověřování výšek bodů bodových polí v lokalitách, kde jsou zhoršené podmínky pro měření metodou nivelace způsobené např. nízkou hustotou nivelačních značek. Tímto způsobem lze v těchto lokalitách výškové body i zřizovat.

Za účelem zefektivnění zpracování dat byly provedeny programové úpravy ve formě skriptu, pomocí kterého bylo realizováno dávkové zpracování GNSS observací v programu Leica Geo Office v jazyku VBS. Tímto způsobem byly získány vstupní hodnoty pro vyhodnocení dat v kapitole 5.1. Podobným způsobem bylo řešeno filtrování dat naměřených metodou RTK pomocí skriptu v jazyce Python 2.6 anebo automatizované zpracování dat v programu Microsoft Excel pomocí maker v jazyku VBA.

Na základě výsledků získaných z jednotlivých testovacích měření byl v rámci této práce navržen postup měření metodikou současného měření metodou RTK a metodou nivelace. Pomocí tohoto postupu lze získat převýšení kvazigeoidu s přesností, kterou je možno charakterizovat směrodatnou odchylkou 0,030 m. Přesnější určení průběhu kvazigeoidu by poskytla statická metoda GNSS, popř. využití astronomické metody.

Metodika současného měření technologií GNSS a metodou nivelace, popř. metoda astronomicko-geodetické nivelace, je využitelná také pro určování lokálních modelů kvazigeoidu při realizaci rozsáhlejších staveb. Vyšší přesnost určování kvazigeoidu je přínosná např. při budování přehrad, kdy může docházet ke změnám tíhového pole.

10 ZÁVĚR

Tato disertační práce se zabývá problematikou určování výšek technologií GNSS. Za účelem zjišťování přesnosti výšek určených touto technologií byla v rámci této práce realizována řada testovacích měření. Některé experimenty zahrnovaly více než 24 hodin trvající družicovou observaci metodou RTK, při které byly registrovány 1s observace. Tato délka observace zajišťovala prostřídání všech konfigurací navigačního systému GPS. Data byla vyhodnocována v různých variantách (s různou délkou průměrovaných dat), které představovaly reálné měřické postupy, při praktickém měření touto technologií. V posledních dvou kapitolách práce je pojednáno také o přesnosti modelu kvazigeoidu, který na základě družicových měření vzniká.

Výsledky vyhodnocení parametrů přesnosti výškové složky při měření technologií GNSS RTK ukázaly, že touto metodou lze dosáhnout výsledných výšek, které je možno charakterizovat směrodatnou odchylkou přibližně 0,010 m. Jedná se ovšem pouze o přesnost vlastního družicového měření, která může být zhoršena dalšími vlivy působícími během observace (zákrut obzoru, vícecestné šíření signálu), popř. vlivy při převodu do jiného výškového systému (přesnost použitého modelu kvazigeoidu). Všechny tyto vlivy způsobují, že výsledná výška určená pomocí RTK měření může dosahovat přesnosti nejvýše kolem 0,020 m. Od toho se potom odvíjí přesnost modelu kvazigeoidu, který je určen s použitím těchto výšek metodou GNSS/nivelace. Výsledný model kvazigeoidu vytvořený v rámci této práce metodou GNSS/nivelace byl porovnán s modelem získaným pomocí astronomických měření, který byl určen s řádově milimetrovou přesností. Přesnost modelu určeného metodou GNSS/nivelace lze na základě tohoto porovnání charakterizovat směrodatnou odchylkou 0,017 m.

Z hlediska přesnosti určených výšek technologií GNSS existuje několik metod, které poskytují různou přesnost výsledných veličin. Výsledky získané metodou RTK obsahují větší množství odlehklých veličin. Abychom získali výsledky, které by vykazovaly přesnost danou výše uvedenou směrodatnou odchylkou 0,010 m, musíme realizovat vícenásobné opakování

jednotlivých RTK observací. Na druhou stranu je metoda RTK výhodná z hlediska časové náročnosti měření, neboť dokáže získávat požadované výsledky v reálném čase. Zlepšení přesnosti určování prostorové polohy bodů je teoreticky možné očekávat po spuštění plného provozu navigačního systému Galileo, neboť družice tohoto systému budou vybaveny přesnějšími hodinami než družice systémů GPS a GLONASS.

Pokud uživatel požaduje vyšší přesnost a zároveň vyšší spolehlivost výsledné prostorové polohy určených bodů, je vhodnější použít měření statickou metodou. Z výsledků dosažených nejen v rámci této práce vyplývá, že při použití statické metody lze dosáhnout vyšší přesnosti určených souřadnic, a navíc tyto výsledky obsahují méně odlehlých hodnot. Tím se zvyšuje spolehlivost měření, takže je možné realizovat menší počet opakování GNSS observací. Nevýhodou stále zůstává nutnost delší doby jednotlivých observací oproti metodě RTK.

Veškerá testovací měření uskutečněná v rámci této práce byla realizována na území města Brna a na profilu vedeném z Velké Bíteše do Brna. Tuto oblast na území jižní Moravy lze charakterizovat výraznějším sklonem průběhu kvazigeoidu, než je tomu v jiných oblastech České republiky. Z velké části výsledky testovacích měření odrážejí podmínky pro družicová měření dané městskou zástavbou. Našli bychom však i jiné typy území, které jsou určitým způsobem charakteristické svojí členitostí terénu a většími změnami v průběhu kvazigeoidu. Jsou to např. horské oblasti, které poskytují specifické podmínky pro geodetická měření a průběh kvazigeoidu zde lze očekávat výrazně proměnlivější než v jiných oblastech. Problematikou geodetických měření v horských oblastech se zabývá řada prací Ústavu geodézie na Fakultě stavební VUT v Brně, ve kterých jsou popsána terestrická a družicová měření v síti Králický Sněžník. Jedná se o další lokalitu, kde lze pokračovat v testování přesnosti metody GNSS/nivelace prostřednictvím astronomických měření a v testování postupu současného měření technologií GNSS a nivelací popsaného v této práci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BENCALÍKOVÁ, K., KURUC, M. *Porovnání relativních modelů kvazigeoidu*. In Sborník anotací, Juniorstav 2010. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2010. ISBN 978-80-214-4042-5.
- [2] BIELY, P. *Budování nových výškových bodů s využitím sítě CZEPOS*. Brno, 2009. Diplomová práce. FAST, VUT v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
- [3] BUREŠ, J. *Optimalizace procesu měření GPS-RTK při využití CZEPOS*. In Sborník přednášek, 44. Geodetické informační dny. Brno: ECON Publishing, 2008. s. 124 – 136. ISBN: 978-80-86433-50-9.
- [4] BURŠA, M. *Geopotenciál. Díl I. Teoretické základy a modely*. Praha, Ministerstvo obrany ČR 2004. ISBN: 80-7278-224-X.
- [5] BURŠA, M., VATRT, V., VOJTÍŠKOVÁ, M. *Geopotenciál. Díl II. Modely a jejich využití v praxi*. Dobruška, Ministerstvo obrany ČR, Geografická služba AČR 2012. ISBN: 978-8-260-2092-9.
- [6] ČERNÝ, M.: *Nejmodernější technologie Trimble v oblasti GNSS*. In Sborník referátů: Družicové metody v geodézii a katastru. ECON publishing, s.r.o., Brno 2012, str. 39 – 42. ISBN: 978-80-86433-55-4.
- [7] ČR. Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání, ve znění nařízení vlády č. 81/2011 Sb.
- [8] DACH, R., HUGENTOBLER, U., FRIDEZ, P., MEINDL, M. *Bernese GPS Software: User manual of the Bernese GPS Software Version 5.0*. [online]. Astronomical Institute, University of Bern, 2007 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.bernese.unibe.ch/docs50/DOCU50.pdf>.
- [9] DROŠČÁK, B., SMOLÍK, K. *Analýza inicializačních časov používateľov SKPOS*. Odborný seminár konaný pri príležitosti 60. výročia pedagogického a vedecko-výskumného pôsobenia Katedry geodetických základov [online]. 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.svf.stuba.sk/docs/web_katedry/gza/dokumenty/60KGZA/prezentacie/60KGZA_Droscak_Smolik.pdf
- [10] FEATHERSTONE, W., KIRBY, J. *Estimates of the separation between the geoid and the quasigeoid over Australia*. Geomatics Research Australasia [online], no. 68, June 1998. [cit. 2012-12-09] Dostupné z: http://www.cage.curtin.edu.au/~will/gra68_05.pdf
- [11] GAO, Y., ABDEL-SALAM, M., CHEN, K., WOJCIECHOWSKI, A. *Point Real-Time Kinematic Positioning*. In A Window on the Future of Geodesy. Springer Berlin Heidelberg, 2005. ISSN: 0939-9585.
- [12] HOFMANN-WELLENHOF, B., MORITZ, H. *Physical geodesy*. Wien: Springer, 2005, 403 s. ISBN 32-112-3584-1.

- [13] CHEN, J., WU, B., HU, X., ZHOU, S., CAO, Y., WU, X. a XING, N. *Compass/Beidou: system status and initial service*. In: IGS Workshop on GNSS Biases [online]. Bern, 2012 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: http://www.biasws2012.unibe.ch/pdf/bws12_2.3.4.pdf
- [14] JANSSEN, V. A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK. IGNS Symposium 2009 [online]. 2009 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: http://ecite.utas.edu.au/60284/1/2009_Janssen_IGNSS2009_proceedings_version.pdf
- [15] JURČÍK, J. *Užití astronomické nivelace pro vytváření modelů kvazigeoidu*. Brno, 2012. Diplomová práce. FAST, VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
- [16] KAPLAN, E. D., HEGARTY, C. J. *Understanding GPS. Principles and applications*. Second edition. ARTECH HOUSE, INC., Norwood 2006. ISBN: 978-1-58053-894-7.
- [17] KOSTELECKÝ, J., J. KOSTELECKÝ JR., I. PEŠEK, J. ŠIMEK, O. ŠVÁBENSKÝ, J. WEIGEL a A. ZEMAN. *Quasigeoids for the Territory of the Czech Republic*. Studia Geophysica et Geodaetica. 2004, vol. 48, issue 3, s. 503-518. DOI: 10.1023/B:SGEG.0000037469.70838.39. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/B:SGEG.0000037469.70838.39>
- [18] KURUC, M., BENCALÍKOVÁ, K., HAŠOVÁ, A., POKORNÝ, J., PUCHRIK, L. *Současné určování výšek družicovými metodami a nivelací*. In Juniorstav 2009, Sborník anotací. Brno, VUT v Brně, Fakulta stavební. 2009. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [19] KURUC, M., PUCHRIK, L., VOLAŘÍK, T. *Srovnání RTK služeb poskytovaných sítěmi GNSS permanentních stanic na území ČR*. In Sborník referátů: Družicové metody v geodézii a katastru. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2010. p. 86 - 94. ISBN 978-80-86433-46-2.
- [20] LANDAU, Herbert, Ulrich VOLLATH a Xiaoming CHEN. Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK: Advantages and Limitations. In: Trimble - Survey Research and White Papers [online]. 2003 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-183158/VRS%20vs%20FKP%20-%20GNSS2003.pdf>
- [21] Leica Geosystems AG. *Leica GPS1200, Technical Reference Manual*. Heerbrugg, Switzerland, 2008. 1443p.
- [22] LENZ, Elmar. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Surveying Systems. In: FIG working week [online]. 2004 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts03/ts03_2_lenz.pdf
- [23] LIŠKA, P. *Využití sítě CZEPOS při určování výšek*. Brno, 2010. Diplomová práce. FAST, VUT v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
- [24] LUKEŠ, Z. *Zpracování dat GPS v reálném čase*. Praha, 2005. Disertační práce. ČVUT.
- [25] MACHOTKA, R. *Určování astronomických souřadnic – Metoda párů stejně výšky*. Geodetický a kartografický obzor, 12/2005. ČUZK, Praha 2005, str. 258 – 264.

- [26] MACHOTKA, R., KURUC, M. *Modely kvazigeoidu pro malá území*. In Družicové metody v geodézii a katastru, Sborník referátů. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2012. p. 63 - 68. ISBN 978-80-86433-55-4.
- [27] NAHAVANDCHI, H., SOLTANPOUR, A.: *Improved determination of heights using a conversion surface by combining gravimetric quasi-geoid/geoid and GPS-levelling height differences*. Studia Geophysica et Geodaetica [online]. 2006, roč. 50, č. 2, s. 165-180 [cit. 2012-12-09]. ISSN 0039-3169. DOI: 10.1007/s11200-006-0010-3. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11200-006-0010-3>
- [28] NOVÁK, P. *Evaluation of selected gravity field parameters from local high resolution gravity and elevation data*. In Contributions to Geophysics and Geodesy. Vol. 36/1, 2006. ISSN: 1335-2806.
- [29] ŠUNKEVIČ, M. *Ruský globální družicový navigační systém GLONASS*. In: Česká kosmická kancelář [online]. 2007 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/GLONASS>
- [30] TALICH, M., KADLEC, M. *Technologie přesné transformace normálních a elipsoidálních výšek*. VÚGTK. InGeoCalc [online]. 2011 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: http://www.vugtk.cz/ingeocalc/media/documents/transformace-vysek_doc.pdf
- [31] VILÍMKOVÁ, M. *Testování sítě CZEPOS*. Praha, 2007. Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/diplomka.pdf>. Diplomová práce. ČVUT, FSV, Katedra vyšší geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kostecký, DrSc.
- [32] VOLAŘÍK, T., KURUC, M. *Opakovatelnost určení prostorové polohy metodou RTK*. In Seminář s mezinárodní účastí, GNSS v geodetické praxi, Sborník referátů. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2011. p. 64 - 71. ISBN 978-80-86433-52-3.
- [33] VOLAŘÍK, T., MACHOTKA, R., KURUC, M., PUCHRIK, L., JURČÍK, J. *Determination of quasigeoid in local network using modern astrogeodetic technologies*. Acta Geodyn. Geomater., v. 10, No. 3(171), 2013. In print.
- [34] VYKUTIL, J. *Vyšší geodézie: vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty*. 1. vyd. Praha: Kartografie, 1982, 544 s.
- [35] YUN-CHUN, Y., HATCH, R. R., SHARPE, R. T. *Minimizing the integer ambiguity search space for RTK*. In Wuhan University Journal of Natural Sciences. Volume 8, Issue 2, pp 485-491. Wuhan University 2003. ISSN: 1007-1202.
- [36] ZEMAN, Antonín. *Fyzikální geodézie 10: teorie výšek a výškové systémy: doplňkové skriptum*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 83 s. ISBN 80-010-2733-3.

Webové zdroje

- [37] BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (BKG). *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip): Version 1.0* [online]. [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf
- [38] CZEPOS: *Sít' permanentních stanic GNSS České republiky* [online]. 2005 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/>

- [39] Galileo: a constellation of 30 navigation satellites. EUROPEAN SPACE AGENCY. ESA [online]. 2012, 2013-01-15 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Galileo_a_constellation_of_30_navigation_satellites
- [40] China Reveals Updated Compass/ Beidou-2 GNSS Signal Plan. In: InsideGNSS [online]. 2009 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://www.insidegnss.com/node/1624>
- [41] Information analytical centre of GLONASS and GPS controlling. Federal space agency [online]. 2012 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://www.glonass-center.ru/en/>
- [42] NGA: EGM2008 - WGS 84 Version. NGA. *Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)* [online]. [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html
- [43] O síti TopNET. GEODIS BRNO, spol. s r.o. TopNET [online]. 2010 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://topnet.geodis.cz/topnet/topnet.aspx>
- [44] Permanentní stanice. Český úřad zeměměřický a katastrální [online]. 2009 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:10-GNSS-PERMANENTNI-STANICE>
- [45] Space Segment. National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. GPS.gov: Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics [online]. 2012, 2013-01-16 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- [46] Specifikace sítě. GEOTRONICS PRAHA, s. r. o. Trimble VRS Now Czech [online]. 2008 [cit. 2013-06-07]. Dostupné z: <http://www.geotronics.cz/specifikace-site>
- [47] STATSOFT. *Getting Started with Statistics Concepts*. StatSoft [online]. [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: <http://www.statsoft.com/textbook/elementary-statistics-concepts/button/1/>
- [48] ÚSTAV GEODÉZIE, Fakulta stavební, VUT v Brně. *TUBO: Permanentní GPS stanice* [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz/new/>
- [49] VÚGTK. InGeoCalc: Znalostní systém pro podporu rozhodování založeného na geodatech [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/ingeocalc/apps>

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

jméno a příjmení	Ing. Michal Kuruc
trvalé bydliště	Na Pískách 6, 67801 Blansko
datum narození	30. 10. 1982
místo narození	Brno
státní občanství	Česká republika
rodinný stav	ženatý
e-mail	kuruc.m@fce.vutbr.cz

Vzdělání

2006 – dosud	Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 95, Brno
studijní program	obor: Geodézie a kartografie, Doktorský studijní program
státní zkouška	18. 2. 2009
2001 – 2006	Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 95, Brno
studijní program	obor: Geodézie a kartografie, Magisterský studijní program
státní zkouška	13. 6. 2006
závěrečná práce	Tvorba kvazigeoidu GPS na území města Brna
ocenění	Medaile Signum prosperitatis 2006. Ocenění děkana za vzorně vypracovanou DP a za vynikající studijní výsledky.
1994 – 2001	Gymnázium Elgartova, Elgartova 3, Brno
zakončení	22. 5. 2001 – maturita

Přehled odborných aktivit

2013	Spoluautor užitého vzoru č. 25325: „Polohovací zařízení pro kalibraci antén globálních navigačních satelitních systémů“
2011 – 2012	Spoluřešitel projektu specifického výzkumu FAST-S-11-18: „Vývoj a aplikace automatizovaných měřicích systémů v geodézii“
2011 – 2012	Spoluřešitel projektu specifického výzkumu FAST-S-11-66/1441: „Vývoj zařízení a metod pro absolutní kalibraci antén GNSS“
2010	Spoluřešitel projektu specifického výzkumu FAST-S-10-15: „Rozvoj nových metod měření v geodézii“
2008	Spoluřešitel projektu FRVŠ 955/2008: „Implementace současných GNSS technologií do výuky družicových metod v geodézii“
2008	Člen organizačního výboru 10. odborné konference doktorského studia Juniorstav 2008
2008 – dosud	Člen organizačního výboru konference Seminář GNSS

Ostatní aktivity

jazyky	angličtina, němčina (pasivně)
zájmy	programování

SEZNAM PUBLIKACÍ V IMPAKTOVANÝCH ČASOPISECH

- [1] MACHOTKA, R.; KURUC, M.; VOLAŘÍK, T. Local quasigeoid model creation from astrogeodetic measurements. *STUDIA GEOPHYSICA ET GEODAETICA [online]*. 2013, vol. 57, issue 1, p. 27 - 46. ISSN 0039-3169. DOI: 10.1007/s11200-012-0717-2.

SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

- [2] KURUC, M. Kvazigeoid GPS na území města Brna. In *Sborník konference JUNIORSTAV 2007*. Brno, Akademické nakladatelství CERM. 2007. p. 325 - 329. ISBN 978-80-214-3337-3.
- [3] KURUC, M.; LÁSKA, Z.; WEIGEL, J. Využití služeb permanentních stanic GNSS při určování výšek. In *Aplikace družicových měření v geodézii. Jubilejní 10. seminář s mezinárodní účastí. Sborník referátů*. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2007. p. 107 - 113. ISBN 978-80-86433-41-7.
- [4] KURUC, M.; LÁSKA, Z. Networks of permanent GNSS stations. In *XII Międzynarodowa Konferencja Studenckich Kół Naukowych XXIV Sejmik SKN Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*. Wrocław (PL), Dział Spraw Studenckich Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. 2007. p. 78 - 78. ISBN 978-83-924761-4-6.
- [5] POKORNÝ, J.; KURUC, M. Rozšíření lokálního kvazigeoidu GPS. In *Juniorstav 2008, sborník anotací*. Brno, VUT v Brně. 2008. p. 373 - 376. ISBN 978-80-86433-45-5.
- [6] POKORNÝ, J.; KURUC, M. Upgrade of Local Quasigeoid GPS. In *XIII. międzynarodowa konferencja studenckich kół naukowych*. 1. Wrocław (PL), Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. 2008. p. 95 - 95. ISBN 978-83-86520-06-0.
- [7] MACHOTKA, R.; VONDRÁK, J.; HAŠOVÁ, A.; KALVODA, P.; KURUC, M.; POKORNÝ, J. *Image processing in the field of precise angular measurements*. In *2nd Czech-Polish Symposium Brno-Wrocław, Programme Abstracts*. Wrocław, Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wrocław University of Environmental and Life Sciences. 2008. p. 30 - 30.
- [8] KURUC, M.; POKORNÝ, J. *Usage of Quasigeoid to conversion ellipsoidal heights to normal Moloděnskij heights*. In *2nd Czech-Polish Symposium Brno-Wrocław, Programme Abstracts*. Wrocław, Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wrocław University of Environmental and Life Sciences. 2008. p. 29 - 29.
- [9] PUCHRIK, L.; KURUC, M.; HAŠOVÁ, A.; POKORNÝ, J.; BENCALÍKOVÁ, K. *Testování určení polohy metodami GNSS*. In *Juniorstav 2009 - Sborník anotací*. Brno, VUT v Brně, Fakulta stavební. 2009. p. 338 - 342. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [10] KURUC, M.; BENCALÍKOVÁ, K.; HAŠOVÁ, A.; POKORNÝ, J.; PUCHRIK, L. *Současné určování výšek družicovými metodami a nivelací*. In *Juniorstav 2009, Sborník anotací*. Brno, VUT v Brně, Fakulta stavební. 2009. p. 1 - 4. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [11] PUCHRIK, L.; HAŠOVÁ, A.; KURUC, M. *Results analysis of positioning using different satellite systems*. Program, Streszczenia, II Ogólnopolskie seminarium Doktorantów dyscypliny Geodezja i Kartografia. Wrocław, Instytut Geodezji i Geopoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. 2009. (1 p.).

- [12] KURUC, M.; BENCALÍKOVÁ, K.; POKORNÝ, J. *Determining of Heights simultaneously by Satellite methods and Levelling*. Program, Streszczenia, II Ogólnopolskie seminarium Doktorantów dyscypliny Geodezja i Kartografia. Wrocław, Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. 2009. p. 16 - 16.
- [13] MACHOTKA, R.; KURUC, M. *Testování měřicího systému pro astronomické určování polohy*. In *Globálne navigačné družicové systémy ako efektívny prostriedok na určovanie priestorovej polohy*. Bratislava, Geodetický a kartografický ústav Bratislava. 2009. p. 57 - 60.
- [14] KURUC, M.; PUCHRIK, L.; VOLAŘÍK, T. *Srovnání RTK služeb poskytovaných sítěmi GNSS permanentních stanic na území ČR*. In *Sborník referátů: Družicové metody v geodézii a katastru*. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2010. p. 86 - 94. ISBN 978-80-86433-46-2.
- [15] BENCALÍKOVÁ, K.; KURUC, M. *Porovnání relativních modelů kvazigeoidu*. In *Sborník anotací, Juniorstav 2010*. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2010. p. 1 - 6. ISBN 978-80-214-4042-5.
- [16] KURUC, M.; PUCHRIK, L.; VOLAŘÍK, T. *Srovnání RTK služeb poskytovaných sítěmi permanentních stanic na území Brna*. In *Juniorstav 2010, Sborník anotací*. Brno, Akademické nakladatelství CERM. 2010. p. 1 - 9. ISBN 978-80-214-4042-5.
- [17] PUCHRIK, L.; VOLAŘÍK, T.; KURUC, M. *Testování RTK služeb poskytovaných sítěmi permanentních GNSS stanic provozovaných v České republice*. In *XVI. mezinárodní slovensko-poľsko-české geodetické dni, zborník anotácií*. Bratislava, Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov. 2010. p. 1 - 10. ISBN 978-80-969692-5-8.
- [18] VOLAŘÍK, T.; KURUC, M. *Opakovatelnost určení prostorové polohy metodou RTK*. In *Seminář s mezinárodní účastí, GNSS v geodetické praxi, Sborník referátů*. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2011. p. 64 - 71. ISBN 978-80-86433-52-3.
- [19] MACHOTKA, R.; KURUC, M. *Modely kvazigeoidu pro malá území*. In *Družicové metody v geodézii a katastru, Sborník referátů*. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2012. p. 63 - 68. ISBN 978-80-86433-55-4.
- [20] PUCHRIK, L.; KURUC, M.; MACHOTKA, R.; VOLAŘÍK, T. *Lokální kvazigeoid na území města Brna, srovnání výsledků metody GNSS/nivelace a astronomických a tíhových měření*. In *Družicové metody v geodézii a katastru, Sborník referátů*. Brno, ECON publishing, s.r.o. 2013. p. 1 - 5. ISBN 978-80-86433-57-8.
- [21] KALINA, M.; KRATOCHVÍL, R.; KURUC, M.; VOLAŘÍK, T. *Polohovací zařízení pro kalibraci GNSS antén*. In *Juniorstav 2013, Sborník anotací*. Brno, Ing. Vladislav Pokorný - LITERA BRNO. 2013. p. 1 - 5. ISBN 978-80-214-4669-4.

SEZNAM PRACÍ PŘIJATÝCH K PUBLIKACI

- [22] VOLAŘÍK, T., MACHOTKA, R., KURUC, M., PUCHRIK, L., JURČÍK, J. *Determination of quasigeoid in local network using modern astrogeodetic technologies*. Acta Geodyn. Geomater., v. 10, No. 3(171), 2013. In print.

ABSTRACT

This Thesis deals with the evaluation of height accuracy of GNSS point positioning. Many experimental measurements aimed on GNSS and heights issues was realised within this work. The ellipsoidal heights were measured together with the orthometric heights and then the local Quasigeoid model was created. The network of height points was built to realisation of proposed measurements on the territory of the city Brno. The model of Quasigeoid from experimental measurement was compared with any other models of Quasigeoid and with local astronomical model.

The partial aim of this Thesis is the proposal of methodology of height determination by GNSS technology and levelling measurement together. We can determine or verify the orthometric heights by using GNSS measurement and this methodology.

KEY WORDS

GNSS, RTK, heights, levelling, Quasigeoid