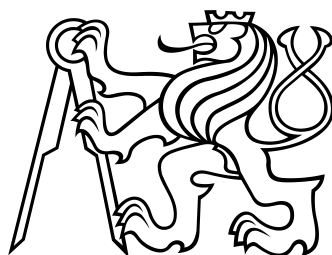


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

URČENÍ VÝŠKOVÝCH ANOMÁLIÍ KVAZIGEoidU
NA PROFILU TĚŠOVICE - ZBYTINY

DETERMINATION OF HEIGHT ANOMALIES OF THE QUASIGEOID
ON THE PROFILE TĚŠOVICE - ZBYTINY

Vedoucí práce: Ing. Jan Holešovský
Katedra geomatiky

červen 2016

Bc. Sandra PÁNKOVÁ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pánková Jméno: Sandra Osobní číslo: 381488

Zadávací katedra: Katedra geomatiky

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Určení výškových anomálií kvazigeoidu na profilu Těšovice - Zbytiny

Název diplomové práce anglicky: Determination of height anomalies of the quasigeoid on the profile Těšovice - Zbytiny

Pokyny pro vypracování:

Na základě vlastního měření určete výškové anomálie kvazigeoidu na zadaném profilu.

Dosažené výsledky použijte k otestování a vzájemnému srovnání modelů kvazigeoidu CR-2000, CR-2005 a QGZÚ-2013 v dané lokalitě.

Seznam doporučené literatury:

Zeman A.: Fyzikální geodézie 10. Teorie výšek a výškové systémy. Doplnkové skriptum. ČVUT Praha, 2003. 83s. ISBN 80-01-02733-3.

J.Kostelecký et al.: Quasigeoids for the territory of the Czech Republic. Stud. Geophys. Geod., Vol.48 (2004), s.503-518.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jan Holešovský

Datum zadání diplomové práce: 22.2.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2016
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá určením výškových anomálií vztažených k referenčnímu elipsoidu Geodetického referenčního systému 1980 - GRS80. Cílem práce je testování a srovnání modelů kvazigeoidu CR-2000, CR-2005 a QGZÚ-2013 v dané lokalitě. Testování bylo provedeno v devíti bodech na zvoleném testovacím profilu Těšovice - Zbytiny. Za pomoci GNSS/nivelace a technické nivelace byla určena výšková anomálie v bodech profilu, z modelů byla výšková anomálie určena matematickým výpočtem - interpolací. Ke zpracování GNSS observací byl užit software Leica Geo Office a k matematickým výpočtům program Matlab.

KLÍČOVÁ SLOVA

výška, tvar Země, kvazigeoid, výšková anomálie, GNSS/nivelace

ABSTRACT

This thesis deals with determination of height anomalies above the reference ellipsoid of the Geodetic Reference System 1980 - GRS80. The aim is testing and comparing models of the quasigeoid CR-2000, CR-2005 and QGZÚ-2013 in the area of interest. Testing was carried out at selected nine points on the test profile Těšovice - Zbytiny. GNSS/levelling and technical levelling were used for determination of the height anomalies along the profile, the height anomalies of the quasigeoid model were computed by mathematical calculation - interpolation. For processing of GNSS observations the Leica Geo Office software was used and mathematical computations were calculated in the Matlab software.

KEYWORDS

height, shape of the Earth, quasigeoid, height anomaly, GNSS/levelling

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Určení výškových anomálií kvazigeoidu na profilu Těšovice - Zbytiny“ jsem vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Holešovskému za připomínky, cenné rady a také za čas, který mi věnoval. Dále bych poděkovala Lukáši Zajíčkovi a Miloši Pánkovi za výpomoc při měřických pracích.

Obsah

Úvod	10
1 Teorie výšek	11
1.1 Geoid, Stokesovo řešení tvaru Země	12
1.2 Moloděnského řešení tvaru Země	16
2 Kvazigeoid	20
2.1 Model kvazigeoidu CR-2000	20
2.2 Model kvazigeoidu CR-2005	22
2.3 Model kvazigeoidu QGZÚ-2013	23
3 Globální navigační satelitní systémy	25
3.1 NAVSTAR GPS	25
3.1.1 Družicový signál GPS	26
3.1.2 Kódové a fázové měření	26
3.2 GLONASS, GALILEO	29
4 Profil Těšovice - Zbytiny	30
5 Měřické práce	33
5.1 GNSS/nivelace	33
5.2 Technická nivelace	36
6 Zpracování a zhodnocení	38
6.1 Výpočet GNSS/nivelace, elipsoidických výšek	38
6.2 Výpočet technické nivelace, normálních výšek	43
6.3 Výšková anomálie bodů testovacího profilu	44
6.4 Testování modelů kvazigeoidu	48
Závěr	52
Použité zdroje	54

Seznam zkratek	57
Seznam příloh	59
A Zapisník technické nivelace	60
B Leica Geo Office - protokoly	61
C Body profilu v rámci ETRF2000	81
D Matlab - zdrojový kód funkcí	83
E Elektronické přílohy	88

Seznam obrázků

1.1	Odlehlost geoidu od elipsoidu	14
1.2	Výšková anomálie, kvazigeoid, teluroid	16
2.1	Kvazigeoid CR-2000	21
2.2	Kvazigeoid CR-2005	23
4.1	Jihozápadní část modelu CR-2000 se zákresem profilu	30
4.2	Zákres profilu v mapě ČR	31
4.3	Výškový průběh bodů ČSNS blízkých bodům profilu	32
5.1	Ukázka stabilizace bodu profilu a GNSS aparatura	33
5.2	Znázornění GNSS observací na bodech profilu	34
5.3	GNSS přijímač Topcon HiPer+, přední strana	35
6.1	Lineární a kvadratická interpolace	45
6.2	Výškové anomálie bodů profilu	48

Seznam tabulek

4.1	Body profilu, body ČSNS	32
6.1	Elipsoidické výšky nad elipsoidem GRS80 bodů testovacího profilu . . .	42
6.2	Normální (Moloděnského) výšky v Bpv bodů testovacího profilu . . .	43
6.3	Porovnání výškových anomálií určených lineární a kvadratickou interpolací	46
6.4	Výsledné výškové anomálie bodů profilu z měření a modelů kvazigeoidu	47
6.5	Srovnání výškových anomálií bodů profilu	49
A.1	Technická nivelace - zápisník	60
B.1	Výsledné hodnoty DOP z GNSS observací	74
B.2	Body profilu a jim přiřazené názvy při GNSS observaci	80
C.1	Souřadnice bodů profilu v systému ETRS89, v rámci ETRF2000 . . .	81
C.2	Výsledné zeměpisné souřadnice bodů profilu v rámci ETRF2000 . . .	82

Úvod

Pro určení výšky bodu na zemském povrchu je nutné zvolit vztahnou plochu a definovat výškovou polohu bodu nad zvolenou vztahnou plochou. Výškový systém baltský - po vyrovnání (Bpv) je v České republice na území celého státu jedním ze závazných geodetických referenčních systémů a jediným závazným výškovým systémem. Systém Bpv využívá výšky vycházející z Moloděnského teorie, ve které je referenční plochou kvazigeoid. Výška bodu na zemském povrchu určená od plochy kvazigeoidu je normální Moloděnského výška. Kvazigeoid je popsán výškovou anomálií od referenčního elipsoidu. S tímto poznatkem se postupně vyvíjely a vyvíjejí modely kvazigeoidu pro území České republiky. S vývojem modelů, který souvisí se zvyšujícími nároky na přesnost, je možné provádět jejich testování. Testování modelu kvazigeoidu se v praxi provádí na bodech zvolených profilů, kde za pomoci geodetického měření je určena výšková anomálie, odlehlost kvazigeoidu od elipsoidu. Výšková anomálie téhož bodu profilu je určena z modelu kvazigeoidu za pomoci matematického výpočtu - interpolace.

Diplomová práce se zabývá určením výškové anomálie kvazigeoidu od referenčního elipsoidu GRS80 na bodech zemského povrchu zvoleného profilu. Nejdříve uvádí teoretický úvod do problematiky výšek, zmiňuje se o modelech kvazigeoidu a o globálních navigačních satelitních systémech. Pojednává o výběru zmíněného testovacího profilu pro určení výškové anomálie, samotném zaměření profilu a zpracování získaných dat.

Hlavním cílem práce je testování modelů kvazigeoidu za pomoci výškových anomálií získaných z geodetického měření na profilu Těšovice - Zbytiny. Geodetické metody užití při zaměření jsou GNSS/nivelace a technická nivelace. Pro testování a vzájemné srovnání byl vybrán v současné době již nevyužívaný model kvazigeoidu CR-2000, model kvazigeoidu CR-2005, který je určený pro převod výšek v rámci zpřesněné globální transformace mezi ETRS89 a S-JTSK, a podrobný model kvazigeoidu QGZÚ-2013.

1 Teorie výšek

Teorie výšek, zahrnující určení výšky bodu zemského povrchu, je obsáhlou problematikou. Z hlediska toho, jak se k výškám přistupuje, je možné provést jejich základní dělení na výšky fyzikální a geometrické. Fyzikální výšky jsou výšky, jejichž definice je závislá na tíhovém poli Země. Jsou sem zařazeny ortometrická a normální výška. Naopak geometrická výška je veličinou čistě geometrickou, sem patří výška nad referenčním elipsoidem vedená podél příslušného úseku normály k referenčnímu elipsoidu. Tato elipsoidická výška je spojena se stále více prosazovanou technologií globálních navigačních satelitních systémů.

Fyzikální výšky jsou závislé na tíhovém poli Země, proto je nutné toto pole zkoumat, popisovat a zjednodušovat. Tíhové pole Země je možné popsat vektorovým popisem, za pomoci tíhového zrychlení (\vec{g}) a skalárním popisem, za pomoci tíhového potenciálu (W). Plochy s konstantním tíhovým potenciálem jsou nazývány hladinovými plochami. Definice referenční plochy či tělesa je nutná pro určení výšky bodu na Zemi. Základní těleso definující Zemi z hlediska reálného tíhového pole Země je tzv. geoid. Geoid je hladinová plocha tíhového pole o přiřazeném potenciálu. Odlehlost dvou elementárně blízkých hladinových ploch, pokud je měřena podél vnější normály, je určena ze vztahu

$$dn = -\frac{dW}{|\text{grad}W|} = -\frac{dW}{|\vec{g}|} = -\frac{dW}{g} \quad , \quad (1.1)$$

kde dn je element normály a je nahrazován elementárním převýšením (dh), g je velikost vektoru tíhového zrychlení (\vec{g}). Pro elementární konstantní rozdíl tíhového potenciálu (dW) platí vztah (1.2), který je nazýván Brunsův teorém a představuje jeden ze základních vztahů pro teorii výšek.

$$dW = -g dh \quad . \quad (1.2)$$

Vzhledem k nehomogenitě v rozložení hmotností a značné tvarové nepravidelnosti Země je tvar hladinové plochy reálného tíhového pole značně složitý, proto je vhodné definovat tíhový potenciál, který je zjednodušený, ale zároveň dostatečně blízký reálnému tíhovému potenciálu Země. Takto definovaný potenciál se nazývá normální tíhový potenciál (U) a je skalárním popisem normálního tíhového pole.

U normálního tíhového pole jsou referenčními plochami například sféroidy nebo v moderních referenčních systémech významné hladinové elipsoidy (např. GRS80). Po definování tíhového a normálního tíhového pole se zavádí jejich rozdíl, tzv. anomální tíhové pole, které je možno popsat poruchovým potenciálem (T), pro něž platí vztah

$$W = U + T . \quad (1.3)$$

1.1 Geoid, Stokesovo řešení tvaru Země

„Geoid je ekvipotenciální plocha zemského tíhového pole odpovídající střední hladině hypotetického zemského oceánu, referenční plocha v systému ortometrických výšek.“ [3] Poté se výšky obecně označují jako nadmořské výšky. Rozdíl potenciálů reálného a normálního tíhového pole, který je určen v bodech na ploše geoidu, obsahuje informaci o odlehlosti ploch geoidu a hladinového elipsoidu. Pro odlehlost (N) těchto ploch platí

$$N = \frac{T}{\gamma} , \quad (1.4)$$

kde γ je normální tíhové zrychlení na elipsoidu.

Odlehlost geoidu

Stokesovo řešení tvaru Země spočívá v určení tvaru geoidu, v určení odlehlosti (N) geoidu od referenčního elipsoidu. Je uváženo bod P_1 na povrchu geoidu, bod P na zemském povrchu a bod P_0 na referenčním elipsoidu, znázornění v obrázku (obr. 1.1). Ve Stokesově řešení tvaru Země je výchozím vztahem rovnice pro poruchový potenciál v bodě na povrchu geoidu

$$T(P_1) = W(P_1) - U(P_1) . \quad (1.5)$$

Z rovnice (1.5) je možné přejít k určení odlehlosti, výšky geoidu nad vztažnou plochou, v bodě o sférických souřadnicích (Φ, Λ) dle rovnice

$$N(\Phi, \Lambda) = \frac{T(\Phi, \Lambda)}{\gamma} = \frac{1}{4 \pi R \gamma} \iint_S S(\psi) \Delta g(\Phi', \Lambda') ds . \quad (1.6)$$

V rovnici (1.6) je R střední poloměr Země, Δg je tíhová anomálie a $S(\psi)$ je Stokesova funkce. Rovnice (1.6) je nazývána Stokesův vzorec, někdy též Stokesův integrál. Stokesova funkce zohledňuje vzdálenost výpočetního bodu (Φ, Λ) a bodů (Φ', Λ') , které přispívají tíhovou informací, a je možné ji vyjádřit jako součet řady

$$S(\psi) = \frac{1}{\sin \frac{\psi}{2}} + 1 - 5 \cos \psi - 3 \cos \psi \ln \left(\sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) - 6 \sin \frac{\psi}{2} . \quad (1.7)$$

Argument Stokesovy funkce (ψ) je určen z kosinové věty pro stranu ve sférickém trojúhelníku. Tíhová anomálie (Δg) je tíhovou informací, vyjadřující rozdíl mezi velikostí tíhového zrychlení na povrchu geoidu a velikostí normálního tíhového zrychlení na elipsoidu. Z tíhového zrychlení měřeného na povrchu Země je možné určit tíhové zrychlení na povrchu geoidu za pomoci tíhové redukce, zde se užívá například Fayova či Bouguerova tíhová redukce.

Při výpočtech odlehlosti je v rovnici (1.6) nahrazen integrál součtem konečných prvků, plošný element (ds) je nahrazen konečně velkou ploškou (Δs) , na které je vhodně rozdělen povrch Země. Velikost plošek se volí s ohledem na hustotu tíhových dat na povrchu. Každé plošce z výsledného součtu přísluší jedna střední hodnota tíhové anomálie. Výsledné vyčíslení odlehlosti je možné z rovnice

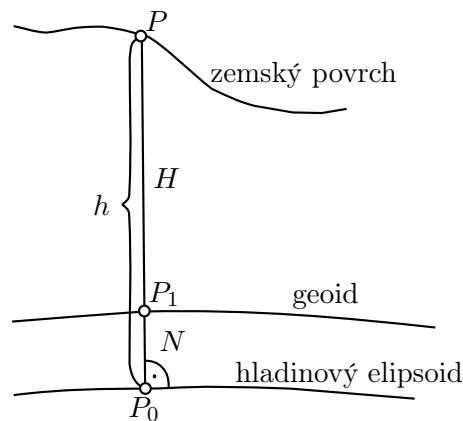
$$N(\Phi, \Lambda) = \frac{R}{4 \pi \gamma} \sum S(\psi) \Delta g(\Phi', \Lambda') \cos \Phi' \Delta \Phi' \Delta \Lambda' . \quad (1.8)$$

Odlehlost geoidu od elipsoidu lze určit z měřených povrchových tíhových dat. U této teorie je problémem určení tíhového zrychlení na povrchu geoidu. To přináší nutnost užití tíhové redukce pro přepočtení tíhového měření provedeného na povrchu Země na povrch geoidu. Pro tíhové redukce je nutností uvážení předpokladů pro hustotu hmotností nad geoidem.

Dále je možné uvést vztah (1.9), který je znázorněný v obrázku (obr. 1.1) a sděluje, že výška nad elipsoidem (h) se skládá z odlehlosti (N) a výšky nad geoidem (H) .

$$h = H + N . \quad (1.9)$$

Výšky bodu zemského povrchu určené od povrchu geoidu jsou přiblíženy v následujícím textu.



Zdroj: [2, str. 149]

Obr. 1.1: Odlehlost geoidu od elipsoidu

Geopotenciální kóty

Geopotenciální kóty vychází ze základního vztahu - Brunsova teorému (1.2). Pro libovolné dva body P, P' na téže hladinové ploše o potenciálu W ($W = W_P = W_{P'}$) je možné určit rozdíl jejich potenciálů od potenciálu bodu na hladinové ploše geoidu (W_0), která je blízká úrovni střední hladiny moře. Pro tyto body lze psát vztah

$$W_0 - W_P = W_0 - W_{P'} = \int_0^P g \, dh = \int_0^{P'} g \, dh . \quad (1.10)$$

Záporný rozdíl mezi tíhovým potenciálem v libovolném bodě na zemském povrchu a tíhovým potenciálem na geoidu se nazývá geopotenciální kóta. Z uvedeného poznatku je zřejmé, že všechny body na jedné hladinové ploše mají stejnou geopotenciální kóta. Kóta je měřena v geopotenciálních jednotkách - gpu ($1 \text{ gpu} = 10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$). Geopotenciální kóta není v metrickém rozměru, je významná jako základ pro definici dalších výšek. Kóty byly oficiálně přijaty Mezinárodní geodetickou asociací v roce 1955.

Pravá ortometrická výška

Geopotenciální kóty jsou stejné pro body na jedné hladinové ploše, tyto body nemají obecně stejnou výšku v metrickém rozměru nad základní hladinovou plochou - geoidem. Ortometrická výška, nazývaná také pravá ortometrická výška, určuje vzdálenost (H^P) bodu P na zemském povrchu od geoidu, která je měřená po

tížnici. Vztah vychází z Brunsova teoremu, dále je aplikována věta o střední hodnotě integrálního počtu a následně je získán výsledný tvar

$$H^P = \frac{1}{g_m^P} \int_0^P g \, dh , \quad (1.11)$$

kde g_m^P je integrální střední hodnota tíhového zrychlení na úseku tížnice mezi bodem na geoidu a bodem P na povrchu Země. Skutečnost, že na tomto úseku tížnice není možné měřit přímo tíhové zrychlení, způsobuje to, že nemůže být střední hodnota tíhového zrychlení přesně určena. Hodnotu je možné pouze odhadnout za zjednodušujících podmínek. „Pravé ortometrické výšky, tj. přesné výšky nad geoidem, nelze určit a přesný vzorec (1.11) má jen teoretický význam.“[1]

Normální ortometrická výška

Dříve byly informace o tíhovém zrychlení na zemském povrchu získávány velmi komplikovaně. Bylo zavedeno zjednodušení a ve vzorci (1.11) pro ortometrickou výšku je uváženo místo tíhového pole normální tíhové pole Země, hodnota g_m a g je nahrazena. Místo g je užita hodnota γ , což je normální tíhové zrychlení a místo g_m je užita hodnota γ_m , což je normální tíhové zrychlení v poloviční výšce (H) bodu, které se určí dle vztahu pro Fayovu redukci, redukci na volném vzduchu

$$\gamma_m = \gamma_0 - 0,1543 \cdot 10^{-5} H , \quad (1.12)$$

kde γ_0 je normální tíhové zrychlení na hladinovém elipsoidu (např. GRS80). Vztah pro normální ortometrickou výšku bodu P je

$$H_\gamma^P = \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P \gamma \, dh . \quad (1.13)$$

Normální ortometrické výšky jsou využity ve výškovém systému jadranském, Československé jednotné nivelační síti (ČSJNS/J). Jedná se o systém, kde jsou výšky vztaženy k referenčnímu bodu v Terstu. Tento dříve platný výškový systém se využíval na území dnešní České republiky.

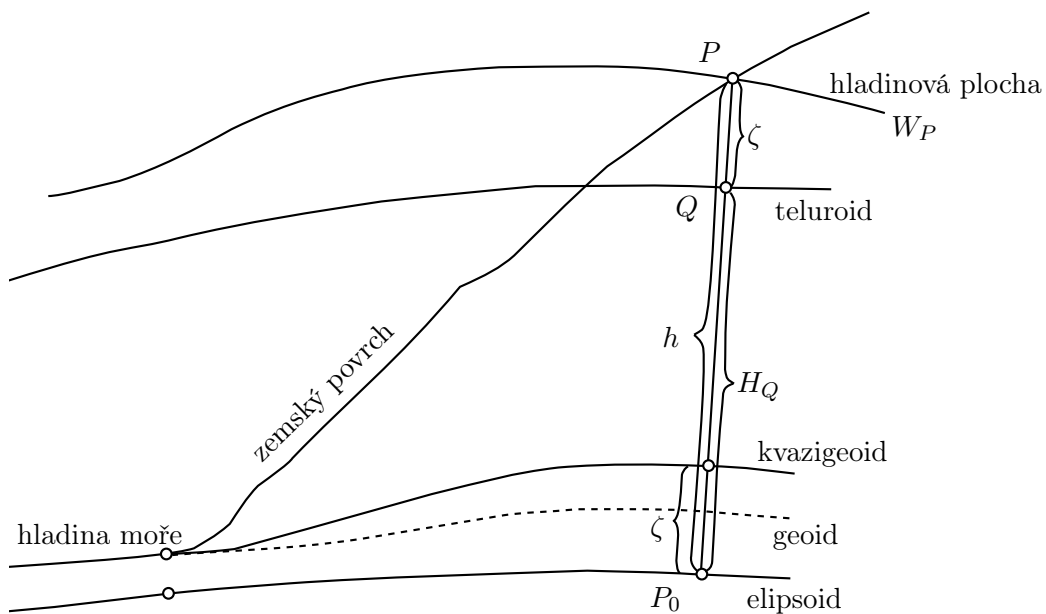
1.2 Moloděnského řešení tvaru Země

Moloděnský navrhl roku 1945 zcela odlišnou teorii pro řešení tvaru Země. Jeho hlavním cílem bylo určit výšky pouze z měření vykonaného na povrchu Země (z nivelačních a tíhových měření) a bez nutnosti znalosti rozložení hmotností nad geoidem. Na základě znalosti rozložení hmotnosti jsou tvořeny předpoklady pro tíhové redukce.

Normální Moloděnského výška

Podle teoretického postupu Moloděnského je definice normální Moloděnského výšky bodu P , někdy též označována jako normální výška

$$H_Q^P = \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P g \, dh . \quad (1.14)$$



Zdroj: Vytvořeno podle [1, str. 33] a [1, str. 48]

Obr. 1.2: Výšková anomálie, kvazigeoid, teluroid

Bod P je bod na zemském povrchu a má tíhový potenciál $W(P)$. Tento bod má také normální tíhový potenciál $U(P)$, přičemž obecně platí, že se tyto potenciály vzájemně nerovnají. Na normále elipsoidu leží bod Q , pro který platí, že normální

tíhový potenciál v bodě Q je roven tíhovému potenciálu v bodě P

$$U(Q) = W(P) . \quad (1.15)$$

Množina bodů Q , u kterých platí vztah (1.15), vytváří plochu, která se nazývá teluroid. Body P a Q , které si odpovídají, jsou na stejné normále k elipsoidu. Normální výška bodu P je výškou bodu Q nad elipsoidem. Rozdíl mezi výškou nad elipsoidem a normální výškou bodu P definuje výškovou anomálii

$$\zeta(P) = h(P) - H_Q(P) . \quad (1.16)$$

Výškovou anomálii je možné vynést nad elipsoid podél normály, čímž je získaná plocha nazývaná se (Moloděnského) kvazigeoid. Kvazigeoid není hladinová plocha, na hladině moře se ztotožňuje s geoidem a je referenční plochou pro normální výšky. Popsané plochy a veličiny jsou znázorněny na obrázku (obr. 1.2).

Výšková anomálie kvazigeoidu

Z Brunsova teorému lze výškovou anomálii vyjádřit jako

$$\zeta = \frac{T}{\gamma} , \quad (1.17)$$

kde γ je normální tíhové zrychlení na teluroidu a poruchový potenciál je definovaný pro bod P na zemském povrchu

$$T(P) = W(P) - U(P) . \quad (1.18)$$

Vztah odvozený pro výškovou anomálii je svázán s tíhovými anomáliemi, které jsou zde definovány jako rozdíl velikosti tíhového zrychlení v bodě na povrchu Země a velikosti normálního tíhového zrychlení na povrchu teluroidu

$$\Delta g = g(P) - \gamma(Q) . \quad (1.19)$$

Normální tíhové zrychlení na teluroidu se zde vypočte z normálního tíhového zrychlení na elipsoidu a tíhové redukce na volném vzduchu (δg), tzv. Fayovy redukce. Poté se tíhové anomálie (1.19) označují jako Fayovy tíhové anomálie či anomálie na volném vzduchu.

Výsledný vztah je obdobou Stokesova vzorce pro odlehlost geoidu od elipsoidu. Teluroid není hladinovou plochou a bodu na zemském povrchu odpovídá obecně různá hladinová plocha, proto vztah (1.20) je komplikovanější. Moloděnského přibližné řešení pro výškovou anomálii má tvar

$$\zeta = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_S (\Delta g + G_1) S(\psi) dS \quad . \quad (1.20)$$

kde G_1 je opravný člen, definovaný jako

$$G_1 = \frac{R^2}{2\pi} \iint_S \frac{h_i - h(P)}{l_{0i}^3} \Delta g dS \quad , \quad (1.21)$$

kde l_{0i} je sférická vzdálenost příslušná středovému úhlu ψ_i mezi bodem P a i -tým elementem plochy dS o výšce h_i

$$l_{0i} = 2R \sin\left(\frac{\psi_i}{2}\right) \quad . \quad (1.22)$$

Vztahy mezi výškami

Pokud je do vztahu pro pravou ortometrickou výšku (1.11) dosazeno $g = g_m^P + g - g_m^P$, je získán výraz

$$H^P = \int_0^P dh + \frac{1}{g_m^P} \int_0^P (g - g_m^P) dh \quad , \quad (1.23)$$

kde druhý člen pravé strany rovnice je tzv. ortometrická korekce k prvnímu členu, který vyjadřuje nivelací naměřenou výšku bodu P . Niveláčnický pořad je veden od geoidu.

Obdobně pokud je dosazeno $\gamma = \gamma_m^P + \gamma - \gamma_m^P$ do vztahu pro normální ortometrickou výšku (1.13), je získáno

$$H_\gamma^P = \int_0^P dh + \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P (\gamma - \gamma_m^P) dh \quad , \quad (1.24)$$

kde druhý člen je normální ortometrická korekce (C_γ^P), tj. korekce ze sbíhavosti hladinových ploch normálního tíhového pole. Rozdíl normálních ortometrických výšek určený z nivelovaného převýšení je vypočten za pomoci těchto korekcí. Při nivelaci je však niveláčnický přístroj horizontován do roviny kolmé k tížnici a niveláčnické záměry jsou tečnami k hladinovým plochám reálného tíhového pole. Normální ortometrické výšky, získávané nivelací, jsou vztaženy opět ke geoidu.

Po dosazení $g = \gamma + g - \gamma$ do vztahu pro normální (Moloděnského) výšku (1.14), platí

$$H_Q^P = \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P \gamma \, dh + \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P (g - \gamma) \, dh , \quad (1.25)$$

kde druhý člen je korekce z tíhových anomálií ($C_{\Delta g}^P$) a první člen je normální ortometrická výška bodu. Dosazením rovnice (1.24) do rovnice (1.25) platí

$$H_Q^P = \int_0^P dh + \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P (\gamma - \gamma_m^P) \, dh + \frac{1}{\gamma_m^P} \int_0^P (g - \gamma) \, dh = H_{niv}^P + C_\gamma^P + C_{\Delta g}^P . \quad (1.26)$$

H_{niv} je výška získaná nivelací. Rozdíl normálních výšek bodů P a R (ΔH_Q^{PR}) určený z nivelovaného převýšení mezi těmito body (ΔH_{niv}^{PR}) je

$$\Delta H_Q^{PR} = \Delta H_{niv}^{PR} + C_\gamma^{PR} + C_{\Delta g}^{PR} . \quad (1.27)$$

Postup pro výpočet korekcí měřeného nivelačního převýšení na normální převýšení (za účelem získání normální Moloděnského výšky) je uveden například ve zdroji [1]. Korekce nabývají malých hodnot a jejich zavádění má smysl od třídy přesnosti velmi přesné nivelace. Pro technickou nivelaci, která byla užita v diplomové práci, nemají korekce vzhledem k jejich velikosti význam a byly zanedbány.

Zdroje pro tuto kapitolu jsou [1], [2] a [3].

2 Kvazigeoid

Kvazigeoid byl popsán již v předchozí kapitole jako významná plocha pro normální výšky. Pro plochu kvazigeoidu jsou v průběhu let vyvíjeny jeho modely s různou přesností. V rámci diplomové práce je provedeno testování celkem tří lokálních modelů kvazigeoidu. „Model kvazigeoidu se využívá jako transformační plocha pro vzájemný převod normálních výšek a výšek elipsoidických.“ [3]

2.1 Model kvazigeoidu CR-2000

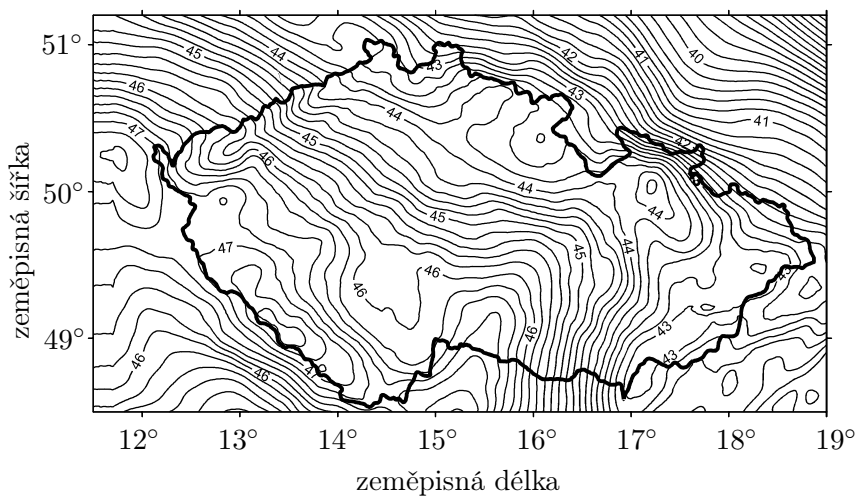
Dnes již nevyužívaný model kvazigeoidu CR-2000 je gravimetrickým lokálním kvazigeoidem VÚGTK. Výpočet modelu byl proveden dle rovnice (1.20), obsahuje hodnoty výškových anomálií pro území České republiky s mírným přesahem.

Model byl vytvořen především z gravimetrických dat. Vstupními daty při numerickém řešení gravimetrického modelu byly střední hodnoty Fayových tíhových anomálií. Data byla získána z celé oblasti výpočtu. Pro území České republiky byly střední hodnoty Fayových tíhových anomálií k dispozici v síti $1' \times 1,5'$ (tzn. střední hodnota přísluší ploše o rozměru $1' \times 1,5'$). Tato síť byla odvozena z Bouguerových anomálií získaných z digitalizované gravimetrické mapy v měřítku $1 : 200\,000$ a z digitálního výškového modelu v síti 100×100 m vytvořeného nad topografickou mapou v měřítku $1 : 10\,000$ v Gauss-Krügerově zobrazení. Polsko a Rakousko poskytlo přímo Fayovy anomálie v síti $5' \times 5'$, resp. $3' \times 5'$. Ostatní státy oblasti, Slovensko, Německo a Maďarsko, poskytly Fayovy anomálie v síti $5' \times 7,5'$. Zde byly získávány tyto anomálie z Bouguerových anomálií a normálních výšek jako v případě území ČR. Globální tíhové anomálie byly vypočteny z globálního modelu geoidu EGM96, který pokrývá celou Zemi v síti $1^\circ \times 1^\circ$. Globální tíhové anomálie byly užity pro redukci vstupních Fayových tíhových anomálií na lokální tíhové anomálie vstupujících do vztahu (1.20). Integrační oblast byla omezena sférickou vzdáleností $\psi = 2^\circ$. Dalšími vstupujícími daty byly výškové anomálie získané z přesné GNSS observace na 32 výškových bodech geodynamické sítě GEODYN. Gravimetrický model byl následně přimknut k rozdílům elipsoidických a normálních výšek bodů GEODYN

pomocí rektifikační plochy třetího stupně. V době vzniku bylo toto řešení jediné možné, jelikož jen síť GEODYN pokrývala ČR rovnoměrně. Výběrová údržba trigonometrických bodů pokrývala pouze část jižních a jihozápadních Čech a většinu Moravy.

Testování modelu bylo provedeno na speciálním profilu vedeném v nejstrmější části kvazigeoidu v jihovýchodní části České republiky. Jako body profilu se zvolily nivelační body ČSNS I. řádu mající normální výšky, na nichž se v letech 1999-2001 provedla GNSS/nivelace.

Testy, které byly prováděny na tomto modelu, potvrdily, že model představuje povrch kvazigeoidu vhodný pro transformaci elipsoidických výšek (získaných technologií GNSS) a normálních výšek, s přesností přibližně 3 cm. Byla zvažována další zlepšení modelu, především zvýšením rozlišení a přesnosti pozemních tíhových dat, která vstupují do výpočtu, užitím kvalitnějšího digitálního modelu terénu a začleněním pokročilejšího globálního tíhového modelu.



Zdroj: [4, str. 510]

Obr. 2.1: Kvazigeoid CR-2000

Výsledný model kvazigeoidu je tvořen množinou diskrétních bodů nesoucí hodnotu výškové anomálie nad elipsoidem Geodetického referenčního systému 1980 (GRS80). Jedná se o síť bodů s rozestupy $1' \times 1,5'$. Body jsou v systému ETRS89 v rámci ETRF89. Body tohoto modelu kvazigeoidu jsou uvedeny v jiném rámci, než v jakém budou určeny body profilu. Body profilu budou určeny v rámci ETRF2000.

„Rozdíly souřadnic mezi ETRF89 a ETRF2000 jsou pouze cca 2 centimetry ve směru sever - jih a 1 centimetr ve směru východ - západ.“ [5] Bude-li prováděna interpolace pro určení výškové anomálie z tohoto modelu pro body profilu, je možné zanechat souřadnice bodů modelu ve stávajícím rámci ETRF89, jelikož malá změna mezi souřadnicemi těchto dvou různých rámců by se vzhledem k rozměru oka sítě modelu kvazigeoidu neměla ve výsledcích interpolace projevit.

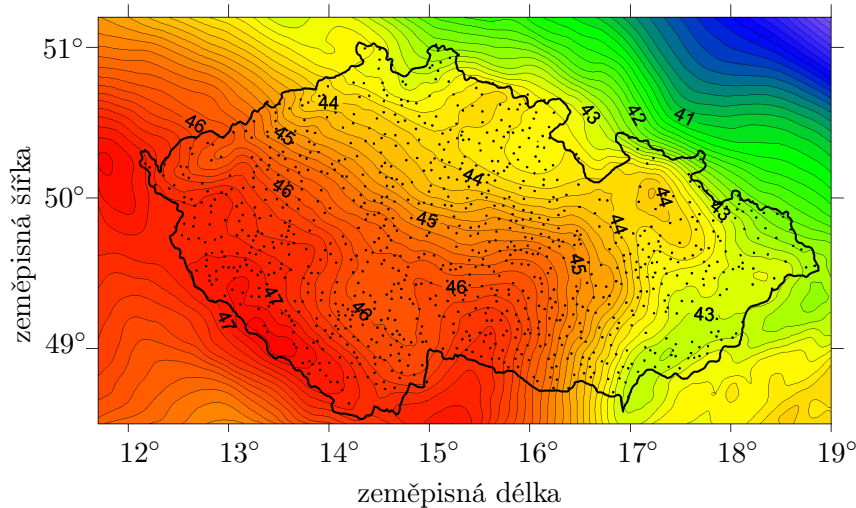
Na obrázku (obr. 2.1) je vykreslen model CR-2000, znázorněny jsou izolinie výškových anomálií v metrech.

2.2 Model kvazigeoidu CR-2005

Již zmíněná výběrová údržba trigonometrických bodů byla prováděna Zeměměřickým úřadem v letech 1997-2006. Při této kampani byly zaměřeny trigonometrické body technologií GNSS. Body mají určené souřadnice v S-JTSK a výšku v systému Bpv a dále byly určeny jejich souřadnice v systému ETRS89 v rámci ETRF2000 s elipsoidickou výškou.

V době vzniku modelu CR-2005 byla výběrová údržba provedena pro 1024 bodů, které tvořily rovnoměrné pokrytí celého území a poskytovaly rozdíly elipsoidických a normálních výšek. Rovnoměrné pokrytí celého území umožnilo dokonalejší přizpůsobení gravimetrického řešení výškovým rozdílům a zpřesnění podrobného tvaru. „Přenos informace z trigonometrických bodů na jednotlivé uzly byl uskutečněn dvěma typy podmínek: 1. uzávěrová podmínka, v níž součet převýšení mezi sousedními vrcholy oka sítě má být nulový; 2. měřený rozdíl výšek na daném trigonometrickém bodě má být roven interpolované odlehlosti kvazigeoidu.“ [6]

V testech bylo vyloučeno 17 bodů, u kterých převyšovaly odchylky hodnotu 15 centimetrů. Gravimetrický kvazigeoid CR-2005 je zpřesněním dřívějšího modelu CR-2000, je tabelován v síti $1' \times 1,5'$. Celkem je na zájmovém území 53 550 uzlů. Model kvazigeoidu CR-2005 je určen k převodu výšek v rámci globální transformace mezi systémy ETRS89 a S-JTSK. Souřadnice bodů tohoto modelu jsou uvedeny v ETRF2000. Střední chyba rozdílů měřených a vyrovnaných hodnot výškových anomálií je 1,3 centimetru.



Zdroj: [6, str. 23]

Obr. 2.2: Kvazigeoid CR-2005

V obrázku (obr. 2.2) jsou znázorněny izolinie výškových anomálií kvazigeoidu nad elipsoidem GRS80 v metrech, černými tečkami jsou vykresleny body GNSS/nivelace.

2.3 Model kvazigeoidu QGZÚ-2013

Nejnovější podrobný gravimetrický model kvazigeoidu QGZÚ-2013 představuje také transformační plochu umožňující převod normálních výšek v systému Bpv a elipsoidických výšek v ETRS89 (realizace ETRF2000, nad elipsoidem GRS80).

„Model kvazigeoidu byl získán kombinovaným regionálním řešením lineární gravimetrické okrajové úlohy pro poruchový gravitační potenciál zemského tělesa.“ [8] Jedná se o užití tzv. Greenovy-Neumannovy funkce, na které bylo založeno řešení modelu. Do řešení významně přispěly podrobné body gravimetrických mapování v ČR zaměřených při geofyzikálním průzkumu mezi lety 1950-2010.

Výsledný datový soubor modelu je tvořen hodnotami výškové anomálie v uzlových bodech sítě $3'' \times 3''$, uzlové body jsou udány zeměpisnými souřadnicemi v rámci ETRF2000. Úplná střední chyba výškové anomálie je uváděna pro území České republiky 1 centimetr. Nicméně v horském terénu a v příhraničních oblastech (za příhraniční oblasti jsou zde považovány oblasti ve vzdálenosti do 10 kilometrů od

státních hranic) může dosahovat střední chyba výškové anomálie hodnot vyšších, nejvýše však 3 centimetry.

Poskytování dat modelu je na základě licenční smlouvy. Data zatím nepodléhají zpoplatnění, jsou k objednání po výdejních jednotkách na Geoportálu ČÚZK, viz [8]. Tento model je velice významným posunem v oblasti modelování kvazigeoidu, především kvůli vysokému rozlišení a zlepšující se přesnosti dat.

Zdroje pro tuto kapitolu jsou [3], [4], [5], [6], [7], [8] a [9].

3 Globální navigační satelitní systémy

V měřické části diplomové práce je využito technologie globálních navigačních satelitních systémů (GNSS). Globální navigační satelitní systémy umožňují určit polohu na Zemi. Zásadní pokrok ve vývoji navigací přišel na začátku 20. století s objevem bezdrátové komunikace. Začaly se objevovat navigační systémy pro námořní a leteckou dopravu. Budování prvních globálních navigačních systémů se ujaly armády světových mocností. Ke konci 20. století již zasáhly systémy i civilní sféry. V současné době dochází ke zvyšování přesnosti, rychlosti a spolehlivosti navigačních satelitních systémů. Požadavky globálnosti, ve smyslu pokrytí celého zemského povrchu, splňují výhradně družicové navigační systémy. Princip činnosti spočívá v určení polohy na zemském povrchu pomocí družic. V současné době jsou nejznámějšími systémy NAVSTAR GPS, GLONASS a evropský projekt GALILEO, který je ve vývoji.

3.1 NAVSTAR GPS

Systém NAVSTAR GPS je globálním navigačním satelitním systémem vyvinutým americkou vládou, původně jako ryze vojenský systém (dále jen GPS). Jedná se o pasivní dálkoměrný systém. Systém je tvořen kosmickým, řídicím a uživatelským segmentem, uživatelský segment zahrnuje GPS přijímače uživatelů umožňující přijímat signály z družic a získávat z nich informaci o své poloze a čase.

Kosmický segment je tvořen družicemi, pracuje s nominální konstelací 24 družic, avšak v současné době je plně funkčních více jak třicet družic. Plné operační schopnosti bylo dosaženo na konci roku 1994. Satelity jsou rozmístěny na šesti téměř kruhových oběžných drahách ve výšce přibližně 20 200 kilometrů nad povrchem zemským se sklonem k rovníku 55° . Oběžná doba je půl hvězdného dne (11 hodin 58 minut). Družice jsou vybaveny vysílačem, atomovými hodinami, slunečními bateriemi, setrvačníky pro udržování správné orientace, raketovými motory pro opravu dráhy a dalšími přístroji.

Řídící segment provádí monitorování funkce družic a předává jim údaje o dráze a stavu jejich atomových hodin. Skládá se z hlavní řídicí stanice (umístěna v Colorado Springs), pěti monitorovacích stanic a dále tří pozemních stanic.

3.1.1 Družicový signál GPS

Složky družicového signálu jsou odvozeny od základní frekvence družicového oscilátoru (přesných atomových hodin), $f_0 = 10,23$ MHz. Dvě sinusové nosné vlny označovány jako pásmo L1, L2 mají frekvence f_1, f_2 a platí $f_1 = 154 f_0$ a $f_2 = 120 f_0$. Obě vlny jsou modulovány PRN (pseudonáhodnými) kódy a navigační zprávou. Přenášejí čtení z atomových družicových hodin a dráhové parametry družice. PRN kódy jsou C/A-kód a P-kód, C/A-kód se užívá pro základní civilní službu a je v pásmu L1, P-kód je složitější a je modulován do obou nosných vln.

Navigationální zpráva obsahuje informace o stavu družice, parametry pro predikci polohy družice (předpokládané efemeridy družic), informace o ostatních družicích v systému (tzv. almanach), koeficienty ionosférického modelu a korekce atomových hodin. Signál, který je vysílán družicemi, přijímá přijímač GPS, který obsahuje prvky umožňující příjem a jeho zpracování.

3.1.2 Kódové a fázové měření

Určení polohy přijímače je založeno v kódovém měření na určení tzv. pseudovzdálenosti. Využitím znalosti kódu, kterým je modulována nosná vlna, je přijímač schopen přímo měřit transitní čas signálu (τ_i), za tento čas dorazí signál z i -té družice k přijímači. Pseudovzdálenost je poté transitní čas násobený rychlostí šíření elektromagnetické vlny (c), je ovlivněna řadou efektů a nejvýznamnější působící efekt je chyba hodin přijímače. Pseudovzdálenost i -té družice a přijímače je

$$D_i = \tau_i c . \quad (3.1)$$

Jsou-li známé kartézské souřadnice i -té družice (x_i, y_i, z_i) a určena pseudovzdálenost (D_i), je možné určit souřadnice přijímače (x, y, z). Dále je uvažována chyba hodin přijímače (δ) a přepočtena na vzdálenost $b = \delta c$. Výchozí vztah pro výpočet polohy

přijímače je

$$d_i = D_i + b = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} . \quad (3.2)$$

Dle rovnice (3.2) je pro určení polohy přijímače nutný příjem signálu minimálně od čtyř družic současně. K určení polohy přijímače postačuje sice jediný přijímač, avšak kódové měření je méně přesné než měření fázové.

Naopak fázové měření využívá dva přijímače, které jsou umístěny na společné základně se vzdáleností d . Poté je přijímána fáze nosné vlny signálů od i -té družice oběma přijímači. K -tý přijímač určuje rozdíl fáze přijatého signálu ($\Phi(t)$) a fáze signálu v čase vyslání družicí ($\Phi(t - \tau)$). Hledaná pseudovzdálenost (D_{ki}) je dána součtem zlomku cyklu ($\Delta\lambda_{ki}$), který je získán z rozdílu fází, a celkového počtu cyklů sinusové vlny mezi družicí a přijímačem (n_{ki}) vynásobeným vlnovou délkou signálu (λ) dle

$$D_{ki} = (n_{ki} + \Delta\lambda_{ki}) \lambda . \quad (3.3)$$

Při fázovém měření je největším problémem určení celkového počtu cyklů vlny, tzv. ambiguity. Přibližný odhad velikosti ambiguity poskytne vzdálenost určená kódovým měřením. Poté dojde například k použití tzv. trojitých diferencí mezi dvojicí přijímačů, dvojicí družic a dvojicí měření následujících po sobě a je možné eliminovat neznámou n_{ki} . Metod pro eliminaci neznámé, tj. určení celočíselného počtu cyklů vln, je celá řada. Podmínkou pro fázové měření je nepřerušovaný příjem družicového signálu. Přesnost určené pseudovzdálenosti podle rovnice (3.3) mezi družicí a přijímačem je v řádu milimetrů. V geodézii se užívá fázové měření hojně, nutnost nejméně dvou současně měřících přijímačů pro určení polohy bodu na zemském povrchu je nahrazováno využitím jedné stanice ze sítě permanentních stanic a jednoho (mobilního) přijímače. Poté se označuje stanice jako referenční stanice a mobilní přijímač jako rover.

Měření je možné dělit na měření GNSS postprocessing (s pozdějším zpracováním), RTK metodu (měření v reálném čase) a dále diferenční GNSS. Statická metoda je metoda, kdy by doba observace měla trvat minimálně 1 hodinu a spadá pod GNSS s pozdějším zpracováním, tato metoda byla užita v diplomové práci.

Za zmínku stojí některé z efektů negativně působících na GNSS měření. Mezi systematické chyby mající vliv na měřené vzdálenosti patří například ionosférická a troposférická refrakce, nepřesnost znalosti dráhy družic, chyba družicových hodin či multipath. Za náhodné chyby systému jsou považovány chyby měřené vzdálenosti a hodnoty tzv. geometrické odchylky od přesnosti - GDOP (pozn. DOP - odchylka od přesnosti, též označována jako faktor snížení přesnosti či parametr přesnosti). „GDOP je ukazatelem kvality geometrického rozložení družic nad obzorem v okamžiku měření. Čím více viditelných družic, které jsou od sebe co nejvíce vzdáleny, tím menší hodnota DOP a vyšší kvalita měření. GDOP je bezrozměrné číslo. Dosažitelná minimální hodnota je rovna jedné.“ [11]

„Běžně je použit parametr horizontální přesnosti (HDOP) a parametr přesnosti polohy (PDOP), méně často i parametr vertikální přesnosti (VDOP), parametr geometrické přesnosti (GDOP), parametr přesnosti času (TDOP)“ [3]

Síť referenčních stanic

„Referenční stanice se skládá z antény a přijímače GNSS, umístěné na bodě o známých geocentrických souřadnicích pro potřeby sběru dat pro určení korekcí. Referenční stanice musí data sbírat ve stejném čase, ve kterém probíhá i sběr dat mobilním přijímačem. Referenční stanice může být jak permanentní, tak dočasná. Permanentní zpravidla sbírá data pro řadu uživatelů, zatímco dočasná slouží jen pro potřeby jednoho měření.“ [3] Stanice těchto sítí poskytují uživateli data pro metodu s pozdějším zpracováním i korekce pro měření RTK. Na území České republiky je nejvýznamnější CZEPOS - síť permanentních stanic GNSS České republiky. CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad.

Výměnný formát RINEX

RINEX je nezávislým výměnným formátem GNSS měření, jedná se o textový formát a rozlišuje tři druhy souborů. Druh souboru observační (slouží pro uložení kódových a fázových měření), navigační (slouží pro uložení navigační zprávy) a meteorologický (obsahuje meteorologická měření provedená v místě referenční stanice). Přípona souboru je *.xxx*, kde *xx* je poslední dvojčíslí roku, ve kterém je prováděno

měření a t je typ souboru. Typ souboru může být například o - observační data, n - navigační zpráva pro systém GPS, g - navigační zpráva pro GLONASS.

3.2 GLONASS, GALILEO

Další systémy jsou obdobné NAVSTAR GPS. GLONASS je ruský navigační satelitní systém. Jeho vývoj byl zahájen roku 1970. Pro kosmický segment bylo plánováno 24 družic. Družice obíhají po oběžných drahách se sklonem necelých 65° ve výšce přibližně 19 100 kilometrů nad zemským povrchem.

GALILEO je družicový systém, který je plánovaný a budovaný Evropskou unií a Evropskou kosmickou agenturou. V plném operačním stavu by měl systém obsahovat 27 družic a ještě 3 záložní, rozmístěných na 3 drahách se sklonem 56° k rovníku a výškou přibližně 23 222 kilometrů nad povrchem Země.

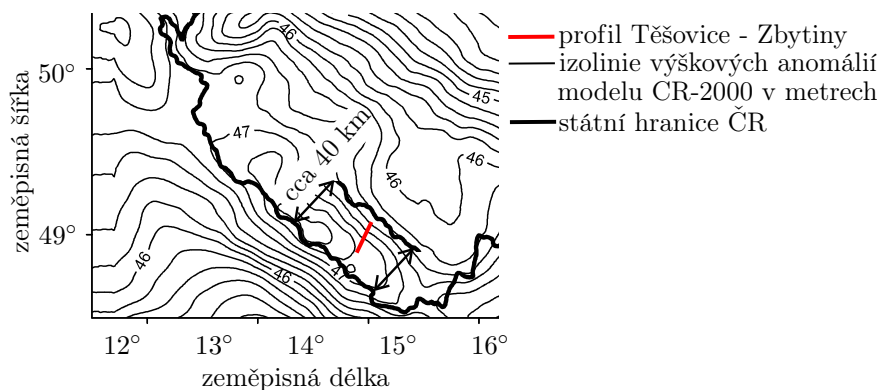
Zdroje pro tuto kapitolu jsou [3], [10], [11] a [12].

4 Profil Těšovice - Zbytiny

Profil určený pro testování modelů kvazigeoidu byl vybrán na základě požadavků:

- převýšení na profilu je minimálně 250 metrů,
- profil je situován přibližně kolmo na izolinie výškových anomálií v modelu kvazigeoidu,
- body profilu jsou v příhraniční oblasti (zde uvažováno maximálně 40 kilometrů od státních hranic České republiky),
- body profilu jsou v blízkosti bodů ČSNS či jsou to přímo body ČSNS,
- body profilu nejsou v úzkých zalesněných údolích.

Požadavky převýšení profilu a kolmosti na izolinie modelu kvazigeoidu byly kladeny především proto, aby body neležely v jedné výškové úrovni. Požadavek příhraniční oblasti je kladen z důvodu způsobu vzniku modelů kvazigeoidu v této oblasti. U státních hranic jsou modely tvořeny za využití dat poskytnutých okolními státy. Další požadavek je uveden z praktického hlediska, body ČSNS mají nadmořské výšky v systému Bpv. Poslední požadavek umístění bodů profilu mimo oblasti úzkých zalesněných údolí je uveden, aby mohla být provedena GNSS observace na bodě profilu.

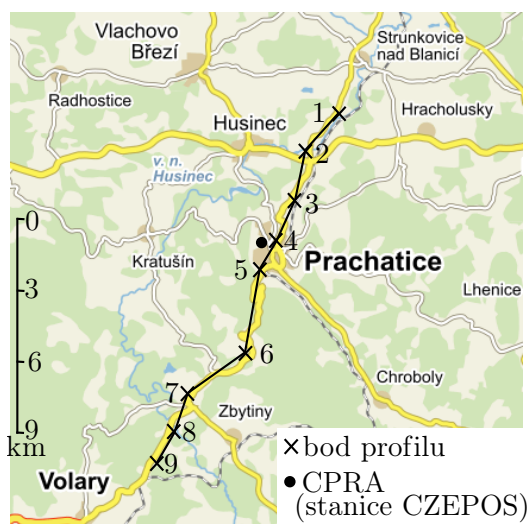


Zdroj: Vytvořeno na podkladu modelu CR-2000 [4]

Obr. 4.1: Jihozápadní část modelu CR-2000 se zákřesem profilu

Testovací profil byl vybrán v jihozápadní části České republiky, je veden v okolí Prachatic od Těšovic ke Zbytinám a je dlouhý necelých 18 kilometrů. Tento profil splňuje výše uvedené požadavky a byl schválen vedoucím diplomové práce. Přibližné zakreslení profilu a oblasti do 40 kilometrů od státních hranic je do grafického znázornění modelu kvazigeoidu CR-2000 uvedeno na obrázku (obr. 4.1).

Na profilu Těšovice - Zbytiny byla provedena rekognoskace terénu dne 28. 6. 2015. Byly vyhledány body ČSNS, ke kterým byly v blízkosti určeny vhodná místa pro umístění bodů profilu. Přímé vzdálenosti mezi body profilu se pohybují od 1,5 až 3,5 kilometrů. Přibližné znázornění bodů profilu do mapy České republiky je uvedeno v obrázku (obr. 4.2), v tomto znázornění byla zobrazena i stanice Prachatice - CPRA, permanentní stanice sítě CZEPOS.



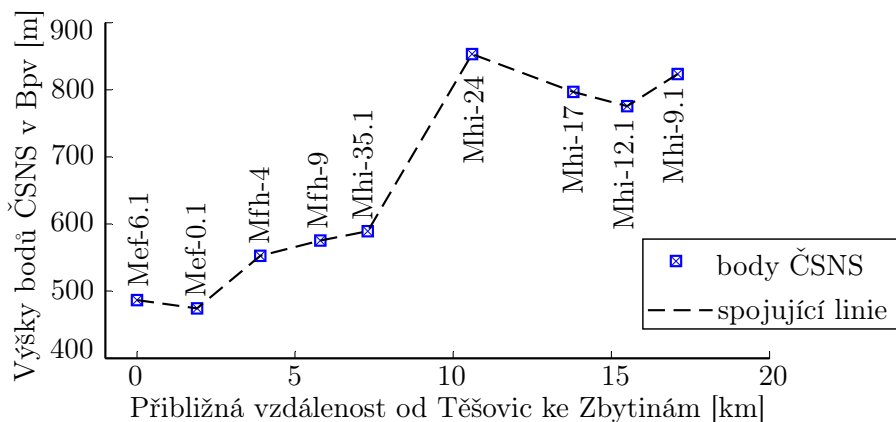
Zdroj: Vytvořeno na podkladu mapy ČR [13]

Obr. 4.2: Zákres profilu v mapě ČR

Nadmořské výšky bodů ČSNS, které jsou v blízkosti bodů testovacího profilu, jsou vyneseny v grafu (obr. 4.3). Tímto bylo provedeno přibližné znázornění výškového průběhu testovacího profilu, který povede v blízkosti nivelačních bodů ČSNS II. řádu.

V tabulce (tab. 4.1) jsou uvedena čísla vyhledaných bodů ČSNS II. řádu, jejich výšky ve výškovém systému Bpv, označení jim příslušného nivelačního pořadu a čísla bodů profilu. Vzhledem k nutnosti zajistit vhodné podmínky pro GNSS observaci

se ani v jednom případě nepodařilo použít bod ČSNS jako bod profilu. Nivelační údaje k uvedeným bodům ČSNS byly vyhledány v Databázi bodových polí, viz [14].



Zdroj: Vlastní tvorba, data převzata z [14]

Obr. 4.3: Výškový průběh bodů ČSNS blízkých bodům profilu

Tab. 4.1: Body profilu, body ČSNS

číslo bodu profilu	číslo bodu ČSNS	nivelační pořad bodu ČSNS	výška bodu ČSNS v Bpv
1	Mef-6.1	Mef Těšovice - Vodňany	486,558 m
2	Mef-0.1	Mef Těšovice - Vodňany	474,443 m
3	Mfh-4	Mfh Těšovice - Prachatice	552,557 m
4	Mfh-9	Mfh Těšovice - Prachatice	575,498 m
5	Mhi-35.1	Mhi Volary - Prachatice	589,252 m
6	Mhi-24	Mhi Volary - Prachatice	853,249 m
7	Mhi-17	Mhi Volary - Prachatice	796,943 m
8	Mhi-12.1	Mhi Volary - Prachatice	775,681 m
9	Mhi-9.1	Mhi Volary - Prachatice	823,449 m

Zdroje pro tuto kapitolu jsou [4], [13] a [14].

5 Měřické práce

Měřické práce byly provedeny 17. až 19. 7. 2015. Body profilu byly v terénu dočasně stabilizovány dřevěným kolíkem, viz obrázek (obr. 5.1). Pro zjištění výškové anomálie na bodech profilu bylo nutné určit jejich nadmořské výšky v Bpv, tedy normální Moloděnského výšky (metodou technické nivelace z blízkého bodu ČSNS) a také jejich elipsoidické výšky (metodou GNSS/nivelace).



Zdroj: Vlastní fotodokumentace ze dne 18. 7. 2015

Obr. 5.1: Ukázka stabilizace bodu profilu a GNSS aparatura

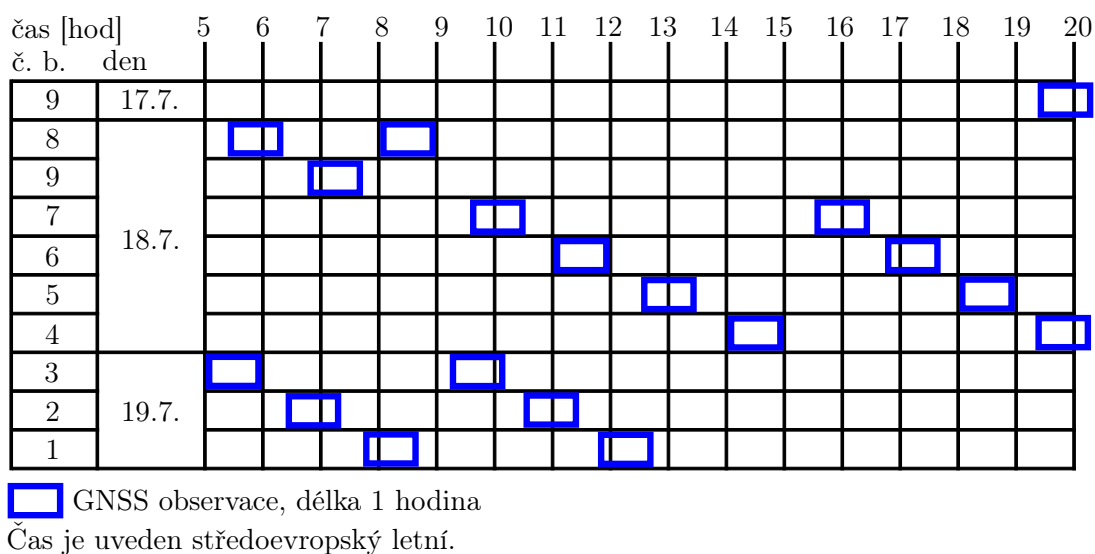
5.1 GNSS/nivelace

Před samotným měřením bylo vypracováno rozvržení GNSS/nivelace. Nejprve byla určena doba GNSS observací a jejich počet opakování na jednotlivých bodech.

V publikaci [15] se doc. Ing. Josef Weigel, CSc. a prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc., zabývají návrhem optimální technologie měření metodou GNSS pro určení výšky. Bylo zjištěno, že je možné upustit od mnohahodinových observací s minimální ztrátou přesnosti a nahradit je kratšími observacemi, které jsou však opakovány. Toto bylo úspěšně aplikováno například na testování modelu kvazigeoidu CR-2000. Jednalo se o testování na přibližně 100 kilometrů dlouhém testovacím profilu vedoucím podél nivelačních pořadů I. řádu ČSNS na jihovýchodní Moravě. Dále uvádí, že je možné několikahodinovou GNSS observaci na jednotlivém bodě nahradit observací

o délce 1 až 1,5 hodiny s opakováním dvakrát až třikrát, nejlépe s 6 až 8 hodinovým rozestupem. Při fázovém měření GNSS za normálních podmínek je možné dosáhnout přesnosti určení elipsoidické výšky pod 5 milimetrů při vzdálenosti základny (vzdálenost mezi dvěma GNSS přijímači) do 5 kilometrů a pod 8 mm při vzdálenosti 15 kilometrů.

Z této teorie bylo čerpáno pro určení doby a opakování observace v rámci měření testovacího profilu Těšovice - Zbytiny. Bylo navrženo, že měření bude probíhat po hodinových GNSS observacích na bodě. Na každém bodě se provede měření dvakrát, minimální odstup mezi observacemi na témže bodě bude tři hodiny. Při zpracování se využije měření permanentní stanice ze sítě referenčních stanic CZEPOS. Jedná se o stanici Prachatice - CPRA. Při využití stanice CPRA je možné provádět měření na bodech profilu jen jedním přijímačem GNSS. Vzdálenosti bodů profilu od stanice CZEPOS jsou do 10 kilometrů. Jedná se o využití metody GNSS s pozdějším zpracováním, statická metoda.



Obr. 5.2: Znárodnění GNSS observací na bodech profilu

Výsledné schéma provedených GNSS observací v rámci GNSS/nivelace na bodech profilu je uvedeno na obrázku (obr. 5.2). Při měření byla dodržena hodinová délka observace a minimální rozestup mezi dvojí observací 3 hodiny. Výjimka byla

vytvořena pro bod profilu č. 8, kde vzhledem k technickým komplikacím (neplánovaná uzavírka silnice) a časovým možnostem byla doba mezi dvojí observací zkrácena na polovinu stanovené minimální doby (tj. na 1,5 hod).

Přístrojové vybavení

Pro GNSS/nivelaci byla použita GNSS aparatura Topcon - GNSS přijímač Topcon HiPer+ (v.č. 279-0296) a kontrolér FC-100 (v.č. 726219). Horizontace a centrace přijímače na bodě profilu byla provedena s pomocí trojnožky s optickým centrovačem a krabicovou libelou. Výška přijímače nad bodem profilu byla měřena vertikální. Anténa Topcon HiPer+ umožňuje přijímat satelitní signály systému GPS i GLONASS.



Zdroj: Vlastní fotodokumentace ze dne 19. 7. 2015

Obr. 5.3: GNSS přijímač Topcon HiPer+, přední strana

Přední strana přijímače, viz obrázek (obr. 5.3), obsahuje:

- tlačítko Reset
- sériové porty
Sériové porty jsou označeny A až D, port A se užívá pro komunikaci mezi přijímačem HiPer+ a kontrolérem či případně jiným externím zařízením. Port D se užívá pro komunikaci mezi přijímačem a externím zařízením.
- PWR a USB port
PWR port je portem pro připojení externího zdroje. Tento port se užívá také

pro nabíjení interních baterií. Port USB je určen pro přenos dat mezi přijímačem a externím zařízením.

- MINTER

MINTER je uživatelské rozhraní obsahující dvě klávesy pro ovládání přijímače a čtyři LED diody zobrazující jeho činnost (indikace počtu družic systému GPS a GLONASS, od nichž je aktuálně zachycen signál, signalizace záznamu dat na interní paměťovou kartu, stav baterie a modemu).

V rámci měření statickou metodou byl přijímač ovládán pomocí kontroléru, který byl propojen s přijímačem pomocí kabelu. V kontroléru bylo využito programu TopSurv pro sběr dat. Byla založena nová zakázka, nastaveno ukládání dat po 5 vteřinách a elevační maska 15° . Před začátkem registrace přijímaných družicových dat byla vždy zadána vertikální výška antény nad bodem (výška měřená od bodu profilu k referenčnímu bodu antény - ARP) a číslo bodu, na němž byla prováděna GNSS observace (číslo bodu ve formátu uvedeném dále). Během observace byly průběžně sledovány přibližná poloha stanoviště určená z kódového měření přijímače, GDOP, grafické znázornění viditelných satelitů (sky plot), doba měření, stav baterie a paměti a historie záznamu dat od jednotlivých družic. Při observaci bylo hlídáno, aby přijímač po dobu jedné hodiny sledoval minimálně čtyři družice současně.

Po provedení GNSS/nivelace byla data přenesena z interní paměti přijímače HiPer+ za pomoci USB kabelu a programu PC-CDU. Data byla stažena ve formátu TPS, byla převedena do standardního výměnného formátu RINEX, který využívá většina programů pro zpracování GNSS měření. Pro převod na formát RINEX byl využit program Tps2rin [18].

5.2 Technická nivelace

Určení normální výšky bylo provedeno technickou nivelací z blízkého bodu ČSNS. Technická nivelace je stupeň přesnosti geometrické nivelace ze středu. K měření bylo využito nivelačního přístroje Spectra AL 120 (v.č. 812068) a skládací nivelační latě o délce 4 metry. Byla dodržena maximální délka záměry 120 metrů a minimální výška

nad terénem 0,3 metru. Nivelace byla prováděna metodou tam a zpět. Dosažený rozdíl byl testován mezním rozdílem

$$\Delta_M[\text{mm}] = 0,67 \cdot 40\sqrt{R[\text{km}]} . \quad (5.1)$$

V rovnici (5.1) je R délka nivelačního oddílu uváděná v kilometrech a mezní rozdíl je určen v milimetrech. V žádném nivelačním pořadu nebyl překročen mezní rozdíl. Aby nebyla příliš ovlivněna přesnost určované výšky bodu profilu, byla prováděna pouze jedna nivelační sestava, pokud možno přímá s krátkými záměry. Rozměření a určení délky sestavy bylo provedeno krokováním, délka sestavy byla volena přibližně do šedesáti metrů. Na bodě č. 9 byla délka sestavy necelých devadesát metrů, neboť nebyla možná jiná volba umístění bodu profilu. Nivelace byla vždy provedena neprodleně po první GNSS observaci. Zápisník technické nivelace je v **příloze A**.

Zdroje pro tuto kapitolu jsou [1], [15], [16], [17] a [18].

6 Zpracování a zhodnocení

Po provedení GNSS/nivelace pro určení elipsoidické výšky nad elipsoidem GRS80 a technické nivelace pro určení nadmořské výšky v Bpv bylo přistoupeno ke zpracování naměřených dat.

6.1 Výpočet GNSS/nivelace, elipsoidických výšek

Ke zpracování GNSS/nivelace byl použit program Leica Geo Office [19]. GNSS observace byla provedena statickou metodou s pozdějším zpracováním. Kromě vlastního měření bylo využito měření permanentní stanice CPRA sítě CZEPOS.

Vlastní data získaná GNSS observací byla převedena do formátu RINEX. K výpočtu byly užity soubory s příponou *.15o* jednotlivých bodů profilu. Pro jednoduchou orientaci v souborech GNSS observace byl zvolen jednotný formát pojmenování souborů: *2015xxxx_Yzzzz*, kde *2015* je rok měření, *xxxx* je datum měření (např. pro 19. 7. je *xxxx = 1907*), *Y* je buď písmeno *D* jako dopolední (první) GNSS observace anebo *O* jako odpolední (druhá) observace na bodě profilu a *zzzz* je číslo blízkého nivelačního bodu ČSNS k bodu profilu. Například soubor pojmenovaný *20151707_D0091* je první GNSS observace na bodě profilu č. 9, u kterého je blízký bod ČSNS Mhi-9.1. Čísla bodů profilu a jim přiřazené názvy při GNSS observaci jsou uvedeny v **příloze B** v tabulce (tab. B.2).

Observační data ve formátu RINEX pro stanici CPRA byla stažena z webu CZEPOS, viz [12]. Pro účely diplomové práce byla data poskytnuta bezplatně.

Příslušné parametry užitých antén byly získány pro anténu typu LEIAR25.R4 LEIT stanice CPRA z webu CZEPOS [12] a pro anténu typu TSHIPER PLUS NONE přijímače HiPer+ byly poskytnuty vedoucím diplomové práce (pozn. je možné je získat na webu IGS [20]).

Přesné efemeridy (parametry oběžných drah družic GNSS) byly staženy z Mezinárodní GNSS služby - IGS, viz [20]. Přesné efemeridy jsou soubory s příponou *.sp3* a službou IGS jsou poskytovány s časovým zpožděním. Tyto přesné efemeridy mají význam hlavně pro velmi přesné geodetické práce.

Zpracování v Leica Geo Office

Nejprve proběhlo založení a nastavení nového projektu v programu Leica Geo Office. Nastavené hodnoty jsou uvedeny níže.

Nastavení projektu

název projektu	Diplomova_prace
limity pro automatické průměrování souřadnic	
- max. vzdálenost mezi různými řešeními (poloha)	5 centimetrů
- max. vzdálenost mezi různými řešeními (výška)	5 centimetrů
časové pásmo	2 h (Středoevropský letní čas)
souřadnicový systém	WGS 1984

Následně proběhlo nahrání příslušných dat do projektu. V sekci *Management* byla zvolena položka *Antennas*, kam byly naimportovány soubory antén a poté přetažením umístěny do projektu. Byla nahrána anténa stanice CPRA a anténa přijímače HiPer+. Poté byla načtena vlastní data z GNSS observací (soubory s příponou *.15o*) přes nástrojovou lištu *Import* a volbu *Raw data*, kde byl zvolen typ souboru RINEX. Načtená data byla přiřazena do projektu. Proběhla kontrola, zda se k přijímačem prováděným observacím přiřadila správná anténa. Dále bylo obdobně provedeno nahrání dat ze stanice CPRA. Poté byly do projektu přes volbu *Import - Precise Ephemeris* importovány přesné efemeridy pro družice GLONASS a GPS.

Následovalo vlastní zpracování dat. Při fázovém měření se určuje relativní poloha, tedy vektory (tj. směr a vzdálenost) mezi referenční stanicí, která je umístěna na jednom bodě o známé poloze, a mobilním přijímačem GNSS, pomocí kterého se určuje poloha neznámých bodů a plní funkci tzv. roveru. Nastavení pro jednotlivá měření bylo provedeno v záložce *GPS-Proc*. Pro měření na bodech profilu byla nastavena hodnota *Rover* a pro referenční stanici CPRA byla nastavena hodnota *Reference*.

Poté bylo provedeno nastavení výpočtu vektorů směřujících ze stanice CPRA k bodům profilu. V grafickém znázornění měřených dat byla v rolovacím menu vybrána volba *Processing Parameters...*, vektory byly počítány v systému WGS84,

elipsoid tohoto souřadnicového systému má parametry téměř shodné s elipsoidem GRS80. Pro výpočet byla nastavena hodnota elevačního úhlu na 15° , použití přesných efemerid družic, typ řešení *all fixed*, GNSS typ byl volen GPS a GLONASS, a zvoleno ukládání pokročilých parametrů jako jsou residua (opravy) a GDOP. Typ řešení *all fixed* (vše fixováno) nastane, pokud dojde k úspěšnému vyřešení ambiguit, bude získána jejich celočíselná hodnota. Nedojde-li k celočíselnému vyřešení ambiguit, je stav řešení *float*.

Po nastavení výpočtu byla zvolena položka *Process*. Po výpočtu byly v záložce *Results* prohlíženy výsledky výpočtu. Zde byla stěžejní informace, zda došlo k vyřešení ambiguit a typ řešení bude tedy *fixed*, dále byly prohlíženy analýzy jednotlivých vektorů, zkoumány hodnoty GDOP. U některých vektorů nebylo požadované vyřešení ambiguit splněno, u některých bylo programem pro výpočet využito jen družic GPS. Situace byla řešena nejdříve tak, že byl proveden opětovný výpočet jen za využití satelitů GPS. To bylo shledáno jako vhodnější varianta vzhledem k lepším (přesnějším) výsledkům. Také bylo uváženo, že pokud by byly satelity GLONASS užity pro výpočet pouze některých vektorů, mohlo by to do výsledků vnést určitý posun k těmto vektorům. U čtyř vektorů, z celkových osmnácti, nebylo splněno vyřešení ambiguit (typ *fixed*). V těchto případech byly vyhledány družice s vysokými residui, které by mohly snižovat kvalitu řešení, a tyto družice byly pro opakovaný výpočet vyloučeny. Pokud by ani toto nezměnilo stav vyřešení ambiguit mohlo by se přistoupit ke změně elevačního úhlu či dalších parametrů výpočtu. Pro vektor ze stanice CPRA k bodu profilu č. 7 (tj. k bodu pojmenovaném během měření ve formátu *20151807_D0170*) v první observaci byly vyloučeny družice GPS G13 a G14 a poté byl stav ambiguit při výpočtu vektoru již vyřešen jako *fixed*. Obdobně tak byly vyloučeny družice pro vektor CPRA - bod profilu č. 6 v první i druhé observaci (tj. *20151807_D0240* a *20151807_O0240*), přičemž v první observaci byl vyloučen satelit G6 a v druhé G19 a G22. Pro vektor CPRA - č. 3 při druhé observaci (*20151907_O0040*) byly vyloučeny satelity G14 a G25. Výpočet již proběhl s kladným výsledkem ve všech případech. V záložce *Results* bylo provedeno uložení výsledků volbou *Store*. Protokoly z tohoto výpočtu jsou v **příloze B**. Výsledné hodnoty GDOP a PDOP jsou pro jednotlivé GNSS observace shrnuty v **příloze B**

v tabulce (tab. B.1). GDOP je pro všechny observace do hodnoty pět, výjimku tvoří hodnota pro druhou observaci bodu profilu č. 3 (20151907_0040), kde GDOP nabývá hodnoty vyšší než šest.

V posledním kroku výpočtu polohy bodů GNSS metodou je nutné provést vyrovnání, neboli připojení vypočtených vektorů na pevný bod o známé poloze. Bod, který je užit jako pevný, je stanice CPRA sítě CZEPOS. U tohoto bodu byla nastavena třída *control* a jeho platné souřadnice v systému ETRS89 (v rámci ETRF2000), získané z webu CZEPOS [12]. Geodetické zeměpisné souřadnice na elipsoidu GRS80 stanice CPRA jsou $B = 49^{\circ} 00' 51,48166''$ a $L = 13^{\circ} 59' 45,37721''$, elipsoidická výška je $H = 645,390$ m. Vzhledem k tomu, že elipsoidy GRS80 a WGS84 jsou téměř shodné, je možné vektory určené ve WGS84 použít i při výpočtu v systému ETRS89. Výpočet byl proveden v záložce *Adjustment*, kde byla nejdříve provedena analýza sítě ve volbě *Pre-analysis*. V protokolu analýzy jsou uloženy obecné informace o počtu stanic a vektorů, dále informace o eventuelně identických pozorováních. Každý bod profilu byl měřen dvakrát, byl označen jako eventuelně identický bod a byla určena vzdálenost mezi jeho dvojným určením polohy. Pro všechny body byla vzdálenost mezi dvojným určením polohy maximálně 2 centimetry, viz **příloha B**. Následně byla vypočtena síť, tedy provedeno vyrovnání, volbou *Compute Network*. Protokol z výpočtu sítě viz **příloha B**.

Zeměpisná délka a zeměpisná šířka bodů profilu v ETRF2000 pro jednotlivá určení a jejich průměrná hodnota jsou uvedeny v **příloze C** v tabulkách (tab. C.1, tab. C.2). Pro diplomovou práci jsou významné elipsoidické výšky nad elipsoidem GRS80, v tabulce (tab. 6.1) jsou uvedeny hodnoty dvojitěho určení a výsledná hodnota, která byla vytvořena jako prostý průměr. Vzhledem k tomu, že při výpočtu vektorů byly programem Leica Geo Office ze souborů RINEX automaticky načteny platné souřadnice referenční stanice CPRA, nedošlo při vyrovnání již ke změně souřadnic určovaných bodů profilu.

Největší rozdíl dvojitěho určení výšky bodu je na bodě profilu č. 9 a nabývá hodnoty 11 milimetrů. Směrodatná odchylka průměrné elipsoidické výšky (σ_{\varnothing_h}) je podle protokolů z programu Leica Geo Office maximálně 4 milimetry, viz tabulka (tab. 6.1). Přesnost určené elipsoidické výšky je možné vyjádřit pomocí výběrové

směrodatné odchyly elipsoidické výšky. Výběrová směrodatná odchylnka výšky je určena pomocí oprav od průměru ($v_i = \varnothing h_i - h_i$) dle rovnice

$$s_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k \cdot n} v_i^2}{(k-1)n}}, \quad (6.1)$$

kde ve jmenovateli zlomku je počet nadbytečných měření, $k = 2$ značí počet opakování určení výšky téhož bodu a $n = 9$ je počet bodů profilu, k nimž byla určována výška. Dále byla určena výběrová směrodatná odchylnka průměrné hodnoty elipsoidické výšky podle rovnice

$$s_{\varnothing h} = \frac{s_h}{\sqrt{k}}. \quad (6.2)$$

Velikost výběrové směrodatné odchylnky výšky určené dle výše uvedených vztahů je 5 milimetrů a výběrová směrodatná odchylnka průměrné elipsoidické výšky jsou 4 milimetry. Vzhledem k výsledné přesnosti elipsoidických výšek bodů profilu a hodnotám GDOP z GNSS observace je možné se domnívat, že elipsoidická výška byla určena s dostatečnou přesností pro její užití při výpočtu výškové anomálie kvazi-geoidu.

Tab. 6.1: Elipsoidické výšky nad elipsoidem GRS80 bodů testovacího profilu

č. b. profilu	h - elipsoidická výška [m]		rozdíl [mm]	průměr [m]	$\sigma_{\varnothing h}$ [mm]
	1. určení	2. určení			
1	532,560	532,555	5	532,558	3
2	521,345	521,336	9	521,341	3
3	599,172	599,177	-5	599,175	3
4	620,425	620,433	-8	620,429	2
5	636,721	636,722	-1	636,722	2
6	897,436	897,440	-4	897,438	3
7	842,872	842,863	9	842,868	3
8	822,912	822,909	3	822,911	3
9	869,294	869,283	11	869,289	4

6.2 Výpočet technické nivelace, normálních výšek

Z nivelovaného převýšení mezi bodem profilu a blízkým bodem ČSNS byly vypočítány nadmořské výšky bodů testovacího profilu ve výškovém systému Bpv, viz tabulka (tab. 6.2).

Tab. 6.2: Normální (Moloděnského) výšky v Bpv bodů testovacího profilu

č. b. ČSNS	výška bodu ČSNS [m]	nivelované převýšení [m]	$ \rho $ [mm]	č. b. profilu	výška bodu profilu [m]
Mef-6.1	486,558	-0,696	1	1	485,862
Mef-0.1	474,443	0,257	0	2	474,700
Mfh-4	552,557	-0,227	1	3	552,330
Mfh-9	575,498	-1,859	1	4	573,639
Mhi-35.1	589,252	0,608	1	5	589,860
Mhi-24	853,249	-2,804	1	6	850,445
Mhi-17	796,943	-1,129	1	7	795,814
Mhi-12.1	775,681	0,113	0	8	775,794
Mhi-9.1	823,449	-1,320	1	9	822,129

Pro převýšení byla určena směrodatná kilometrová odchylka nivelovaného převýšení dle vztahu (6.3) a poté směrodatná odchylka nivelovaného převýšení dle (6.4).

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i^2}{R_i}}, \quad (6.3)$$

kde n je počet nivelačních oddílů (v rámci této práce je $n = 1$), ρ_i je rozdíl převýšení měřeného tam a zpět, R_i je délka nivelačního oddílu v kilometrech. Směrodatná odchylka nivelovaného převýšení je poté

$$\sigma_{h_{NIV}} = \sigma_0 \sqrt{L}, \quad (6.4)$$

kde L je délka nivelačního úseku či pořadu, opět v kilometrech. Pro případ, kdy je měřen jen jeden oddíl v rámci nivelačního pořadu, platí $R = L$ a je provedeno

zjednodušení výpočtu směrodatné odchylky nivelovaného převýšení na vztah

$$\sigma_{h_{NIV}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho^2}{R}} \sqrt{R} = \frac{1}{2} \sqrt{\rho^2} = \frac{1}{2} |\rho| . \quad (6.5)$$

Maximální rozdíl převýšení při nivelaci provedené tam a zpět je 1 milimetr, viz **příloha A**. Poté je maximální směrodatná odchylka měřeného převýšení přibližně 1 milimetr. Jsou-li výšky bodů ČSNS považovány za bezchybné, je možné považovat směrodatnou odchylku měřeného převýšení za směrodatnou odchylku výšky bodu profilu. Výsledné normální výšky bodů testovacího profilu jsou uvedeny v tabulce (tab. 6.2). Vzhledem k výsledné přesnosti normálních výšek bodů profilu je možné se domnívat, že normální výška bodů profilu byla určena s dostatečnou přesností pro její užití při výpočtu výškové anomálie kvazigeoidu.

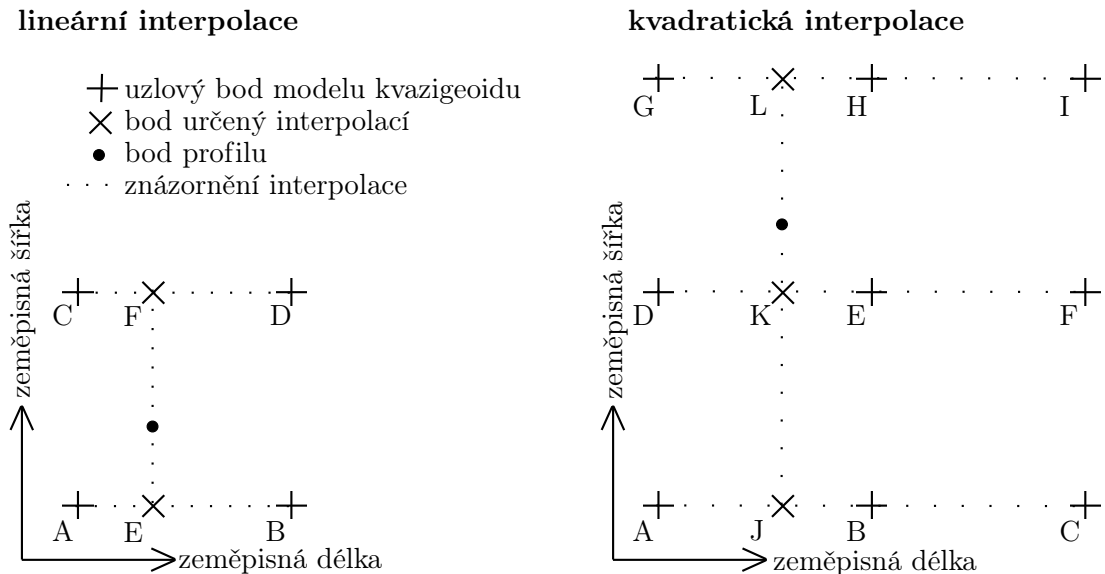
6.3 Výšková anomálie bodů testovacího profilu

Výšková anomálie v bodech profilu byla určena z měřených dat a z modelů kvazigeoidu.

Výšková anomálie z modelu kvazigeoidu

Data modelů kvazigeoidu jsou v textovém formátu, kde v řádku je umístěna informace pro jeden uzlový bod modelu, v pořadí zeměpisná šířka (B), zeměpisná délka (L) bodu v ETRS89 uvedená ve stupních a výšková anomálie (ζ) nad elipsoidem GRS80 uvedená v metrech. Pro model kvazigeoidu CR-2000 byl soubor poskytnut vedoucím diplomové práce. V tomto modelu kvazigeoidu jsou uzlové body v ETRF89, avšak body profilu jsou v ETRF2000. Rozdíl mezi souřadnicemi bodů v ETRF89 a ETRF2000 je možné při interpolaci zanedbat vzhledem k jeho velikosti a vzhledem k velikosti oka sítě modelu kvazigeoidu CR-2000. Souřadnice pro model kvazigeoidu CR-2005 a QGZÚ-2013 jsou již v ETRF2000. Model kvazigeoidu CR-2005 byl získán z webu ČÚZK v sekci zeměměřictví, viz [22]. Nejnovější model kvazigeoidu QGZÚ-2013 byl objednan a poté získán pro zájmovou oblast celkem ve čtyřech výdejních jednotkách po zřízení účtu na Geoportálu ČÚZK, viz [8].

Z modelů kvazigeoidu CR-2000 a CR-2005 byla hodnota výškové anomálie pro bod profilu určena interpolací lineární a kvadratickou. Pro model QGZÚ-2013 je vzhledem k hustotě dat používána pouze lineární interpolace. Zeměpisná šířka a délka pro body profilu v ETRF2000 byla převzata z určení polohy metodou GNSS, průměrná hodnota souřadnic z dvojího měření je uvedena v **příloze C** v tabulce (tab. C.2).



Obr. 6.1: Lineární a kvadratická interpolace

Lineární interpolace byla provedena v programu Matlab [21]. Nejdříve byla vytvořena funkce pro vyhledání čtyř okolních uzlových bodů modelu kvazigeoidu k bodu profilu o souřadnicích (B, L) , dále byla provedena lineární interpolace. Nákres pro lineární i kvadratickou interpolaci je uveden na obrázku (obr. 6.1). Pro interpolaci ze čtyř okolních bodů byly vybrány dva okolní body ležící na stejné rovnoběžce, kterými byla proložena přímka. Funkční hodnota přímky byla výšková anomálie a argumentem funkce byla zeměpisná délka. Podle nákresu (obr. 6.1) se jedná o body A a B, C a D. Dále byly vyinterpolovány hodnoty výškové anomálie pro bod E (z bodů A a B) a pro bod F (z bodů C a D), které mají shodnou hodnotu zeměpisné délky jako bod profilu. Poté byla body E a F proložena přímka, kde argumentem funkce byla tentokrát zeměpisná šířka a závěrem byla určena výšková anomálie v bodě profilu. Zdrojový kód viz **příloha D**. Zdrojový kód je uveden pro lineární a kvadratickou interpolaci v modelu kvazigeoidu CR-2000, pro další modely je kód obdobný.

Pro modely kvazigeoidu CR-2000 a CR-2005 bylo ještě provedeno určení výškové anomálie v bodě profilu o souřadnicích (B, L) kvadratickou interpolací, opět v programu Matlab [21]. Nejprve bylo vyhledáno devět okolních uzlových bodů modelu k bodu profilu. Následně byla provedena kvadratická interpolace obdobným způsobem jako lineární. Třemi okolními body ležícími na stejné rovnoběžce byla proložena interpolační křivka (vyjádřená polynomem druhého stupně). Dle nákresu (obr. 6.1) byly proloženy body A - B - C, D - E - F a dále G - H - I. Dále byla vyinterpolována hodnota výškové anomálie pro body J, K a L. Těmito body byla proložena interpolační křivka, ze které byla následně určena výšková anomálie pro bod profilu o souřadnicích (B, L) .

Závěrem bylo provedeno srovnání výškových anomálií získaných lineární a kvadratickou interpolací. Jak bylo uvedeno, dvojí druh interpolace byl použit jen pro modely CR-2000 a CR-2005. Z výsledků v tabulce (tab. 6.3) je možné vidět, že se hodnoty liší v řádu milimetrů, a je tedy možné konstatovat, že v řešené přesnosti bude postačovat pouze lineární interpolace při určování výškových anomálií z modelu kvazigeoidu CR-2000 a CR-2005.

Tab. 6.3: Porovnání výškových anomálií určených lineární a kvadratickou interpolací

číslo bodu	CR-2000			CR-2005		
	ζ_{lin} [m]	ζ_{kvad} [m]	Δ [mm]	ζ_{lin} [m]	ζ_{kvad} [m]	Δ [mm]
1	46,571	46,570	-1	46,588	46,587	-1
2	46,639	46,639	0	46,654	46,653	-1
3	46,713	46,713	0	46,727	46,726	-1
4	46,784	46,782	-2	46,797	46,796	-1
5	46,845	46,845	0	46,860	46,860	0
6	46,964	46,966	2	46,976	46,978	2
7	47,050	47,051	1	47,062	47,062	0
8	47,097	47,097	0	47,105	47,105	0
9	47,130	47,133	3	47,136	47,136	0

V tabulce (tab. 6.3) je ζ_{lin} označena výšková anomálie získaná lineární interpolací, ζ_{kvad} označena hodnota získaná kvadratickou interpolací, Δ označuje rozdíl mezi výškovou anomálií určenou kvadratickou interpolací a výškovou anomálií určenou lineární interpolací. Výsledné hodnoty výškových anomálií získaných lineární interpolací z jednotlivých modelů pro body testovacího profilu jsou uvedeny v souhrnné tabulce (tab. 6.4).

Výšková anomálie určená měřením

Výšková anomálie v bodech profilu byla určena jako rozdíl měřených elipsoidických výšek (h) a normálních výšek (H_Q) dle rovnice (1.16)

$$\zeta = h - H_Q .$$

Výsledné hodnoty výškových anomálií určených měření jsou uvedeny v souhrnné tabulce (tab. 6.4).

Tab. 6.4: Výsledné výškové anomálie bodů profilu z měření a modelů kvazigeoidu

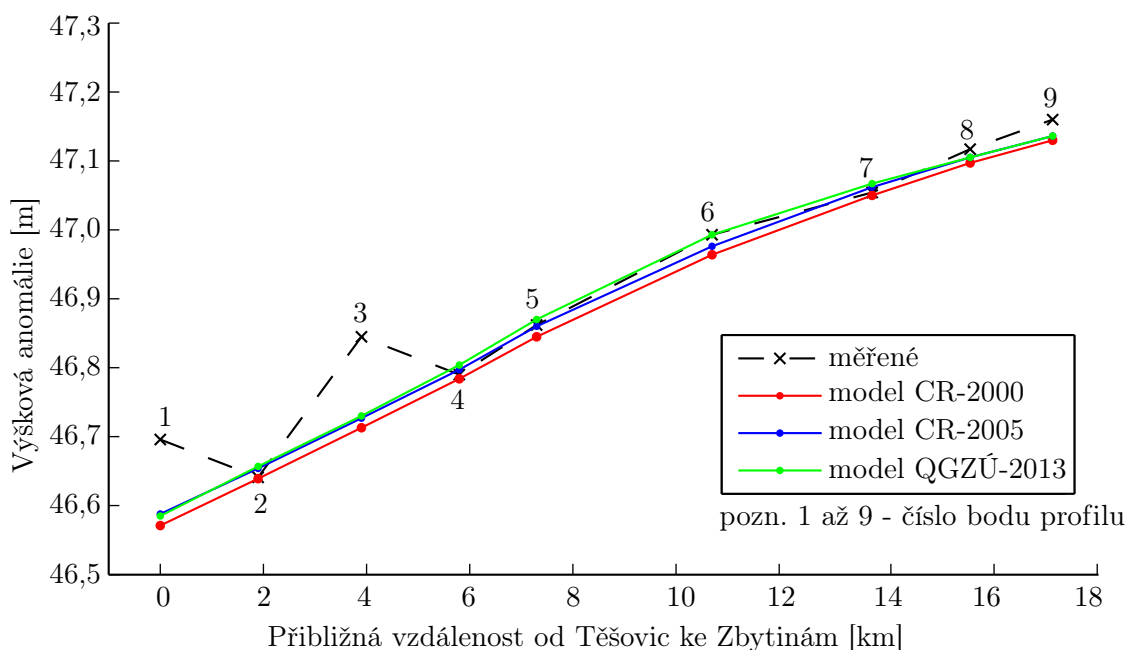
číslo bodu profilu	ζ - výšková anomálie [m]			
	měřená	CR-2000	CR-2005	QGZÚ-2013
1	46,696	46,571	46,588	46,585
2	46,641	46,639	46,654	46,657
3	46,845	46,713	46,727	46,730
4	46,790	46,784	46,797	46,804
5	46,862	46,845	46,860	46,870
6	46,993	46,964	46,976	46,993
7	47,054	47,050	47,062	47,067
8	47,117	47,097	47,105	47,105
9	47,160	47,130	47,136	47,136

Výsledná přesnost výškové anomálie určené měření vychází z přesnosti určení normální a elipsoidické výšky bodu profilu. Vzhledem k výše uvedenému bylo určeno, že směrodatná odchylka normální výšky bodu je v porovnání se směrodatnou

odchylkou průměrné elipsoidické výšky zanedbatelná. Pokud budou do přesnosti výškové anomálie zapracovány všechny vlivy (určení nadmořské výšky v Bpv, určení elipsoidické výšky včetně určení výšky GNSS přijímače), může být uvážena přesnost měření určené výškové anomálie hodnotou do jednoho centimetru. Při dosažení této přesnosti u výškové anomálie určené měřením má smysl testování modelů kvazigeoidu za pomoci měření získaných hodnot výškových anomálií, jelikož přesnost pro model kvazigeoidu CR-2000 je uváděna přibližně 3 centimetry, pro model kvazigeoidu CR-2005 je uváděna přesnost přibližně poloviční k předešlému a pro nejnovější model kvazigeoidu QGZÚ-2013 je směrodatná odchylka výškové anomálie uváděna 1 až 3 centimetry.

6.4 Testování modelů kvazigeoidu

V předchozích kapitolách bylo popsáno, jak byly získány výškové anomálie z měření a z modelů. V této části diplomové práce bude provedeno otestování modelů kvazigeoidu na zvoleném profilu Těšovice - Zbytiny porovnáním výškových anomálií kvazigeoidu získaných měření s příslušnými anomáliemi, které byly interpolovány z modelů kvazigeoidu.



Obr. 6.2: Výškové anomálie bodů profilu

Dle grafického znázornění průběhu výškových anomálií určených z modelů kvazigeoidu v bodech profilu (obr. 6.2) je vidět, že hodnoty jsou vyhlazené, nedochází ke skokovitým změnám hodnot anomálií, což je v modelech očekáváno.

Při srovnání průběhu výškových anomálií z modelu CR-2000 a modelu CR-2005 je vidět posun všech výškových anomálií o přibližně stejnou hodnotu. Tato změna může být způsobena přimknutím gravimetrického řešení na 1024 bodů výběrové údržby při vzniku modelu CR-2005. Pro nejnovější model QGZÚ-2013 toto neplatí, hodnoty nejsou oproti modelu CR-2005 posunuty o přibližně shodnou hodnotu. V tabulce (tab. 6.5) jsou uvedeny rozdíly, mezi modely CR-2005 a CR-2000 se hodnoty výškových anomálií liší na bodech profilu průměrně o 1,2 centimetru, mezi modelem CR-2005 a QGZÚ-2013 jsou rozdíly v řádu milimetrů.

Tab. 6.5: Srovnání výškových anomálií bodů profilu

číslo bodu profilu	$\Delta\zeta$ - rozdíl výškových anomálií [cm]				
	mezi modely		mezi modelem a měřením		
	CR-2005 CR-2000	CR-2005 QGZÚ-2013	měřená CR-2000	měřená CR-2005	měřená QGZÚ-2013
1	1,7	0,3	12,5	10,8	11,1
2	1,5	-0,3	0,2	-1,3	-1,6
3	1,4	-0,3	13,2	11,8	11,5
4	1,3	-0,7	0,6	-0,7	-1,4
5	1,5	-1,0	1,7	0,2	-0,8
6	1,2	-1,7	2,9	1,7	0,0
7	1,2	-0,5	0,4	-0,8	-1,3
8	0,8	0,0	2,0	1,2	1,2
9	0,6	0,0	3,0	2,4	2,4

Pravá část tabulky (tab. 6.5) je věnovaná rozdílům výškových anomálií získaných měřením (výškové anomálie kvazigeoidu) a interpolovaných z modelů (výškové anomálie modelu kvazigeoidu). Jedná se o stěžejní část diplomové práce. Z výsledných

rozdílů je možné usoudit, že nejvíce se v průměru odlišuje od měření získaných hodnot výškových anomálií anomálie modelu kvazigeoidu CR-2000, což bylo očekáváno vzhledem ke stáří modelu. Průměrná hodnota rozdílů mezi měřenými výškovými anomáliemi a anomáliemi získanými z modelu CR-2000 jsou přibližně 4 centimetry. Největšího rozdílu je dosaženo v prvním a třetím bodě profilu. Protože již není tento model využíván, nebude dále provedeno jeho hodnocení. Byl zde uveden především pro srovnání s modelem CR-2005.

Výškové anomálie modelu kvazigeoidu CR-2005 se od výškových anomálií kvazigeoidu pro body profilu č. 4 až č. 9 odlišují maximálně o hodnotu 2,4 centimetrů, což je v souladu s přesností, která se uvádí u modelu CR-2005. Avšak pro bod č. 1 nabývá rozdíl hodnoty 10,8 centimetrů a pro bod č. 3 rozdíl hodnoty dokonce 11,8 centimetrů. Výšková anomálie kvazigeoidu na bodě č. 3 by mohla být ovlivněna GNSS observací (20151907_00040), která má vyšší hodnotu GDOP ($GDOP = 6,5$), viz protokoly z výpočtu **příloha B** tabulka (tab. B.1). Nicméně při porovnání elipsoidických výšek z dvojího určení na tomto bodě byl dosažen rozdíl pouze 5 milimetrů, viz tabulka (tab. 6.1), což nepotvrzuje hypotézu o možné nepřesnosti výsledku GNSS observace. Je překvapivé, že tyto body leží dále od státních hranic. Bylo očekáváno, že pro body na konci profilu, které jsou umístěny velmi blízko k hranicím České republiky s Německem, budou rozdíly mezi modelem kvazigeoidu a kvazigeoidem určeným měřením větší. Očekávání nebylo naplněno, testováním bylo zjištěno, že model kvazigeoidu CR-2005 v části, kde je umístěna druhá a třetí třetina profilu Těšovice - Zbytiny, je vytvořen vhodně a v souladu s uváděnou přesností. U bodů č. 1 a č. 3 profilu byla určena větší výšková anomálie, než udává model kvazigeoidu CR-2005. Proto nebyla udávaná přesnost u modelu CR-2005 v oblasti první třetiny profilu potvrzena. Na základě zkoumání dosažených výsledků se domnívám, že větší rozdíly mohou být způsobeny vlivy působícími na měření určované výškové anomálie (určení nadmořské výšky v Bpv, vlivy působící při GNSS/nivelaci, určení výšky přijímače). Existuje možnost, že vzhledem k tomu, že modely vznikají určitým zjednodušením, nebyla tato malá lokální změna kvazigeoidu v modelu zaznamenána.

Výsledky testování modelu kvazigeoidu QGZÚ-2013 jsou obdobné jako pro model kvazigeoidu CR-2005. V modelu QGZÚ-2013 je udávaná přesnost výškové anomálie

1 centimetr a v příhraničních oblastech je přesnost menší, nejvýše však 3 centimetry. Dosažené výsledky jsou opět v souladu s udávanou přesností pro všechny body profilu s výjimkou prvního a třetího bodu, kde rozdíl výškové anomálie kvazigeoidu a modelu kvazigeoidu QGZÚ-2013 dosahuje hodnoty přes 11 centimetrů. Za značnou výhodu tohoto modelu bych hodnotila jeho rozlišení, tedy podrobnost dat modelu.

Zdroje pro tuto kapitolu jsou [8], [11], [12], [17], [19], [20], [21] a [22].

Závěr

V rámci diplomové práce byl nejdříve vybrán testovací profil. Na základě uvedených požadavků a se souhlasem vedoucího práce byl určen necelých 18 kilometrů dlouhý testovací profil Těšovice - Zbytiny, nacházející se v okolí Prachatic v jihozápadní části České republiky a obsahující celkem devět bodů. Rekognoskace terénu v okolí profilu byla provedena dne 28. 6. 2015. Měřické práce zahrnující GNSS/nivelaci a technickou nivelaci byly na bodech profilu č. 1 až č. 9 provedeny v termínu od 17. do 19. 7. 2015. Pro GNSS/nivelaci byla užitá statická metoda. Na každém bodě profilu byla provedena dvojí GNSS observace trvající jednu hodinu s rozestupy v průměru 3,5 hodiny. K výpočtu prostorové polohy bodů profilu bylo užitó také observačních dat stanice CPRA sítě permanentních stanic CZEPOS. Vzdálenost jednotlivých bodů od vyúžité referenční stanice CPRA byla do 10 kilometrů. Po měření byla vypočtena normální (Moloděnského) výška ve výškovém systému Bpv a elipsoidická výška nad elipsoidem GRS80 bodů profilu.

Hodnota výškové anomálie kvazigeoidu byla určena jako rozdíl elipsoidické výšky a normální výšky bodů profilu. Při uvážení vlivů, které působí na určení výškových anomálií měřením (tj. určení nadmořské výšky v Bpv, určení elipsoidické výšky nad elipsoidem GRS80), může být uvážena přesnost měřením určené výškové anomálie hodnotou do jednoho centimetru.

Z modelů kvazigeoidu byla výšková anomálie získána interpolací. Pro model kvazigeoidu CR-2000 a CR-2005 byla provedena lineární i kvadratická interpolace s výsledkem, že bude postačovat lineární typ interpolace. Pro model QGZÚ-2013 byla užitá pouze lineární interpolace vzhledem k většímu prostorovému rozlišení. Poté následovalo testování modelů kvazigeoidu CR-2000, CR-2005 a QGZÚ-2013 na profilu Těšovice - Zbytiny pomocí rozdílů hodnot výškových anomálií modelu kvazigeoidu a výškových anomálií kvazigeoidu určených z měření.

Při srovnání průběhu výškových anomálií získaných z modelu CR-2000 a modelu CR-2005 je vidět vzájemný posun o přibližně stejnou hodnotu. Tento posun bych přisoudila přimknutí gravimetrického řešení kvazigeoidu na body výběrové údržby při tvorbě modelu CR-2005. Vzájemným srovnáním výškových anomálií modelu

kvazigeoidu CR-2005 a QGZÚ-2013 byl zjištěn jejich rozdíl v řádu milimetrů na bodech profilu.

Největší rozdíly na profilu mezi výškovými anomáliemi kvazigeoidu a modelu kvazigeoidu jsou u modelu CR-2000, což bylo očekáváno vzhledem k tomu, že se jedná o nejstarší model ze tří testovaných.

Z rozdílů výškových anomálií modelu CR-2005 a výškových anomálií kvazigeoidu určených měření bylo zjištěno, že pro druhou a třetí třetinu profilu bylo testování provedeno s kladným výsledkem, tedy model CR-2005 je v souladu s pro něj uváděnou přesností. Pro první a třetí bod profilu byly určeny z modelu kvazigeoidu CR-2005 výškové anomálie o necelých 11 centimetrů a necelých 12 centimetrů menší než jsou hodnoty výškových anomálií kvazigeoidu určených měření. Domnívám se, že v první třetině profilu nemusí model vystihnout případnou lokální změnu kvazigeoidu vzhledem k tomu, že modely jsou určitým zjednodušením skutečnosti. Také je nutné brát v úvahu možné nepřesnosti při měření, které mohou působit rozdíl výškových anomálií modelu kvazigeoidu od výškových anomálií kvazigeoidu. Vzhledem k tomu, že na těchto bodech profil začíná, navrhl bych v dalších pracích obdobné testování, kde bude profil protažen před první bod profilu. Opětovným testováním by mohlo být potvrzeno či vyvráceno, zda v této oblasti není u modelu kvazigeoidu splněna uváděná přesnost.

Model QGZÚ-2013 je ve výsledcích obdobný modelu CR-2005. Velmi překvapivé je zjištění rozdílů výškových anomálií kvazigeoidu a modelu kvazigeoidu QGZÚ-2013 v prvním a třetím bodě profilu, který dosahuje hodnoty přes jedenáct centimetrů.

Vyšší prostorové rozlišení dat modelu kvazigeoidu QGZÚ-2013 hodnotím jako velký pokrok v modelování plochy kvazigeoidu. Tento model a jeho použití se v České republice teprve zavádí, proto zatím nejsou publikovány téměř žádné reference k modelu QGZÚ-2013.

Použité zdroje

- [1] ZEMAN, Antonín. *Fyzikální geodézie 10: teorie výšek a výškové systémy: doplňkové skriptum*. Praha: ČVUT, 2003, 83 s. ISBN 80-01-02733-3.
- [2] ZEMAN, Antonín. *Fyzikální geodézie 10*. Praha: ČVUT, 1998, 188 s. ISBN 80-01-01849-0.
- [3] TERMINOLOGICKÁ KOMISE ČÚZK. *Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí* [online]. ©2005-2016 VÚGTK [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/obor_L.php?jazykova_verze=cz&obor=G&jazyk=termin&kategorie=geodezie>.
- [4] KOSTELECKÝ, J., J. KOSTELECKÝ JR., I. PEŠEK, J. ŠIMEK, O. ŠVÁBENSKÝ, J. WEIGEL a A. ZEMAN. Quasigeoid for the Territory of the Czech Republic. *Studia Geophysica et Geodaetica* [online]. 2004, 48(3), s. 503-518 [cit. 2016-02-09]. DOI 10.1023/B:SGEG.0000037469.70838.39. Dostupné z: <<http://dx.doi.org/10.1023/B:SGEG.0000037469.70838.39>>.
- [5] KOSTELECKÝ, Jan. Souřadnicové systémy - jak je to s nimi v současnosti? *Zákrytový zpravodaj* [online]. Rokycany: 2011 (3), 8 s. [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <<http://hvr.cz/zakryty/zpravodaj/2011/>>.
- [6] KOSTELECKÝ, Jan a kol., *Realizace S-JTSK/05*. Praha: 2009. Technická zpráva č. 1147/2009 (verze z 12. 1. 2010) VÚGTK, ČVUT v Praze a GO Pecný.
- [7] KOSTELECKÝ, J., M. CIMBÁLNÍK, A. ČEPEK, J. DOUŠA, V. FILLER, J. KOSTELECKÝ JR., J. NÁGL, I. PEŠEK, J. ŠIMEK. Realizace S-JTSK/05. *Geodetický a kartografický obzor: Český úřad zeměměřický a katastrální, Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky* [online]. Praha: 2012, 58(7), s. 145-154 [cit. 2016-02-11]. ISSN 0016-7096. Dostupné z: <<http://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/cisla/Rok201207.pdf>>.
- [8] *Geoportál ČÚZK: Podrobný kvazigeoid QGZÚ-2013* [online]. ©2010 ČÚZK [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <<http://geoportal.cuzk.cz/>>

- (S(usrvbmyekzd231hrsozrnkqy))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=bodpole&metadataID=CZ-CUZK-QGZU&head_tab=sekce-02-gp&menu=275>.
- [9] LEDERER, M., O. NESVADBA, J. ŘEZNÍČEK a P. SOUČEK. *Rozvoj Databáze bodových polí a poskytovaných dat* [online]. Brno: 2015 [cit. 2016-02-15]. Seminář Družicové metody v geodézii a katastru, FAST VUT Brno. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/ged/GEDASP/GNSS/Prezentace2015/01_Lederer_Nesvadba_Reznicek_Soucek-Rozvoj%20Databaze%20bodovych%20poli%20a%20poskytovanych%20dat.pdf>.
- [10] MERVART, Leoš. *Globální polohový systém*. Praha: ČVUT, 1994, 110 s. ISBN 80-01-01221-2.
- [11] TESAŘ, Pavel. *Úvod do GNSS* [online]. Praha: ČVUT, 2007, 19 s. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <<ftp://athena.fsv.cvut.cz/EMEG/uvodGNSS.pdf>>.
- [12] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. *CZEPOS: Síť permanentních stanic GNSS České republiky* [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <<http://czeapos.cuzk.cz/>>.
- [13] *Mapy.cz* [online]. ©Přispěvatelé OpenStreetMap [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <<http://mapy.cz>>.
- [14] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. *Databáze bodových polí* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <<http://dataz.cuzk.cz>>.
- [15] ŠVÁBENSKÝ, Otakar a Josef WEIGEL. *Optimized Technology for GPS Height Determination* [online]. Greece: 2004, 8 s. [cit. 2016-03-10]. FIG Working Week 2004, Athens, Greece. Dostupné z: <https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/athens/papers/ts07/ts07_6_svabensky_weigel.pdf>.
- [16] GEODIS BRNO, spol. s.r.o. *HiPer: Uživatelský manuál*. ©1998 Topcon Positioning System. Brno: 2002, 34 s.
- [17] BLAŽEK, Jan a Zdeněk Skořepa. *GEODÉZIE 3: výškopis*. Vyd. 3. Praha: ČVUT, 2009. 162 s. ISBN 978-80-01-04358-5.

- [18] *TPS2RIN*, v. 7.12.0.0 [software]. TPS to RINEX translator. ©Topcon Positioning System. Dostupné z: <<http://topconcare.com/en/software/updaters-and-utilities/older-utilities/>>.
- [19] *Leica Geo Office*, v. 7.0.0.0 [software]. ©2008 Leica Geosystems AG.
- [20] IGS. *International GNSS Service: Products* [online]. ©2016 IGS [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <<https://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/>>.
- [21] *MATLAB R2010a* [software]. ©1994-2016 The MathWorks, Inc.
- [22] *Model kvazigeoidu CR-2005 (soubor CR-2005_v1005.dat)* [online]. ©2016 ČÚZK [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <<http://www.cuzk.cz/Zememericctvi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR.aspx>>.

Seznam zkratek

ARP	Antenna Reference Point
Bpv	Výškový systém baltský - po vyrovnání
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
ČSJNS/J	Československá jednotná nivelační síť
ČSNS	Česká státní nivelační síť
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
ETRF	European Terrestrial Reference Frame
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
GALILEO	Globální systém navigačních družic budovaný Evropskou unií
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GEODYN	Geodynamická síť (České republiky)
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
IGS	International GNSS Service
MINTER	Minimal interface
NAVSTAR GPS	Navigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System
PRN	Pseudorandom Noise
RINEX	Receiver Independent Exchange Format

RTK	Real Time Kinematic
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WGS84	World Geodetic System 1984

Seznam příloh

A	Zápisník technické nivelace	60
B	Leica Geo Office - protokoly	61
C	Body profilu v rámci ETRF2000	81
D	Matlab - zdrojový kód funkcí	83
E	Elektronické přílohy	88

A Zápisník technické nivelace

Tab. A.1: Technická nivelace - zápisník

číslo bodu	vzad [m]	vpřed [m]	h_{NIV_i} [m]	R [m]	h_{NIV} [m]	$ \rho $ [mm]	Δ_M [mm]
Mhi-9.1 9 Mhi-9.1	2,085 3,436	3,405 2,115	-1,320 1,321	86	-1,320	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	8
Mhi-12.1 8 Mhi-12.1	1,443 1,345	1,330 1,458	0,113 -0,113	65	0,113	0 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	7
Mhi-17 7 Mhi-17	0,639 1,769	1,768 0,639	-1,129 1,130	24	-1,129	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	4
Mhi-24 6 Mhi-24	0,120 2,904	2,924 0,101	-2,804 2,803	51	-2,804	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	6
Mhi-35.1 5 Mhi-35.1	1,872 1,247	1,264 1,854	0,608 -0,607	37	0,608	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	5
Mfh-9 4 Mfh-9	0,309 2,270	2,168 0,412	-1,859 1,858	41	-1,859	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	5
Mfh-4 3 Mfh-4	0,827 1,092	1,054 0,864	-0,227 0,228	22	-0,227	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	4
Mef-0.1 2 Mef-0.1	1,482 1,304	1,225 1,561	0,257 -0,257	19	0,257	0 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	4
Mef-6.1 1 Mef-6.1	1,350 2,047	2,046 1,350	-0,696 0,697	57	-0,696	1 $ \rho < \Delta_M$ vyhovuje	6

V tabulce (tab. A.1):

vzad, vpřed - čtení na lati,

h_{NIV_i} - převýšení měřené tam či zpět,

h_{NIV} - výsledné převýšení,

R - délka nivelačního oddílu,

ρ - rozdíl převýšení tam a zpět,

Δ_M - mezní rozdíl, určený dle vzorce (5.1).

B Leica Geo Office - protokoly

VÝPOČET VEKTORŮ (ZÁKLADEN) A BODŮ PROFILU



Results - Baseline

Project Information

Project name:	Diplomova_prace
Date created:	02/05/2016 13:55:43
Time zone:	2h 00'
Coordinate system name:	WGS 1984
Application software:	LEICA Geo Office 7.0
Processing kernel:	PSI-Pro 2.0
Processed:	02/05/2016 14:08:09

Processing Parameters

Parameters	Selected	Used
Cut-off angle:	15°	15°
Ephemeris type (GPS):	Precise	Precise
Ephemeris type (GLONASS):	Precise	Precise
Solution type:	Phase: all fix	Phase: all fix
GNSS type:	GPS	GPS
Frequency:	Automatic	Automatic
Fix ambiguities up to:	80 km	80 km
Min. duration for float solution (static):	5' 00"	5' 00"
Sampling rate:	Use all	5
Tropospheric model:	Hopfield	Hopfield
Ionospheric model:	Automatic	Computed
Use stochastic modelling:	Yes	Yes
Min. distance:	8 km	8 km
Ionospheric activity:	Automatic	Automatic

Antenna Information

	Reference: CPRA	Rover:
Antenna type:	LEIAR25.R4 LEIT	TPSHIPER_PLUS NONE
Serial number:	10401024	-
Horizontal offset:	0.0000 m	0.0000 m
Vertical offset:	0.0000 m	0.0000 m
Additional corrections:	Elevation and azimuth	Elevation and azimuth

Phase center offsets	L1 (Reference)	L2 (Reference)	L1 (Rover)	L2 (Rover)
Vertical:	0.1585 m	0.1542 m	0.0878 m	0.0895 m
East:	0.0000 m	-0.0003 m	0.0012 m	0.0001 m
North:	0.0015 m	0.0007 m	-0.0002 m	-0.0008 m

CPRA - 20151907_D0061 (bod profilu č. 1)

Point Information

Receiver type / S/N:	Reference: CPRA GRX1200 / 453657	Rover: 20151907_D0061 TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.0980 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 56.77342" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 02' 15.15648" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	536.2567 m
Time span:	07/19/2015 07:46:00 - 07/19/2015 08:46:05	
Duration:	1h 00' 05"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference:CPRA	Rover:20151907_D0061	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 56.76772" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 02' 15.15559" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	532.5596 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
Baseline vector:	Posn. Qty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
	dLat: 0° 03' 05.28605"	dLon: 0° 02' 29.77838"	dHgt: -112.8304 m
	Slope: 6483.4905 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.1 - 4.3		
	PDOP: 1.9 - 3.7	HDOP: 1.1 - 1.7	VDOP: 1.5 - 3.3
Number of used satellites:	GPS: 9		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151907_D0001 (bod profilu č. 2)

Point Information

Receiver type / S/N:	Reference: CPRA GRX1200 / 453657	Rover: 20151907_D0001 TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.4140 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 06.72040" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 01' 18.34547" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	523.1584 m
Time span:	07/19/2015 06:24:45 - 07/19/2015 07:24:55	
Duration:	1h 00' 10"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151907_D0001	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 06.67548" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 01' 18.37197" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	521.3454 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0003 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0003 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 02' 15.19382"	dLon: 0° 01' 32.99476"	dHgt: -124.0447 m
	Slope: 4585.7762 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.4 - 4.5		
	PDOP: 2.1 - 3.6	HDOP: 1.3 - 1.7	VDOP: 1.6 - 3.3
Number of used satellites:	GPS: 9		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151907_D0040 (bod profilu č. 3)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151907_D0040
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.1570 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 02' 05.42973" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 45.16042" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	601.3162 m
Time span:	07/19/2015 05:05:30 - 07/19/2015 06:05:35	
Duration:	1h 00' 05"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151907_D0040	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 02' 05.38642" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 45.17936" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	599.1719 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0001 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0003 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0001 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 01' 13.90476"	dLon: 0° 00' 59.80215"	dHgt: -46.2181 m
	Slope: 2586.8410 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 3.0 - 4.3		
	PDOP: 2.6 - 3.6	HDOP: 1.4 - 1.5	VDOP: 2.1 - 3.3
Number of used satellites:	GPS: 8		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151807_D0090 (bod profilu č. 4)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0090
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.1930 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 01' 06.31382" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 17.63141" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	620.8649 m
Time span:	07/18/2015 13:57:30 - 07/18/2015 14:57:55	
Duration:	1h 00' 25"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

	Reference:CPRA	Rover:20151807_D0090	
Coordinates:			
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 01' 06.25905" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 17.62768" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	620.4254 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0004 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 00' 14.77739"	dLon: 0° 00' 32.25046"	dHgt: -24.9646 m
	Slope: 799.0921 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.3 - 6.9		
	PDOP: 2.0 - 5.6	HDOP: 1.2 - 1.8	VDOP: 1.6 - 5.3
Number of used satellites:	GPS: 8		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151807_D0351 (bod profilu č. 5)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0351
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.3050 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 00' 25.35643" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 41.26543" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	638.6667 m
Time span:	07/18/2015 12:31:45 - 07/18/2015 13:31:50	
Duration:	1h 00' 05"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0351	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 00' 25.32604" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 41.24037" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	636.7214 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0003 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 00' 26.15562"	dLon: -0° 00' 04.13684"	dHgt: -8.6686 m
	Slope: 812.4797 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 1.9 - 5.8		
	PDOP: 1.7 - 4.7	HDOP: 0.9 - 2.6	VDOP: 1.4 - 4.0
Number of used satellites:	GPS: 8 GLONASS: -		

CPRA - 20151807_D0240 (bod profilu č. 6)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0240
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2870 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 58' 37.70169" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 18.75247" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	900.5042 m
Time span:	07/18/2015 11:01:15 - 07/18/2015 12:01:40	
Duration:	1h 00' 25"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	06
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0240	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 58' 37.68795" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 18.70896" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	897.4363 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0003 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0004 m	Sd. Slope: 0.0003 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 02' 13.79371"	dLon: -0° 00' 26.66825"	dHgt: 252.0463 m
	Slope: 4176.6131 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.5 - 5.2		
	PDOP: 2.2 - 4.3	HDOP: 1.3 - 3.2	VDOP: 1.8 - 3.9
Number of used satellites:	GPS: 7 GLONASS: -		

CPRA - 20151807_D0170 (bod profilu č. 7)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0170
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2090 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 57' 34.75693" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 57' 15.75791" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	846.1047 m
Time span:	07/18/2015 09:38:55 - 07/18/2015 10:39:05	
Duration:	1h 00' 10"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	13 14
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	

Final Coordinates

	Reference:CPRA	Rover:20151807_D0170	
Coordinates:			
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 57' 34.70002" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 57' 15.72754" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	842.8719 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0003 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0004 m
Baseline vector:	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
	dLat: -0° 03' 16.78164"	dLon: -0° 02' 29.64967"	
	Slope: 6801.4271 m	dHgt: 197.4819 m	
DOPs (min-max):	GDOP: 2.4 - 8.4		
	PDOP: 2.1 - 6.9	HDOP: 1.3 - 3.2	VDOP: 1.7 - 6.3
	Number of used satellites:		
	GPS: 6		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151807_D0121 (bod profilu č. 8)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0121
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2810 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 56' 44.69237" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 56' 27.35078" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	823.1998 m
Time span:	07/18/2015 05:22:10 - 07/18/2015 06:22:20	
Duration:	1h 00' 10"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0121	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 56' 44.67942" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 56' 27.34947" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	822.9116 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0004 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 04' 06.80224"	dLon: -0° 03' 18.02774"	dHgt: 177.5216 m
	Slope: 8624.9068 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.4 - 4.0	HDOP: 1.3 - 1.4	VDOP: 1.6 - 3.0
	PDOP: 2.1 - 3.3		
Number of used satellites:	GPS: 8	GLONASS: -	

CPRA - 20151807_D0091 (bod profilu č. 9)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0091
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2310 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 55' 58.87858" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 55' 47.74911" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	872.9099 m
Time span:	07/18/2015 06:45:05 - 07/18/2015 07:45:25	
Duration:	1h 00' 20"	

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151807_D0091	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 55' 58.83477" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 55' 47.75830" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	869.2944 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0004 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0004 m	Sd. Slope: 0.0003 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 04' 52.64689"	dLon: -0° 03' 57.61891"	dHgt: 223.9044 m
	Slope: 10254.3979 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.4 - 4.4	HDOP: 1.3 - 3.0	VDOP: 1.6 - 3.3
	PDOP: 2.1 - 3.6		
Number of used satellites:	GPS: 8	GLONASS: -	

CPRA - 20151907_O0061 (bod profilu č. 1)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0061
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.1900 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 56.80443" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 02' 15.18123" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	532.8776 m
Time span:	07/19/2015 11:44:30 - 07/19/2015 12:45:20	
Duration:	1h 00' 50"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0061
Coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 56.76765" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 02' 15.15588" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	532.5551 m
Solution type:	Phase: all fix	
GNSS type:	GPS	
Frequency:	L1 and L2	
Ambiguity:	Yes	
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m
Baseline vector:	dLat: 0° 03' 05.28599"	dLon: 0° 02' 29.77867" dHgt: -112.8349 m
	Slope: 6483.4917 m	
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 3.2	
	PDOP: 1.8 - 2.7	HDOP: 0.9 - 1.2 VDOP: 1.5 - 2.4
Number of used satellites:	GPS: 8	
	GLONASS: -	

CPRA - 20151907_O0001 (bod profilu č. 2)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0001
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2840 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 06.69759" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 01' 18.39538" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	523.5138 m
Time span:	07/19/2015 10:28:20 - 07/19/2015 11:28:50	
Duration:	1h 00' 30"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0001	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 03' 06.67566" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 01' 18.37288" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	521.3358 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0003 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 02' 15.19400"	dLon: 0° 01' 32.99567"	dHgt: -124.0542 m
	Slope: 4585.7894 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 3.5		
	PDOP: 1.8 - 3.0	HDOP: 1.0 - 1.8	VDOP: 1.5 - 2.5
Number of used satellites:	GPS: 8 GLONASS: -		

CPRA - 20151907_O0040 (bod profilu č. 3)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0040
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.0580 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 02' 05.42300" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 45.16396" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	600.4541 m
Time span:	07/19/2015 09:15:50 - 07/19/2015 10:16:15	
Duration:	1h 00' 25"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	14 25
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151907_O0040	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 02' 05.38644" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 45.17957" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	599.1772 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 01' 13.90478"	dLon: 0° 00' 59.80235"	dHgt: -46.2128 m
	Slope: 2586.8433 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.2 - 8.4		
	PDOP: 2.0 - 6.9	HDOP: 1.0 - 3.2	VDOP: 1.7 - 6.2
Number of used satellites:	GPS: 7 GLONASS: -		

CPRA - 20151807_O0090 (bod profilu č. 4)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0090
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.3070 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 01' 06.28434" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 17.62852" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	621.1145 m
Time span:	07/18/2015 19:22:10 - 07/18/2015 20:22:20	
Duration:	1h 00' 10"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0090	
Coordinates:			
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 01' 06.25868" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	14° 00' 17.62750" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	620.4331 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0001 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0003 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0001 m	
Baseline vector:	dLat: 0° 00' 14.77702"	dLon: 0° 00' 32.25029"	dHgt: -24.9570 m
	Slope: 799.0825 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.2 - 2.6		
	PDOP: 1.9 - 2.2	HDOP: 1.0 - 1.3	VDOP: 1.6 - 2.0
Number of used satellites:	GPS: 11		
	GLONASS: -		

CPRA - 20151807_O0351 (bod profilu č. 5)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0351
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.1340 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 00' 25.34783" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 41.26457" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	638.1487 m
Time span:	07/18/2015 18:03:25 - 07/18/2015 19:03:30	
Duration:	1h 00' 05"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference:CPRA	Rover:20151807_O0351	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	49° 00' 25.32596" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 41.24057" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	636.7217 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0001 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0003 m
	Posn. Qlty: 0.0001 m	Sd. Slope: 0.0001 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 00' 26.15570"	dLon: -0° 00' 04.13664"	dHgt: -8.6683 m
	Slope: 812.4817 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.2 - 3.6		
	PDOP: 1.9 - 3.0	HDOP: 1.1 - 1.3	VDOP: 1.5 - 2.7
Number of used satellites:	GPS: 8	GLONASS: -	

CPRA - 20151807_O0240(bod profilu č. 6)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0240
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2030 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 58' 37.72322" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 18.72321" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	899.5222 m
Time span:	07/18/2015 16:42:30 - 07/18/2015 17:42:40	
Duration:	1h 00' 10"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	19 22
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	

Final Coordinates

Coordinates:	Reference:CPRA	Rover:20151807_O0240	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 58' 37.68779" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 59' 18.70868" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	897.4402 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0002 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 02' 13.79387"	dLon: -0° 00' 26.66853"	dHgt: 252.0502 m
	Slope: 4176.6188 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.8 - 5.0		
	PDOP: 2.4 - 4.1	HDOP: 1.4 - 1.5	VDOP: 1.9 - 3.8
Number of used satellites:	GPS: 7	GLONASS: -	

CPRA - 20151807_O0170 (bod profilu č. 7)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0170
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.1440 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 57' 34.77170" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 57' 15.75817" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	845.0361 m
Time span:	07/18/2015 15:26:10 - 07/18/2015 16:26:15	
Duration:	1h 00' 05"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference:CPRA	Rover:20151807_O0170	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 57' 34.69951" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 57' 15.72799" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	842.8628 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0003 m	Sd. Lon: 0.0002 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0003 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 03' 16.78215"	dLon: -0° 02' 29.64922"	dHgt: 197.4727 m
	Slope: 6801.4367 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 2.9		
	PDOP: 1.8 - 2.5	HDOP: 1.0 - 1.4	VDOP: 1.5 - 2.1
Number of used satellites:	GPS: 10 GLONASS: -		

CPRA - 20151807_O0121 (bod profilu č. 8)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0121
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.0960 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 56' 44.73309" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 56' 27.38092" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	826.7029 m
Time span:	07/18/2015 08:01:25 - 07/18/2015 09:01:45	
Duration:	1h 00' 20"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151807_O0121	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 56' 44.67946" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 56' 27.34932" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	822.9086 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0002 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0005 m
	Posn. Qlty: 0.0003 m	Sd. Slope: 0.0002 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 04' 06.80220"	dLon: -0° 03' 18.02789"	dHgt: 177.5186 m
	Slope: 8624.9071 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.1 - 4.3	HDOP: 1.1 - 1.7	VDOP: 1.5 - 3.3
	PDOP: 1.9 - 3.7		
Number of used satellites:	GPS: 9 GLONASS: -		

CPRA - 20151707_O0091 (bod profilu č. 9)

Point Information

	Reference: CPRA	Rover: 20151707_O0091
Receiver type / S/N:	GRX1200 / 453657	TPSHIPER / 8QJDRL8YIV4
Antenna type / S/N:	LEIAR25.R4 LEIT / 10401024	TPSHIPER_PLUS NONE / -
Antenna height:	0.0663 m	1.2370 m
Initial coordinates:		
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 55' 58.86805" N
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 55' 47.72491" E
Ellip. Hgt:	645.3900 m	869.4866 m
Time span:	07/17/2015 19:18:50 - 07/17/2015 20:21:30	
Duration:	1h 02' 40"	

Satellite Selection

Manually disabled GPS satellites (PRNs):	None
Manually disabled GLONASS satellites (Slot Id):	None

Final Coordinates

Coordinates:	Reference: CPRA	Rover: 20151707_O0091	
Latitude:	49° 00' 51.48166" N	48° 55' 58.83437" N	
Longitude:	13° 59' 45.37721" E	13° 55' 47.75897" E	
Ellip. Hgt:	645.3900 m	869.2834 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0004 m	Sd. Lon: 0.0003 m	Sd. Hgt: 0.0007 m
	Posn. Qlty: 0.0005 m	Sd. Slope: 0.0004 m	
Baseline vector:	dLat: -0° 04' 52.64730"	dLon: -0° 03' 57.61824"	dHgt: 223.8934 m
	Slope: 10254.4024 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 4.9	HDOP: 1.0 - 2.8	VDOP: 1.4 - 3.1
	PDOP: 1.8 - 4.2		
Number of used satellites:	GPS: 10 GLONASS: -		

Tab. B.1: Výsledné hodnoty DOP z GNSS observací

číslo bodu při GNSS observaci	GDOP	PDOP	číslo bodu profilu
<i>20151907_D0061</i>	2,9	2,6	1
<i>20151907_O0061</i>	2,6	2,2	
<i>20151907_D0001</i>	3,3	2,8	2
<i>20151907_O0001</i>	2,8	2,5	
<i>20151907_D0040</i>	3,5	2,9	3
<i>20151907_O0040</i>	6,5	5,4	
<i>20151807_D0090</i>	3,7	3,1	4
<i>20151807_O0090</i>	2,4	2,0	
<i>20151807_D0351</i>	3,3	2,8	5
<i>20151807_O0351</i>	2,8	2,4	
<i>20151807_D0240</i>	4,2	3,6	6
<i>20151807_O0240</i>	4,0	3,3	
<i>20151807_D0170</i>	4,9	4,1	7
<i>20151807_O0170</i>	2,5	2,1	
<i>20151807_D0121</i>	3,3	2,8	8
<i>20151807_O0121</i>	2,7	2,4	
<i>20151807_D0091</i>	3,4	2,9	9
<i>20151707_O0091</i>	2,4	2,1	

V tabulce (tab. B.1) je uvedena výsledná průměrná hodnota GDOP a PDOP.

ANALÝZA SÍTĚ PŘED VYROVNÁNÍM

Adjustment Pre-Analysis

www.MOVE3.com (c) 1993-2008 Grontmij

Created: 05-02-2016 15:08:26

- when it has to be right



Project Information

Project name: Diplomova_prace
 Processing kernel: MOVE3 4.0

General Information

Type: 3D free network -- Projection : None -- Ellipsoid : WGS 84
Stations
 Number of (partly) known stations: 1 **Observations**
 Number of unknown stations: 18 GPS coordinate differences: 54 (18 baselines)
 Total: 19 Known coordinates: 3
Unknowns
 Coordinates: 57 Total: 57
 Total: 57 Degrees of freedom: 0

Check of Input Data

Possibly Identical Observations

Station	Target	Reading	Reading	Reading
CPRA	20151907_O0061	-5002.7240 DX	1886.6537 DY	3667.2816 DZ
CPRA	20151907_D0061	-5002.7211 DX	1886.6484 DY	3667.2862 DZ
CPRA	20151907_O0001	-3596.2382 DX	1049.7778 DY	2644.7120 DZ
CPRA	20151907_D0001	-3596.2234 DX	1049.7624 DY	2644.7154 DZ
CPRA	20151907_O0040	-1996.0437 DX	754.4261 DY	1462.3301 DZ
CPRA	20151907_D0040	-1996.0456 DX	754.4214 DY	1462.3257 DZ
CPRA	20151807_O0090	-508.8277 DX	548.5485 DY	280.5739 DZ
CPRA	20151807_D0090	-508.8417 DX	548.5487 DY	280.5755 DZ
CPRA	20151807_O0351	606.6682 DX	64.5656 DY	-536.5738 DZ
CPRA	20151807_D0351	606.6672 DX	64.5611 DY	-536.5724 DZ
CPRA	20151807_O0240	3318.4649 DX	268.1667 DY	-2521.9084 DZ
CPRA	20151807_D0240	3318.4575 DX	268.1708 DY	-2521.9083 DZ
CPRA	20151807_O0170	5312.2486 DX	-1813.6102 DY	-3840.6214 DZ
CPRA	20151807_D0170	5312.2453 DX	-1813.6205 DY	-3840.6043 DZ
CPRA	20151807_O0121	6667.9210 DX	-2491.2031 DY	-4870.4989 DZ
CPRA	20151807_D0121	6667.9230 DX	-2491.1995 DY	-4870.4974 DZ
CPRA	20151707_O0091	7928.0942 DX	-3008.7261 DY	-5765.9048 DZ
CPRA	20151807_D0091	7928.0952 DX	-3008.7399 DY	-5765.8883 DZ

Possibly Coinciding Stations

Minimum station distance is 2.0 m

Station	Station	Distance
20151707_O0091	20151807_D0091	0.02 m
20151807_D0090	20151807_O0090	0.01 m
20151807_D0121	20151807_O0121	0.00 m
20151807_D0170	20151807_O0170	0.02 m
20151807_D0240	20151807_O0240	0.01 m
20151807_D0351	20151807_O0351	0.00 m
20151907_D0001	20151907_O0001	0.02 m
20151907_D0040	20151907_O0040	0.01 m
20151907_D0061	20151907_O0061	0.01 m

VYROVNÁNÍ, VÝSLEDKY A JEJICH SMĚRODATNÉ ODCHYLKY



Network Adjustment

www.MOVE3.com

(c) 1993-2008 Grontmij

Licensed to Leica Geosystems AG

Project Information

Project name:	Diplomova_prace
Date created:	02/05/2016 13:55:43
Time zone:	2h 00'
Coordinate system name:	WGS 1984
Application software:	LEICA Geo Office 7.0
Processing kernel:	MOVE3 4.0.1

General Information

Adjustment

Type:	Minimally constrained	
Dimension:	3D	
Coordinate system:	WGS 1984	
Height mode:	Ellipsoidal	
Number of iterations:	0	
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m	✓ (tolerance is met)

Stations

Number of (partly) known stations:	1
Number of unknown stations:	18
Total:	19

Observations

GPS coordinate differences:	54 (18 baselines)	(including 18 baselines as free observations)
Known coordinates:	3	
Total:	57	(including 54 free observations)

Unknowns

Coordinates:	57
Total:	57
Degrees of freedom:	0

Testing

Alfa (multi dimensional):	1.0000
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %
Beta:	80.0 %
Sigma a-priori (GPS):	10.0

Adjustment Results

Coordinates

Station		Coordinate	Sd
20151707_O0091	Latitude	48° 55' 58.83437" N	0.0042 m
	Longitude	13° 55' 47.75897" E	0.0026 m
	Height	869.2834 m	0.0069 m
20151807_D0090	Latitude	49° 01' 06.25905" N	0.0016 m
	Longitude	14° 00' 17.62768" E	0.0013 m
	Height	620.4254 m	0.0038 m

Coordinates

Station	Coordinate	Sd		
20151807_D0091	Latitude	48° 55' 58.83477" N	0.0036 m	
	Longitude	13° 55' 47.75830" E	0.0018 m	
	Height	869.2944 m	0.0054 m	
20151807_D0121	Latitude	48° 56' 44.67942" N	0.0018 m	
	Longitude	13° 56' 27.34947" E	0.0012 m	
	Height	822.9116 m	0.0043 m	
20151807_D0170	Latitude	48° 57' 34.70002" N	0.0027 m	
	Longitude	13° 57' 15.72754" E	0.0022 m	
	Height	842.8719 m	0.0042 m	
20151807_D0240	Latitude	48° 58' 37.68795" N	0.0031 m	
	Longitude	13° 59' 18.70896" E	0.0019 m	
	Height	897.4363 m	0.0049 m	
20151807_D0351	Latitude	49° 00' 25.32604" N	0.0017 m	
	Longitude	13° 59' 41.24037" E	0.0010 m	
	Height	636.7214 m	0.0028 m	
20151807_O0090	Latitude	49° 01' 06.25868" N	0.0015 m	
	Longitude	14° 00' 17.62750" E	0.0010 m	
	Height	620.4331 m	0.0027 m	
20151807_O0121	Latitude	48° 56' 44.67946" N	0.0021 m	
	Longitude	13° 56' 27.34932" E	0.0014 m	
	Height	822.9086 m	0.0046 m	
20151807_O0170	Latitude	48° 57' 34.69951" N	0.0029 m	
	Longitude	13° 57' 15.72799" E	0.0018 m	
	Height	842.8628 m	0.0048 m	
20151807_O0240	Latitude	48° 58' 37.68779" N	0.0017 m	
	Longitude	13° 59' 18.70868" E	0.0013 m	
	Height	897.4402 m	0.0045 m	
20151807_O0351	Latitude	49° 00' 25.32596" N	0.0011 m	
	Longitude	13° 59' 41.24057" E	0.0009 m	
	Height	636.7217 m	0.0027 m	
20151907_D0001	Latitude	49° 03' 06.67548" N	0.0027 m	
	Longitude	14° 01' 18.37197" E	0.0016 m	
	Height	521.3454 m	0.0049 m	
20151907_D0040	Latitude	49° 02' 05.38642" N	0.0013 m	
	Longitude	14° 00' 45.17936" E	0.0009 m	
	Height	599.1719 m	0.0030 m	
20151907_D0061	Latitude	49° 03' 56.76772" N	0.0023 m	
	Longitude	14° 02' 15.15559" E	0.0014 m	
	Height	532.5596 m	0.0046 m	
20151907_O0001	Latitude	49° 03' 06.67566" N	0.0024 m	
	Longitude	14° 01' 18.37288" E	0.0012 m	
	Height	521.3358 m	0.0030 m	
20151907_O0040	Latitude	49° 02' 05.38644" N	0.0022 m	
	Longitude	14° 00' 45.17957" E	0.0019 m	
	Height	599.1772 m	0.0050 m	
20151907_O0061	Latitude	49° 03' 56.76765" N	0.0023 m	
	Longitude	14° 02' 15.15588" E	0.0015 m	
	Height	532.5551 m	0.0046 m	
CPRA	Latitude	49° 00' 51.48166" N	-	fixed
	Longitude	13° 59' 45.37721" E	-	fixed
	Height	645.3900 m	-	fixed

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Sd
DX	CPRA	20151907_O0061	-5002.7240 m	0.0037 m
DY			1886.6537 m	0.0018 m
DZ			3667.2816 m	0.0035 m
DX	CPRA	20151907_O0040	-1996.0437 m	0.0042 m
DY			754.4261 m	0.0027 m
DZ			1462.3301 m	0.0031 m
DX	CPRA	20151907_O0001	-3596.2382 m	0.0022 m
DY			1049.7778 m	0.0013 m
DZ			2644.7120 m	0.0032 m
DX	CPRA	20151907_D0061	-5002.7211 m	0.0029 m
DY			1886.6484 m	0.0015 m
DZ			3667.2862 m	0.0042 m
DX	CPRA	20151907_D0040	-1996.0457 m	0.0021 m
DY			754.4214 m	0.0010 m
DZ			1462.3257 m	0.0025 m
DX	CPRA	20151907_D0001	-3596.2234 m	0.0040 m
DY			1049.7624 m	0.0017 m
DZ			2644.7154 m	0.0038 m
DX	CPRA	20151807_O0351	606.6682 m	0.0020 m
DY			64.5656 m	0.0011 m
DZ			-536.5738 m	0.0021 m
DX	CPRA	20151807_O0240	3318.4649 m	0.0028 m
DY			268.1667 m	0.0016 m
DZ			-2521.9084 m	0.0038 m
DX	CPRA	20151807_O0170	5312.2487 m	0.0037 m
DY			-1813.6102 m	0.0020 m
DZ			-3840.6214 m	0.0041 m
DX	CPRA	20151807_O0121	6667.9210 m	0.0029 m
DY			-2491.2031 m	0.0015 m
DZ			-4870.4989 m	0.0041 m
DX	CPRA	20151807_O0090	-508.8277 m	0.0020 m
DY			548.5485 m	0.0010 m
DZ			280.5739 m	0.0023 m
DX	CPRA	20151807_D0351	606.6672 m	0.0020 m
DY			64.5611 m	0.0011 m
DZ			-536.5724 m	0.0025 m
DX	CPRA	20151807_D0240	3318.4575 m	0.0049 m
DY			268.1708 m	0.0015 m
DZ			-2521.9083 m	0.0032 m
DX	CPRA	20151807_D0170	5312.2453 m	0.0036 m
DY			-1813.6205 m	0.0028 m
DZ			-3840.6043 m	0.0029 m
DX	CPRA	20151807_D0121	6667.9230 m	0.0028 m
DY			-2491.1995 m	0.0013 m
DZ			-4870.4974 m	0.0037 m
DX	CPRA	20151807_D0091	7928.0952 m	0.0048 m
DY			-3008.7399 m	0.0021 m
DZ			-5765.8883 m	0.0042 m
DX	CPRA	20151807_D0090	-508.8417 m	0.0029 m
DY			548.5487 m	0.0013 m
DZ			280.5755 m	0.0029 m
DX	CPRA	20151707_O0091	7928.0942 m	0.0054 m
DY			-3008.7261 m	0.0027 m
DZ			-5765.9048 m	0.0060 m

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]
DV	CPRA	20151907_O0061	6483.4917
DV	CPRA	20151907_O0040	2586.8433
DV	CPRA	20151907_O0001	4585.7894
DV	CPRA	20151907_D0061	6483.4905
DV	CPRA	20151907_D0040	2586.8410
DV	CPRA	20151907_D0001	4585.7762
DV	CPRA	20151807_O0351	812.4817
DV	CPRA	20151807_O0240	4176.6188
DV	CPRA	20151807_O0170	6801.4367
DV	CPRA	20151807_O0121	8624.9071
DV	CPRA	20151807_O0090	799.0825
DV	CPRA	20151807_D0351	812.4797
DV	CPRA	20151807_D0240	4176.6131
DV	CPRA	20151807_D0170	6801.4271
DV	CPRA	20151807_D0121	8624.9068
DV	CPRA	20151807_D0091	10254.3979
DV	CPRA	20151807_D0090	799.0921
DV	CPRA	20151707_O0091	10254.4024

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
20151707_O0091	0.0042	0.0026	1.6	1°	0.0069
20151807_D0090	0.0017	0.0013	1.3	23°	0.0038
20151807_D0091	0.0037	0.0018	2.0	-6°	0.0054
20151807_D0121	0.0018	0.0012	1.5	9°	0.0043
20151807_D0170	0.0031	0.0014	2.2	-36°	0.0042
20151807_D0240	0.0033	0.0014	2.4	25°	0.0049
20151807_D0351	0.0017	0.0010	1.8	-5°	0.0028
20151807_O0090	0.0015	0.0010	1.6	0°	0.0027
20151807_O0121	0.0021	0.0013	1.6	7°	0.0046
20151807_O0170	0.0029	0.0017	1.7	6°	0.0048
20151807_O0240	0.0017	0.0013	1.3	7°	0.0045
20151807_O0351	0.0012	0.0009	1.2	-9°	0.0027
20151907_D0001	0.0027	0.0016	1.8	-3°	0.0049
20151907_D0040	0.0013	0.0009	1.5	11°	0.0030
20151907_D0061	0.0023	0.0014	1.7	7°	0.0046
20151907_O0001	0.0025	0.0011	2.2	13°	0.0030
20151907_O0040	0.0027	0.0012	2.3	-37°	0.0050
20151907_O0061	0.0023	0.0015	1.5	-8°	0.0046
CPRA	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000

Tab. B.2: Body profilu a jim přiřazené názvy při GNSS observaci

číslo bodu profilu	název téhož bodu při GNSS observaci (název souboru)
1	<i>20151907_D0061</i> <i>20151907_O0061</i>
2	<i>20151907_D0001</i> <i>20151907_O0001</i>
3	<i>20151907_D0040</i> <i>20151907_O0040</i>
4	<i>20151807_D0090</i> <i>20151807_O0090</i>
5	<i>20151807_D0351</i> <i>20151807_O0351</i>
6	<i>20151807_D0240</i> <i>20151807_O0240</i>
7	<i>20151807_D0170</i> <i>20151807_O0170</i>
8	<i>20151807_D0121</i> <i>20151807_O0121</i>
9	<i>20151807_D0091</i> <i>20151707_O0091</i>

Při GNSS observaci bylo provedeno pojmenování bodů profilu podle formátu *2015xxxx_Yzzzz*, aby se v souborech observací a poté i výpočtech bylo možné rychle orientovat.

C Body profilu v rámci ETRF2000

Tab. C.1: Souřadnice bodů profilu v systému ETRS89, v rámci ETRF2000

1. měření				
č. b.	B - zeměpisná šířka	L - zeměpisná délka	σ_B [mm]	σ_L [mm]
1	49°3'56,76772"	14°2'15,15559"	2,3	1,4
2	49°3'6,67548"	14°1'18,37197"	2,7	1,6
3	49°2'5,38642"	14°0'45,17936"	1,3	0,9
4	49°1'6,25905"	14°0'17,62768"	1,6	1,3
5	49°0'25,32604"	13°59'41,24037"	1,7	1,0
6	48°58'37,68795"	13°59'18,70896"	3,1	1,9
7	48°57'34,70002"	13°57'15,72754"	2,7	2,2
8	48°56'44,67942"	13°56'27,34947"	1,8	1,2
9	48°55'58,83477"	13°55'47,75830"	3,6	1,8
2. měření				
1	49°3'56,76765"	14°2'15,15588"	2,3	1,5
2	49°3'6,67566"	14°1'18,37288"	2,4	1,2
3	49°2'5,38644"	14°0'45,17957"	2,2	1,9
4	49°1'6,25868"	14°0'17,62750"	1,5	1,0
5	49°0'25,32596"	13°59'41,24057"	1,1	0,9
6	48°58'37,68779"	13°59'18,70868"	1,7	1,3
7	48°57'34,69951"	13°57'15,72799"	2,9	1,8
8	48°56'44,67946"	13°56'27,34932"	2,1	1,4
9	48°55'58,83437"	13°55'47,75897"	4,2	2,6

pozn. σ_B, σ_L - směrodatná odchylka zeměpisné šířky, délky, č. b. - číslo bodu.

Tab. C.2: Výsledné zeměpisné souřadnice bodů profilu v rámci ETRF2000

č. b.	<i>B</i> - zeměpisná šířka	<i>L</i> - zeměpisná délka	σ_B [mm]	σ_L [mm]
1	49°3'56,76769"	14°2'15,15574"	1,6	1,0
2	49°3'6,67557"	14°1'18,37243"	1,8	1,0
3	49°2'5,38643"	14°0'45,17947"	1,3	1,1
4	49°1'6,25887"	14°0'17,62759"	1,1	0,8
5	49°0'25,32600"	13°59'41,24047"	1,0	0,7
6	48°58'37,68787"	13°59'18,70882"	1,8	1,2
7	48°57'34,69977"	13°57'15,72777"	2,0	1,4
8	48°56'44,67944"	13°56'27,34940"	1,4	0,9
9	48°55'58,83457"	13°55'47,75864"	2,8	1,6

pozn. σ_B, σ_L - směrodatná odchylka zeměpisné šířky, délky, č. b. - číslo bodu.

D Matlab - zdrojový kód funkcí

Vyhledání čtyř okolních bodů

```
function [matice_okoli] = okolni_4body(B,L)
% vstup - souřadnice B, L (zeměpisná šířka, zeměpisná délka) ve stupních
% funkce vyhledává 4 okolní body v modelu kvazigeoidu k bodu o B, L
% výstup - matice 4 okolních bodů modelu kvazigeoidu
%      - v řádku je zeměpisná šířka a délka a výšková anomálie bodu modelu
% KVAZI001E.DAT - soubor dat modelu kvazigeoidu CR-2000

% načtení modelu
kvazi00 = dlmread('KVAZ001E.DAT',' ', 2, 0);

s = length(kvazi00);
okolni4 = ones(4,3);
k = 1;
for i = 1 : s
    Bi = kvazi00(i,1);
    Li = kvazi00(i,2);
    delB = (B - Bi);
    delL = (L - Li);
    if (delB < (1.02/60) && delB > 0 && delL < (1.5/60) && delL > 0)
        okolni4(1,1:3) = kvazi00(i,1:3);           % levý dolní "A"
    end
    if (delB < (1.02/60) && delB > 0 && delL < 0 && delL > (-1.5/60))
        okolni4(2,1:3) = kvazi00(i,1:3);           % pravý dolní "B"
    end
    if (delB < 0 && delB > (-1.02/60) && delL < (1.5/60) && delL > 0)
        okolni4(3,1:3) = kvazi00(i,1:3);           % levý horní "C"
    end
    if (delB < 0 && delB > (-1.02/60) && delL < 0 && delL > (-1.5/60))
        okolni4(4,1:3) = kvazi00(i,1:3);           % pravý horní "D"
    end
end
matice_okoli = okolni4;
end
```

Lineární interpolace

```
function [Z_lin] = linearni_interp(B,L)
% vstup - souřadnice B, L (zeměpisná šířka, zeměpisná délka) ve stupních
% funkce provádí určení výškové anomálie interpolací ze 4 okolních bodů modelu
% výstup - výšková anomálie pro bod o souřadnicích B, L

% využití funkce okolni_4body
okol = okolni_4body(B,L);

% provedení interpolace lineární, ve směru zeměpisné délky
% určení koeficientů přímek
p1 = polyfit ([okol(1,2),okol(2,2)], [okol(1,3),okol(2,3)],1);
p2 = polyfit ([okol(3,2),okol(4,2)], [okol(3,3),okol(4,3)],1);

% určení funkční hodnoty ve výše určených přímkách pro L
Z1 = polyval (p1,L);
Z2 = polyval (p2,L);

% provedení interpolace lineární, ve směru zeměpisné šířky
% určení koeficientů přímky
p3 = polyfit ([okol(1,1),okol(3,1)], [Z1,Z2],1);

% určení funkční hodnoty ve výše určené přímce pro B
Zx = polyval (p3,B);

% výsledná hodnota výškové anomálie pro bod profilu o souřadnicích B, L
Z_lin = Zx;

end
```

Vyhledání devíti okolních bodů

```

function [matice_okoli] = okolni_9bodu(B,L)
% vstup - souřadnice B, L (zeměpisná šířka, zeměpisná délka) ve stupních
% funkce vyhledává 9 okolních bodů v modelu kvazigeoidu k bodu o B, L
% výstup - matice 9 okolních bodů modelu kvazigeoidu
%       - v řádku je zeměpisná šířka a délka a výšková anomálie bodu modelu
% KVAZI001E.DAT - soubor dat modelu kvazigeoidu CR-2000

% načtení modelu
kvazi00 = dlmread('KVAZ001E.DAT',' ', 2, 0);

% nalezení nejbližšího uzlového bodu
pr = pi / 180;
s = length(kvazi00);
n = 1;
r = 100;
for i = 1 : s
    Bi = kvazi00(i,1);
    Li = kvazi00(i,2);
    % vzdálenost v km, poloměr koule (náhradní těleso Země) = 6378 km
    ri = (acos (sin (Bi * pr) * sin (B * pr) + cos (Bi * pr) *
                * cos (B * pr) * cos ((L - Li) * pr))) * 6378;
    if (ri < r)
        nej_bod(1,1:3) = kvazi00(i,1:3);
        r = ri;
    end
end

% vyhledán nejbližší bod, dále vyhledání bodů A - I
Be = nej_bod(1,1);
Le = nej_bod(1,2);
matice_okoli = ones(9,3);
matice_okoli(5,1:3) = nej_bod(1,1:3);           % bod E, nejbližší

for j = 1 : s
    Bi = kvazi00(j,1);
    Li = kvazi00(j,2);
    if ((Be - Bi) < 0.02 && (Be - Bi) > 0.01 &&
        && (Le - Li) > 0.02 && (Le - Li) < 0.03)
        matice_okoli(1,1:3) = kvazi00(j,1:3);           % bod A
    end
    if ((Be - Bi) < 0.02 && (Be - Bi) > 0.01 && Li == Le )
        matice_okoli(2,1:3) = kvazi00(j,1:3);           % bod B
    end
    if ((Be - Bi) < 0.02 && (Be - Bi) > 0.01 &&
        && (Le - Li) < - 0.02 && (Le - Li) > - 0.03)
        matice_okoli(3,1:3) = kvazi00(j,1:3);           % bod C
    end
    if (Bi == Be && (Le - Li) > 0.02 && (Le - Li) < 0.03)
        matice_okoli(4,1:3) = kvazi00(j,1:3);           % bod D
    end
end

```

```
% bod E výše
if (Bi == Be && (Le - Li) < - 0.02 && (Le - Li) > - 0.03)
    matice_okoli(6,1:3) = kvazi00(j,1:3);          % bod F
end
if ((Be - Bi) < - 0.01 && (Be - Bi) > - 0.02 &&
    && (Le - Li) > 0.02 && (Le - Li) < 0.03)
    matice_okoli(7,1:3) = kvazi00(j,1:3);          % bod G
end
if ((Be - Bi) < -0.01 && (Be - Bi) > - 0.02 && Li == Le)
    matice_okoli(8,1:3) = kvazi00(j,1:3);          % bod H
end
if ((Be - Bi) < - 0.01 && (Be - Bi) > - 0.02 &&
    && (Le - Li) < - 0.02 && (Le - Li) > - 0.03)
    matice_okoli(9,1:3) = kvazi00(j,1:3);          % bod I
end
end
matice_okoli;
end
```

Kvadratická interpolace

```
function [Z_kvadr] = kvadraticka_interp(B,L)
% vstup - souřadnice B, L (zeměpisná šířka, zeměpisná délka) ve stupních
% funkce provádí určení výškové anomálie interpolací z 9 okolních bodů modelu
% výstup - výšková anomálie pro bod o souřadnicích B, L

% využití funkce okolni_9bodu
okol = okolni_9bodu(B,L);

% provedení interpolace kvadratické, ve směru zeměpisné délky
% určení koeficientů křivek
p1 = polyfit ([okol(1,2)-13,okol(2,2)-13,okol(3,2)-13],
             [okol(1,3),okol(2,3),okol(3,3)],2);
p2 = polyfit ([okol(4,2)-13,okol(5,2)-13,okol(6,2)-13],
             [okol(4,3),okol(5,3),okol(6,3)],2);
p3 = polyfit ([okol(7,2)-13,okol(8,2)-13,okol(9,2)-13],
             [okol(7,3),okol(8,3),okol(9,3)],2);

% určení funkční hodnoty ve výše určených křivkách pro L
Zx1 = polyval (p1,L-13);
Zx2 = polyval (p2,L-13);
Zx3 = polyval (p3,L-13);

% provedení interpolace kvadratické, ve směru zeměpisné šířky
% určení koeficientů křivky
p4 = polyfit ([okol(1,1)-48,okol(4,1)-48,okol(7,1)-48], [Zx1,Zx2,Zx3],2);

% určení funkční hodnoty ve výše určené křivce pro B
Zx = polyval (p4,B-48);

% výsledná hodnota výškové anomálie pro bod profilu o souřadnicích B, L
Z_kvadr = Zx;
end
```


E Elektronické přílohy

Obsah přiloženého CD

- \ Diplomová práce
- \ GNSS
 - \ Antény
 - \ Observační data RINEX
 - \ Přesné efemeridy
 - \ Protokoly z výpočtu
- \ Modely kvazigeoidu
 - \ CR-2000
 - \ CR-2005
 - \ QGZÚ-2013
- \ Zdrojové kódy - interpolace
 - \ Pro model kvazigeoidu CR-2000
 - \ Pro model kvazigeoidu CR-2005
 - \ Pro model kvazigeoidu QGZÚ-2013

Podle licenční smlouvy s poskytovatelem dat (Zeměměřický úřad) není možné data modelu QGZÚ-2013 z této diplomové práce (tj. zejména z její elektronické přílohy) kopírovat ani jiným způsobem jakkoli využívat bez vědomí a souhlasu Zeměměřického úřadu. Obdobně je tomu i u dat sítě CZEPOS.