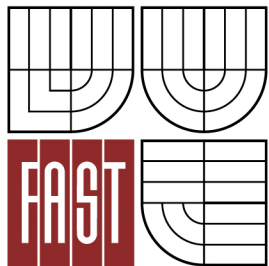




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

GPS MĚŘENÍ NA POLYGONU TETČICE

GPS MEASUREMENTS AT THE TETČICE POLYGON

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JANA DARMOPILOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. RNDr. LUBOMIL POSPÍŠIL, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jana Darmopilová
Název	GPS měření na polygonu Tetčice
Vedoucí diplomové práce	doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Švábenský, O., Witiska, M., Ratiborský, J., Blažek, R., Pospíšil, L., Weigel, J.: Preliminary results of repeated measurement in local geodynamic network Morava. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2011, vol. 8, no. 3 (163), s. 291-301.

Pospíšil, L., Švábenský, O., Weigel, J., Witiska, M.: Geodetic and geophysical analyses of Diendorf-Čebín tectonic zone. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2009, vol. 6, no. 3, p. 309-321. ISSN: 1214- 9705.

Švábenský O, Weigel J, 2004: Optimized Technology for GPS Height Determination, CD ROM, Proceedings of the FIG Conference "Olympic Spirit in Surveying", Athens.

Vyskočil P, 1996: Recent crustal movements their properties and results of studies at the territory of Czech Republic. In: Seismicity, Neotectonics, and Recent dynamics with special regard to the Territory of Czech Republic. ISBN 80-85881-04-7, Roc.42, c.15. VUGTK Zdíby, 77–120.

Zásady pro vypracování

Zadání a cíl diplomové práce je zaměřen na realizaci měření GPS na polygonu Tetčice.

Výsledky budou využity pro sledování geodynamických poměrů v této oblasti.

Údaje budou současně využity k vývoji, testování a zdokonalování nové technologie umožňující zpřesnění anomálií tíhového pole a řešení hustotních poměrů v libovolné části zemského povrchu na základě dostupných satelitních výškových a gravimetrických dat.

Výstupy budou tvořit mapa geodynamických jevů v okolí okrajového zlomu Boskovické brázdy, roční rychlosti na měřených bodech, dokumentace ve formě profilů, zápisníků a grafů.

Předepsané přílohy

.....
doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Vedoucí diplomové práce

3.5.1.	Čas GPS.....	35
3.5.2.	Čas systému GLONASS.....	36
3.5.3.	Čas systému Galileo	36
3.6.	Faktory ovlivňující přesnost	37
3.6.1.	Chyby související s družicemi	37
3.6.2.	Chyby vznikající šířením signálu atmosférou	37
3.6.2.1.	Troposférická refrakce	37
3.6.2.2.	Ionosférická refrakce.....	38
3.6.3.	Chyby související s přijímačem	38
3.6.4.	Chyby související s lokalitou měření	39
3.7.	Vyjádření přesnosti měření.....	39
3.7.1.	Dilution of Precision (faktor snížení přesnosti).....	39
3.8.	Sítě permanentních referenčních stanic.....	40
3.8.1.	CZEPOS – Česká síť permanentních stanic pro určování polohy	41
3.8.2.	Data formátu RINEX	42
3.9.	Souřadnicové systémy	43
3.9.1.	ITRS	43
3.9.2.	ETRS89	44
3.9.3.	WGS84	44
3.9.4.	Transformace souřadnic z ETRS89 do S-JTSK	45
3.10.	Problematika určování výšek z měření GNSS.....	46
4.	MĚŘENÍ DAT A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....	47
4.1.	Předcházející etapy měření.....	47
4.2.	Pilíře pro měření technologií GNSS.....	48
4.3.	Použité přístroje pro observaci.....	49
4.4.	Průběh měření	51
4.4.1.	Výška antény.....	51
4.4.2.	Parametry měření	52
4.4.3.	Atmosférické podmínky	52
4.5.	Zpracování naměřených dat.....	53
4.5.1.	Postup zpracování v Leica Geo Office.....	53
4.6.	Výsledky a zhodnocení GNSS měření	56
4.6.1.	Třetí etapa, 26. – 27. 7. 2013	57
4.6.2.	Porovnání s předchozími etapami	58
4.6.2.1.	Reference na bodu TUBO	59

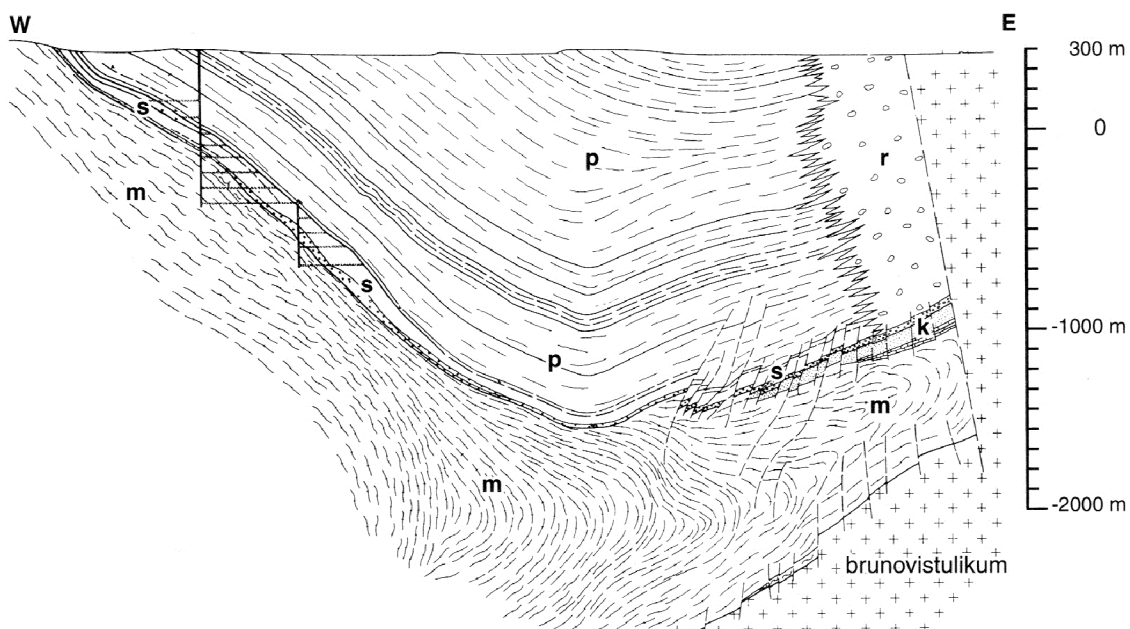
4.6.3. Reference na bodu VODJ (P6)	64
4.7. Grafické zpracování	68
5. ZÁVĚR.....	70
6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK.....	76
SEZNAM GRAFŮ.....	77
SEZNAM PŘÍLOH	78



Horninové celky dělíme do pěti hlavních oblastí: moldanubické (moldanubikum), středočeské (bohemikum), sasko-durynské (saxothuringikum), západosudetské (lugikum) a moravskoslezské (moravosilezikum). [32]

Tetčice leží na východním okraji příkopové propadliny Boskovická brázda, která vznikla tektonickým pohybem geologických celků – moldanubika, moravika a brněnského masivu. [31]

Převážnou část výplně, kterou můžeme sledovat od severního okolí Boskovic až k Moravskému Krumlovu, tvoří uloženiny spodního permu. V jižní části brázd najdeme i uloženiny nejvyššího karbonu, které mohou dosáhnout mocnosti až několika tisíc kilometrů.



Obr. 2-4: Příčný profil boskovickou brázdou v rosicko-oslavanské části [1]

m – krystalinikum moravika; k – devonské a kulmské horniny; s – svrchnokarbonské balinské slepence a nadložní uhlonosné vrstvy (stephan); p – spodnopermské uloženiny, převážně prachovce a pískovce; r – rokytenské slepence.

Na obr. 2-4 můžeme vidět, že výplň brázd je výrazně asymetrická, kdy východní hranici tvoří příkrý až vertikální či překocný zlom, který byl aktivní i během zaplňování příkopu a poskytoval ze zvedané východní kry hrubý klastický materiál. Těmto materiálům říkáme rokytenské slepence. Rokytnské slepence obsahují bloky a valouny hornin s převahou kulmských drob a prachovců a jsou nevrstevnaté. V západní části brázd jsou naopak vrstvy mírně ukloněny a porušeny jen méně významnými zlomy. Nacházejí se zde slepence klastického materiálu vyvinuté při bázi, jež označujeme jako balinské. [1]

Největší zastoupení ve výplni brázd mají červenohnědě zbarvené písčité, při krajích hrubozrnné, sedimenty říčního a jezerního původu.

Výška oběžné dráhy je 20 183 km nad povrchem Země. Doba oběhu kolem Země je pak 11 hodin a 58 minut, což je polovina hvězdného dne. Pozorovatel na Zemi tak může vidět družici každý den na stejném místě, její východ bude akorát o 4 minuty dříve, než v den předcházející. Dráhy jsou voleny tak, aby z každého místa na Zemi bylo vidět nejméně šest družic nad obzorem v jeden okamžik.

vlastností byla možnost kryptografických technik, jež umožňovaly snížit přesnost v určení polohy, rychlosti i času. Některé satelity z bloku IIA jsou stále funkční.

V letech 1997 – 2009 bylo vyrobeno a vypuštěno 20 družic pod označením IIR a IIR-M, které umožňují lepší vzájemnou komunikaci, mohou měřit vzájemné vzdálenosti a generovat vlastní navigační zprávu. Blok IIR-M se liší vysíláním civilního signálu i na frekvenci L2 a zavedením nového kódu M na frekvencích L1 i L2.

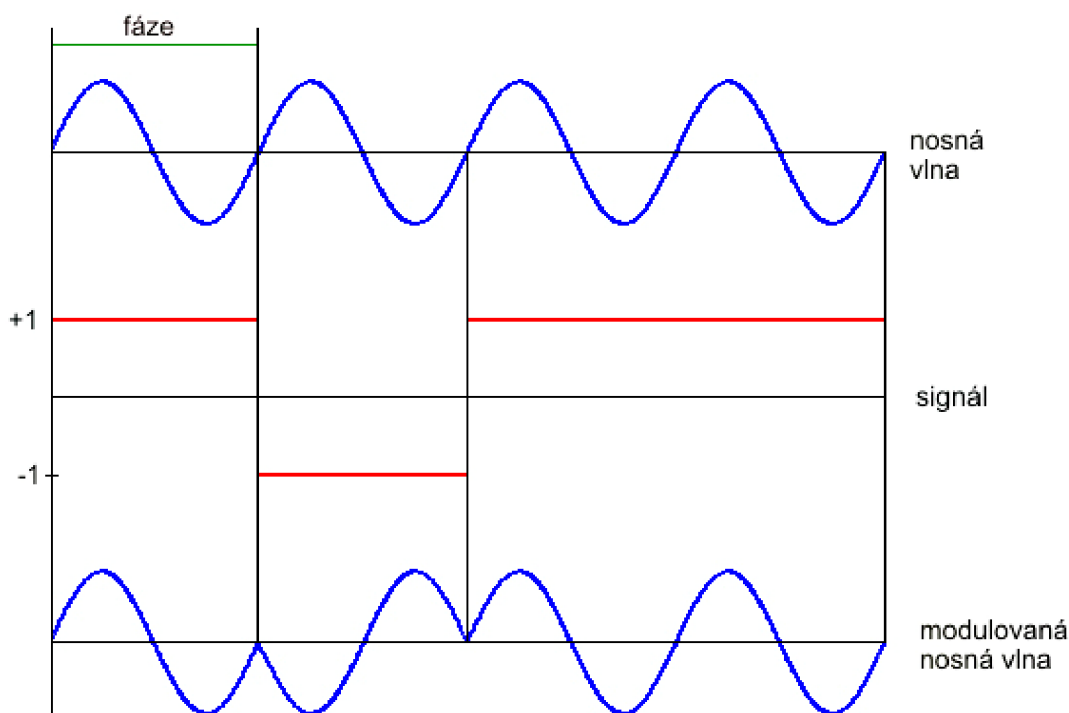
Nejnovější družice jsou družice bloku IIF (od roku 2010), které mají novou třetí civilní frekvenci L5 pro lepší modulaci atmosféry. Celkově má být vypuštěno 13 družic, k listopadu 2013 jsou na oběžné dráze čtyři (poslední vypuštěna 15. května 2013).

Družice bývají několikrát do roka odstaveny kvůli údržbě atomových hodin a korekci dráhy družice. Jejich údržba trvá 12 – 24 hodin. Družice jsou konstruovány pro životnost 10 let, novější pro 15 let, ale ještě dnes jsou aktivní družice z bloku IIA, který byl vypouštěn v letech 1990 – 1996, což znamená, že jsou v oběhu již více než 17 let.

Základní frekvence $f_0 = 10,23$ MHz pro přenos signálů je vytvářena velmi přesnými atomovými hodinami, které se starají o dlouhodobou frekvenční stabilitu vysílaného signálu. V současné době jsou vysílány dvě nosné vlny odvozené od základní frekvence tak, že je tato frekvence vynásobena čísly 154 a 120. Tím vzniká nosná vlna L1 = 1 575,42 MHz a nosná vlna L2 = 1 227,60 MHz. Aktuálně se testuje nosná vlna s označením L5 = 1 176,45 MHz, kterou vysílají družice bloku IIF vypouštěné od roku 2010. Předpokládá se dostupnost na 24 družicích systému v roce 2021. [8]

Vysílání na dvou a více frekvencích je důležitý požadavek na spolehlivé řešení některých zdrojů systematických chyb, např. vliv ionosféry. Nosná vlna je modulována fázovou modulací, tzv. binárním fázovým klíčováním – kdykoliv dojde ke změně vysílaného binárního kódu, posune se fáze vlny o jednu polovinu vlnové délky. Binární jedničky odpovídá hodnota +1, binární nula je reprezentována hodnotou -1 (viz obr. 3-7).

Pro modulaci nosné vlny se využívá několik pseudonáhodných kódů (dále PRN kódů, z anglického pseudorandom noise), které jsou unikátní pro každou z družic a umožňují tak jejich jednoznačnou identifikaci. Kódy jsou posloupností hodnot 0 a 1 a mají pseudonáhodný charakter, i když jsou ve skutečnosti vytvářeny podle stanoveného matematického modelu. Nosná vlna L1 je modulována dvěma kódy - C/A a P(Y) kódem, nosná vlna L2 je modulována pouze P(Y) kódem.



Obr. 3-7: Modulace nosné vlny [11]

C/A kód (Clear/Access = volný přístup nebo Coarse Acquisition = sběr hrubých dat)

Je modulován pouze na nosné vlně L1 a není šifrován, což umožňuje přístup i neautorizovaným uživatelům. Je vysílán frekvencí 1 023 MHz, což odpovídá vlnové délce 293,1 m, a je 1 023 bitů dlouhý, tzn., že je opakován každou tisícinu sekundy. Vzájemná korelační funkce dvou různých kódů má nízkou hodnotu, což je výhodné pro vzájemné oddělení signálů různých družic (patří mezi tzv. zlaté kódy). Tato technika se nazývá CDMA (Code Division Multiple Access) a umožňuje rozpoznávat více satelitů na stejné frekvenci.

Jednomu prvku C/A kódu odpovídá přibližně 300 m. Přesnost pseudovzdáleností určených z kódových měření se udává jako 1 % z vlnové délky kódu, a tak můžeme pro C/A kód očekávat přesnost 3 m. Dříve byla jeho přesnost snížena zavedením SA (Selective Availability, viz kapitola 3.1.1.4), ale od 1. května 2000 je zcela dostupný civilním uživatelům.

P-kód (Protected = chráněný nebo Precision = přesný)

Pseudonáhodný kód je vytvářen kombinací bitových sekvencí dvou registrů s frekvencí 10,23 MHz, což odpovídá vlnové délce 29,3 m. Je modulován na obou nosných vlnách L1 a L2 a určen pouze pro autorizované uživatele. Dvě frekvence umožňují odstranění ionosférických a troposférických refrakcí, takže můžeme dosahovat přesností v řádech milimetrů.

Délka kódu je 266,4 dne, což je přibližně 37 týdnů. Pro praktické měření bylo vybráno 32 variant bitů, jejichž délka je 7 dní. Každé družici je pak přidělena jedna z částí a vždy o sobotní půlnoci, kdy začíná nový GPS týden, dochází ke změně vysílaného kódu. Tím je dosaženo rozdílných PRN družic.

V případě, kdy funguje režim A-S (Anti-Spoofing, viz kapitola 3.1.1.4), je P kód šifrován pomocí Y kódu, a proto se někdy označuje také jako P(Y) kód.

Navigační zpráva

Obsahuje informace o dráze jednotlivých družic, data pro výpočet polohy, rychlosti, času a korekční data. Vysílá se na frekvenci 50 Hz a je tvořena 25 rámcí (frame) po 1 500 bitech, kdy odvysílání jednoho rámce trvá 30 sekund. Odeslání celé navigační zprávy tak trvá 12,5 minuty. Každý rámec je rozdělen do pěti podrámců (subframe) po 300 bitech. V každém rámci se vysílají první tři podrámce opakovaně, mění se pouze čtvrtý a pátý podrámec (celkem je tedy 25 variant čtvrtého a pátého rámce). Jeden podrámec se vysílá 6 sekund, obsahuje 10 slov (word) a jedno slovo tedy trvá 0,6 sekundy.

Každý podrámec může mít 25 stránek. Podrámce 1 až 3 mají pouze jednu stránku, a tak dochází k jejich opakování každých 30 s, podrámce 4 a 5 mají celkem 25 stránek, opakují se tedy pouze jednou za 12,5 minuty.

Prvním slovem v každém podrámcí je telemetrické slovo TLM nesoucí synchronizační vzor a diagnostické zprávy řídicího segmentu. Druhým slovem je HOW (handover word), které nese identifikační údaje a také časovou hodnotu TOW (time of week), což je pořadí následujícího rámece od počátku GPS týdne.

První podrámeček obsahuje číslo GPS týdne, předpověď přesnosti v určení pseudovzdálenosti, indikátor zdraví družice a koeficienty pro korekce palubních hodin. Dráhové efemeridy pro daný okamžik a jejich časové změny obsahuje druhý a třetí podrámeček. Ve čtvrtém podrámcí se vysílají především vojenské informace, ale také almanach pro družice s číslem vyšší, než 25 (tzn. pro družice fungující nad rámeček plného operačního stavu 24 družic). Pátý rámeček pak obsahuje almanach pro aktuálně nejstarších 24 družic. Almanach je aktualizován jednou za šest dnů a obsahuje méně přesná data o poloze všech družic. Všechny družice vysílají stejný almanach.

GPS III a plánuje jak nové pozemní stanice, tak i družice a další civilní i vojenské signály pro zlepšení dostupnosti a přesnosti. Některé z nových technologií jsou dostupné u družic bloku IIR-M a IIF, kde probíhá testování. Fáze modernizace proběhne s blokem III.

Jedním z nových signálů je druhý civilní **L2C**, který má přinést eliminaci ionosférického zpoždění vysíláním na dvou frekvencích. Civilní uživatelé by tak mohli dosahovat podobných přesností jako autorizovaní uživatelé. Jsou pro něj vytvořeny dvě nové PRN sekvence – CM kód a CL kód. První družice z bloku IIR-M vysílající L2C byla vypuštěna v roce 2005.

Třetím z civilních signálů je **L5** (SoL, Safety of Life) na frekvenci 1 176,45 MHz. L5 má garantovat kvalitu polohovací služby natolik, aby bylo ihned možné rozpoznat chybu v systému. Jeho užití je plánováno zejména v oblasti bezpečnosti letecké dopravy (zejména při přiblížování a přistávání letadel) a pro vysílání využívá rezervované pásmo pro letectví s nízkou mírou rušení.

Čtvrtý civilní signál, **L1C**, je vyvíjen pro lepší interoperabilitu mezi systémem GPS a dalšími mezinárodními navigačními systémy. Bude vysílán na stejné frekvenci jako L1, který bude zachován pro zpětnou kompatibilitu. První družice vysílající signál L1C mají být vypuštěny v roce 2015 (blok III), plný operační stav se očekává kolem roku 2026.

Jednou z dalších novinek je **CNAV Navigační zpráva** – vylepšená verze původní navigační zprávy. Bude obsahovat sice stejná data, ale ta budou vysílána v novém formátu. Současné rámce budou nahrazeny systémem 300 bitů dlouhých pseudopaketů, jejichž vysílání bude trvat 12 sekund. Nová konstrukce tak bude umožňovat velkou variabilitu paketů a tím pádem i pružnější využití obsahu vysílaných dat.

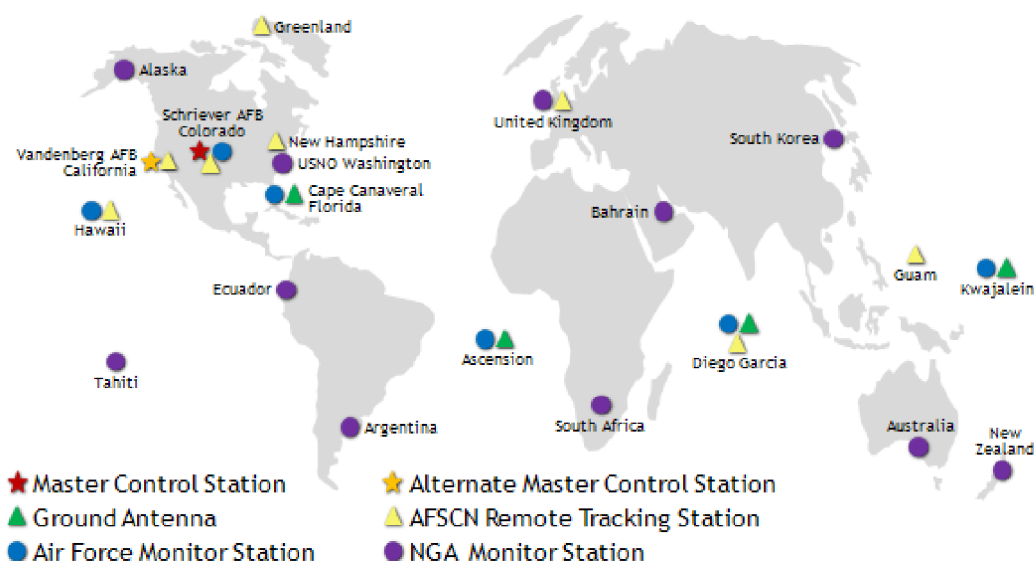
Číslo označující GPS týden bude rozšířeno na 13 bitů a jeho maximální hodnota bude 8 192. K jeho vyčerpání tak dojde jednou za 157 let. Každý paket ponese informaci o zdravotním stavu družice, takže bude možné do 6 sekund vyřadit nespolehlivou družici z výpočtu, čímž se zvýší přesnost a spolehlivost aplikací typu Safety of Life. Jeden z paketů ponese informaci o rozdílu mezi časem GPS a ostatními GNSS systémy – podporovány budou minimálně GLONASS a Galileo, což zvýší interoperabilitu dat. V neposlední řadě bude navigační zpráva podporovat až 63 družic.

M kód má nahradit stávající P(Y) kód na frekvencích L1 a L2. Signál má být vysílán širokoúhloú anténou, která má pokrýt celý povrch Země rovnoměrným signálem. Dále bude využita směrová anténa umístěná mimo tělo družice, kterou bude možno natáčet a v určitém regionu tak zvýšit sílu signálu až o 20 dB. Společně s M kódem bude pro autorizované uživatele k dispozici nová **MNAV navigační zpráva**, která bude mít zřejmě stejný formát jako CNAV a bude tak využívat pakety místo rámců. [8]

vysílané v navigační zprávě. Způsobil tak sníženou přesnost měření pseudovzdáleností pomocí C/A kódu. Toto opatření mělo zabránit zneužití systému GPS pro navigaci např. balistických raket. Chybu bylo možné potlačit diferenčním měřením anebo dlouhou statickou observací. Autorizovaní uživatelé mohli využívat pro přesné určení polohy P kódu. SA byl vypnut prezidentským výnosem 1. května 2000, čímž bylo umožněno rozšíření GPS mezi civilní a komerční uživatele. Přesnost C/A kódu se tak zlepšila na jednotky metrů. Služba je na družicích stále dostupná, zrušena úplně bude až na družicích bloku III. [8]

Anti-Spoofing (A-S) funguje od roku 1994 a umožňuje zašifrování P-kódu, čímž vzniká asymetricky šifrovaný P(Y) kód. A-S se provádí za účelem ověření pravosti signálu z družic – chrání P kód před případným podvržením či zneužitím nepřítelem, a je proto neustále zapnut, aby byla zaručena jeho stoprocentnost. Vzniká modulováním Y kódu, jehož dešifrování mohou provádět pouze autorizovaní uživatelé pomocí W kódu. Detaily Y i W kódu podléhají vojenskému utajení.

viditelná minimálně ze tří monitorovacích stanic, což v důsledku zlepšuje přesnost výpočtů dráhových elementů a efemerid. [13]



Obr. 3-9: Rozmístění stanic kontrolního segmentu systému GPS [8]

Mezi vybavení monitorovacích stanic patří přesné cesiové normály a přijímače P kódu. Stanice tak vytvářejí síť pro určování palubních efemerid a modelují chod atomových hodin. Přijímají neustále signály z družic, které uchovávají a předávají do hlavní řídicí stanice.

Pozemní antény odesílají data vytvořená hlavní řídicí stanicí pomocí rádiového pásma S zpátky ke družicím. Může to být jednak navigační zpráva, ale také příkazy pro změnu oběžné dráhy družice. Díky rozložení antén na zemském povrchu, může být navázáno spojení s každou družicí třikrát za den, tedy každých osm hodin. Data se ovšem aktualizují většinou jednou denně. Pozemní antény najdeme ve stejných místech jako monitorovací stanice – na ostrovech Ascension, Diego Garcia, Kwajalein a na mysu Canaveral na Floridě. Řídicí segment je také napojen na Satelitní kontrolní síť vzdušných sil USA (Air Force Satellite Control Network, AFSCN). [8]

Pokud dochází ke změně oběžné dráhy družice, musí být satelit postaven mimo provoz (stav „unhealthy“), aby se nezapočítával do řešení na uživatelských přijímačích. Poté, co je provedena korekce, je dráha satelitu zaměřena ze Země a jsou vypočítány nové efemeridy. Po aktualizování informací o dráze satelitu je pak znovu uveden do provozu (stav „healthy“).

Z důvodu modernizace družic a zavádění nových technologií do systému GPS, musí být modernizován i kontrolní segment, ten pak bývá nazýván jako **Next Generation Operational Control System** (dále OCX). [8]

OCX představuje řídicí a kontrolní segment příští generace GPS – umožní vypuštění družice na oběžnou dráhu a její řízení během provozu stejně jako stahování

doslouživších družic z oběžné dráhy. OCX bude poskytovat vyšší přesnost, integritu a dostupnost GPS systému v součinnosti s dalšími celosvětovými GNSS systémy. Jednou z důležitých vlastností má být zvýšená odolnost proti kybernetickým útokům a tím pádem zlepšení spolehlivosti dodávaných informací. Dojde také k úplné obměně hardwaru a k přechodu na digitální technologii.

OCX má zajišťovat plnou podporu pro kontrolu nových civilních signálů (L2C, L5, L1C) a bude zaváděn v jednotlivých blocích. OCX blok I má vstoupit do systému v roce 2016 a nahradí současný kontrolní systém u družic bloku III. Poskytne tak podporu pro signál L1C. OCX bloku II bude podporovat, monitorovat a kontrolovat signály L1C a L5. OCX bloku III je v plánu pro zajištění funkcí nové generace družic bloku III. [8]

Přijímače můžeme dělit do několika kategorií, podle různých kritérií:

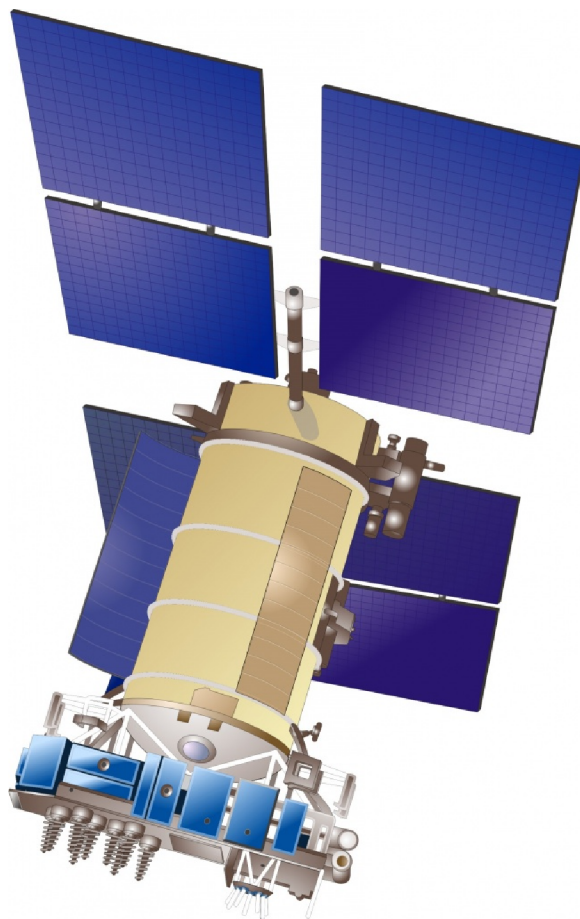
- **Podle počtu přijímaných pásem** – pokud přijímač může přijímat signál pouze na jedné nosné vlně (L1), pak se jedná o přijímač **jednofrekvenční**. Pokud přijímá signál na obou nosných vlnách, pak je označujeme jako **dvoufrekvenční** přijímače. V dnešní době již existují i **vícefrekvenční** přijímače, které umožní přijímat i nové signály (např. L5).
- **Podle principu výpočtů** – přijímače pro zpracování kódu, tzv. **kódové přijímače**, nebo **přijímače pro fázová měření**.
- **Podle počtu kanálů** – přijímače mohou být jednokanálové nebo vícekanálové. **Jednokanálové** byly používány v raných fázích systému, kdy přijímač byl schopen zachytit a zpracovat signál pouze z jedné družice v jeden okamžik. Po zpracování informace z první družice následně přepnul na druhou viditelnou družici a tento postup se opakoval, dokud nebyly přijaty signály ze všech viditelných družic. **Vícekanálové** přijímače mají pro každou družici vyčleněn samostatný kanál a mohou tak zpracovávat signály najednou. Dříve bylo těchto kanálů čtyři nebo pět, v současné době pracují přijímače s 12 až 20 kanály najednou.
- **Podle počtu přijímaných systémů** – většina starších přijímačů je **jednosystémových**, které umožňují přijímat signál pouze z družic systému GPS. Dnes se můžeme již běžně setkat s **vícesystémovými** přijímači, jež přijímají signály i z ruského systému GLONASS a k dostání jsou i přijímače podporující příjem z evropského systému Galileo. Přijímače podporující pouze GLONASS nejsou na našem ani na západním trhu dostupné.
- **Podle použití** – **geodetické** přijímače, jež využívají fázová měření a jejichž přesnost se tak pohybuje v řádu centimetrů až milimetrů podle použitých přístrojů a metody. **Navigační** přístroje pro vojenské i civilní použití. V běžném životě se s navigačními přístroji můžeme setkat např. v automobilové dopravě nebo při turistice. Dalším využitím jsou přijímače pro **časovou synchronizaci**, jelikož systém GPS poskytuje atomový čas bez nutnosti vlastnit atomové hodiny. Těchto přístrojů využívají např. světové a investiční banky z důvodu přesné synchronizace platebních transakcí.

Samotné uživatele můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na autorizované uživatele a neautorizované uživatele. **Autorizovaní uživatelé** (vojenský sektor USA a vybrané spojenecké armády) mají přístup k přesné polohové službě (Precise Positioning Service – PPS). Přijímač je pak vybavený hardwarovými a softwarovými klíči a dokáže tak pracovat s P kódem, který je pro běžné uživatele zakódovaný pomocí Y kódu (metoda Anti-Spoofing, viz kapitola 3.1.1.4). **Neautorizovaní uživatelé** mohou využívat standardní

polohovou službu (Standard Positioning Service – SPS), kdy přijímač pracuje pouze s C/A kódem.

po třech družicích. Byly vyvíjeny od roku 1990, ale první se dostala na oběžnou dráhu až v roce 2003. Výhodou oproti první generaci byla zejména jejich zvýšená životnost, která je plánována na sedm let oproti dvěma až třem rokům u první generace, což se ale stále nemůže rovnat životnosti družic systému GPS. Nejvýznamnější funkcí byla podpora druhého civilního signálu, což umožnilo zavádět ionosférickou korekci.

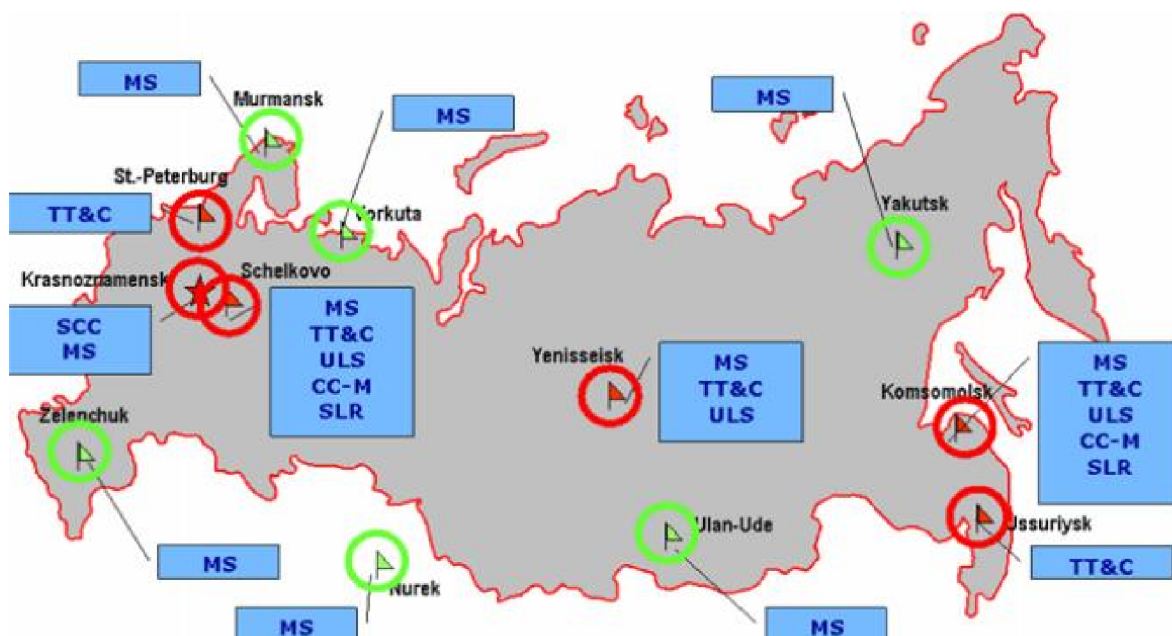
Mezi vybavení družic Uragan-M patří velmi přesné atomové hodiny s cesiovým oscilátorem, dvanáct antén pro vysílání radiových kódů v pásmu L, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, solární panely a baterie jako zdroj energie a odrazové pole pro využití Satellite Laser Ranging (SLR). V současné době (stav k 24. listopadu 2013) je vypuštěných 28 družic, z nichž je 24 v provozu, tři jsou v záloze a jedna je v testovací fázi. [15]



Obr. 3-10: Družice ruského systému GLONASS, Uragan-M

Nová generace družic nese název Uragan-K, plánovaná životnost má být 10 let a jejich váha se má zredukovat na 750 kg, což umožní jejich vypuštění po dvojicích. Největší novinkou oproti druhé generaci bude podpora CDMA, což umožní rozpoznávat více satelitů na stejné frekvenci jako u systému GPS (nyní má každý satelit vlastní frekvenci, viz kapitola 3.2.1.1).

je L5, což má být signál typu Safety of Life. Má podporovat modulaci CDMA a zajistit tak interoperabilitu s dalšími GNSS systémy (GPS, Galileo) stejně tak, jako frekvence L1CR.



nového systému GNSS je jeho nezávislost jak na americkém GPS, tak na ruském systému GLONASS, které mají pod správou armády těchto zemí, a tak může dojít k jeho neočekávanému vypnutí v průběhu válečných konfliktů. Galileo je proto primárně určen pro civilní využití.

První experimentální družice pojmenované GIOVE-A byla vypuštěna z kazašského kosmodromu Bajkonur v roce 2005 a druhá družice, GIOVE-B, v roce 2008.

přesnost v určení polohy (jednofrekvenční/dvoufrekvenční nebo dokonce třífrekvenční služba). Služba bude poskytována zdarma.

- **Komerční služba** (Commercial Service, CS) přidává k OS další dva signály o hlavní frekvenci 1278,75 MHz, které budou chráněny komerčním kódováním – přijímač bude muset znát přístupový klíč pro využití služby.
- **Služba „kritická“ z hlediska bezpečnosti** (Safety of Life service, SoL) využívá signály služby OS a navíc data o integritě – uživatel bude během deseti sekund varován, že dochází k nedodržení garantovaný limitů systému.
- **Vyhledávací a záchranná služba** (Search and Rescue service, SAR) je služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS-SARSAT, která umožňuje obousměrnou komunikaci.
- **Veřejně regulovaná služba** (Public Regulated Service, PRS) bude realizována dvěma šifrovanými signály s kontrolovaným přístupem. Budou ji moci využívat pouze subjekty určené státem, např. bezpečnostní složky státu.

Galileo rozlišuje signály obsahující navigační data a signály, které nenesou žádná data. Tyto signály jsou vzájemně fázově posunuty o 90° , což umožňuje jejich oddělený příjem. Modulace signálu byla volena tak, aby nedocházelo k interferenci s ostatními navigačními systémy ve stejném pásmu (signál L1). Modulace má název BOC(1,1). [19]

- Relativní
- Diferenční

Při měření na polygonu v Tetčicích byla použita relativní statická metoda. Data byla získána při následném zpracování, tzv. postprocessingu, kdy získáváme polohu aparatury až v kanceláři. Souřadnice byly určeny z fázových měření.

V dalších částech diplomové práce tudíž rozeberu pouze ty metody určování polohy, které byly reálně využity a použity při měření.

přijímačem a vysílačem. Přijímač pak musí začít nový cyklus s novou počáteční ambiguitou.

Uvažujeme-li přesnost zpracování signálu v přijímači na 1 – 2 % délky vlny, znamená to, že pomocí fázového měření můžeme určit polohu bodu s přesností na milimetry. [16]

Rozdíl fázových nebo kódových měření na nosných vlnách L1 a L2 vytváří lineární kombinaci **geometry-free**, která není ovlivněna chybou hodin přijímače a polohou družice a přijímače neboli jejich geometrií. Tuto kombinaci pak můžeme využít pro určení ionosférických modelů. [10]

Hodnota GPST se skládá ze dvou částí, a to pořadového čísla GPS týdne w_{GPS} a počtu sekund od počátku GPS týdne t_{GPS} . GPS týdny se počítají od neděle 6. ledna 1980 v 0 h UTC – číslo týdne bylo 0. Další počátky týdnů jsou vždy v 0 h UTC mezi sobotou a nedělí. Vzhledem k omezené délce binárního zápisu ve vysílaných efemeridách skončil 1023. týden 21. srpna 1999 v 24 h UTC a od tohoto data se počítají GPS týdny opět od nuly. K dalšímu přetečení týdnů dojde v noci na 25. května 2019. Tento problém má vyřešit nová verze CNAV navigační zprávy, kde dojde k vyčerpání počítadla jednou za 157 let (viz kapitola 3.1.1.3).

Systémový čas GPST zabezpečuje řídicí segment a vychází z realizace času UTC v Námořní observatoři USA ve Washingtonu. (U. S. Naval Observatory). Každá družice si udržuje pomocí vlastních atomových hodin svůj vlastní čas (kapitola 3.1.1.1). Tyto časy jsou pak sledovány pozemními monitorovacími stanicemi tak, aby rozdíl oproti GPST nepřekročil 1 milisekundu. Navigační zpráva pak obsahuje údaje pro korekci mezi družicovým časem a časem GPST. Tato korekce se vyjadřuje ve formě polynomu 2. stupně:

$$\Delta t_{SV} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r,$$

kde a_{f0} , a_{f1} a a_{f2} jsou koeficienty z navigační zprávy, t je GPS čas měření, t_{oc} je referenční okamžik pro korekci hodin a Δt_r je opravou relativistického efektu.

se nazývá GPS to Galileo time offset, zkráceně GGTO, a je určen s přesností 5 ns a méně.
[22]

Vliv troposféry se řeší pomocí modelů (např. model Saastamoinen nebo Hopfieldové), podle nichž se stanovuje, jak musíme upravit pseudovzdálenost, aby nebyla ovlivněna průchodem troposférou. Pokud je družice nízko nad horizontem a průchod signálu troposférou je delší, korekce je větší. Ve vertikálním směru může dosahovat hodnoty 2,3 metru, u družic na horizontu však může být až desetkrát větší.

Troposférická refrakce je dána vztahem

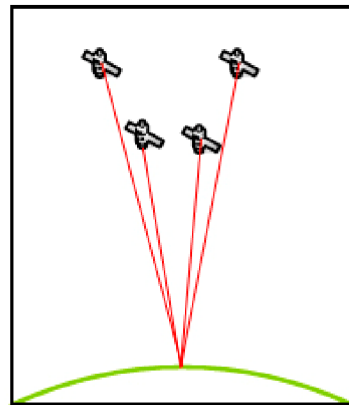
$$\Delta_{trop} = 10^{-6} \int N^{trop} ds,$$

kde N^{trop} je tzv. refraktivita, která je závislá na tlaku, teplotě a vlhkosti atmosféry. $N^{trop} = 10^6 (n - 1)$, kde n je index lomu. [23]

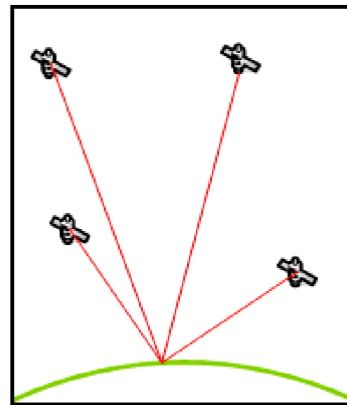
Předpokládá se, že se vliv troposféry vyloučí při vytváření diferencí zejména u kratších vektorů (< 10 km). Její vliv však závisí na mikroklimatu v okolí antény přijímače, a tak se někdy nemusí podařit vyloučit její vliv ani při krátkých vektorech.

- **VDOP** (Vertical Dilution of Precision) – faktor snížení přesnosti ve výšce.
- **TDOP** (Time Dilution of Precision) – faktor snížení přesnosti v určení korekce hodin přijímače.

Geometricky si můžeme hodnotu DOP představit na mnohostěnu, jehož hrany jsou tvořeny spojnici přijímače s jednotlivými družicemi. Čím je objem mnohostěnu větší, tím menší je hodnota DOP.



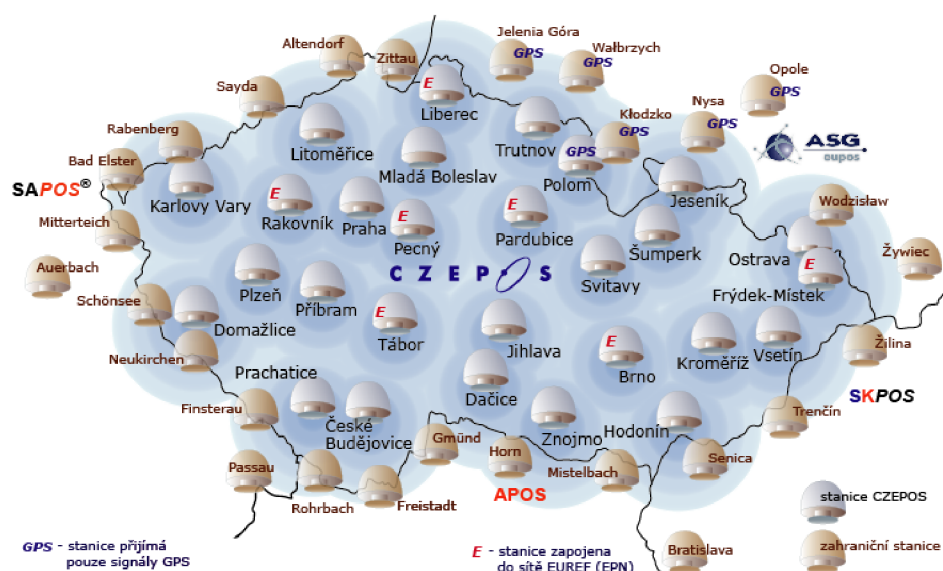
Vysoká hodnota DOP



Nízká hodnota DOP

Na území České republiky se můžeme setkat se třemi sítěmi:

- CZEPOS, viz kapitola 3.8.1
- TopNET spravuje firma Geodis Brno. Její počátky spadají do roku 2004, kdy byla zprovozněna první stanice v Brně. V současnosti je do sítě zapojeno 35 stanic – 32 stanic v ČR a 3 stanice z Rakouska. [24]
- Trimble VRS Now Czech spravuje společnost Geotronics Praha, byla vybudována v roce 2009. V ČR se nachází 24 referenčních stanic, do sítě dodává data i 8 stanic Trimble z Německa, pro lepší pokrytí západních Čech. [25]



Leica GRX 1200+ GNSS, které dokáží přijímat signál jak z GPS, tak z GLONASSu a jsou připravena pro příjem signálů z družic Galileo. Dále jsou všechny stanice ve správě ZÚ vybaveny anténou Leica AR 25 s prvky Dorne & Margolin, choke ring potlačuje multipath. Antény jsou dále opatřeny ochranným krytem a konstrukce je připojena k hromosvodu budovy. [23]

V rámci dat pro postprocessing poskytuje CZEPOS dvě služby:

- **RINEX s korekcemi GPS+GLONASS** (příp. pouze s korekcemi GPS) – data lze stáhnout z internetových stránek CZEPOS pro zadaný interval měření z předem zvolené stanice CZEPOS.
- **Virtuální RINEX s korekcemi GPS+GLONASS** (příp. pouze s korekcemi GPS) – data lze stáhnout pro zadaný interval měření ve standardním formátu RINEX z virtuální stanice o zadaných souřadnicích, virtuální RINEX se vygeneruje na základě síťového řešení.

pseudovzdáleností. Obsahuje také veškeré navigační zprávy, které aparatura přijme za dobu měření.

Soubor meteorologických údajů obsahuje hodnoty barometrického tlaku (mb), suché teploty vzduchu (°C) a relativní vlhkost vzduchu (%).

Systémy ICRS i ITRS jsou časově proměnné, ale platí mezi nimi převodní vztah. ITRS se mění kvůli jevům jako precese, nutace, pohybu pólů a kontinentů, ICRS zejména kvůli nestálosti kosmických objektů. ICRS je kvůli těmto jevům přesnějším systémem, než ITRS. [28]

Přesnost geocentrických souřadnic určených v systému WGS84 pomocí systému GPS je charakterizována středními kvadratickými chybami v zeměpisné šířce B a zeměpisné délce L

$$m_B = m_L < 0,4 \text{ m}$$

a v geodetické výšce

$$m_H < 0,5 \text{ m.}$$

Do této chyby je započítána jak odchylka určení počátku souřadnicového systému, tak chyba v určení rozměru sítě a měřické chyby. [29]

P2 (UPOT), P5 (BUČI), P6 (VODJ) a P7 (BAST). Byly vynechány body P3 (URAD) a P4 (TROJ). Jako referenční byla zvolena stanice TUBO nacházející se na střeše FAST VUT v Brně náležící do permanentní sítě referenčních stanic CZEPOS a vědecké sítě VESOG, zhruba 15 km od zájmové lokality. V této etapě tedy došlo k prvotnímu polohovému zaměření pěti pilířů a nemohly být ještě vyhodnoceny pohybové tendence jednotlivých bodů.

První etapu zaměřil Ing. Jiří Dvořák na podzim roku 2010, **druhou etapu** na jaře roku 2011. V první etapě zaměřil body P3, P5, P6 a P7, ve druhé etapě to byly body P2, P4, P5, P6 a P7. Pro měření zvolil jako Ing. Daniel metodu dlouhé statické observace po dobu 24 hodin s připojením na referenční stanici TUBO. U bodů P3 a P4 se jednalo o prvotní určení souřadnic, u bodů P2, P5, P6 a P7 se již daly pozorovat tendence pohybu.

Moje diplomová práce se tedy bude týkat **třetí etapy měření**, jež proběhla v létě roku 2013 na čtyřech pilířích – P2, P4, P5 a P6.

Pilíř č. 6 – Vodárna (VODJ)

Pilíř č. 6 se nachází v blízkosti velmi frekventované silnice druhé třídy č. 394 spojující ivančický region s dálnicí D1. Z důvodu velkého provozu a malé vzdálenosti od silnice docházelo během observace k různě velkým otřesům od projíždějících automobilů. Od centra Tetčic je vzdálen asi 1 km severním směrem.

Data se ukládají na CompactFlash kartu nebo do interní paměti (256 MB) a mohou se ukládat v intervalu od 0,05 do 300 sekund.

Anténa Leica AT504 GG je anténa typu Dorne & Margolin se zlatým eloxovaným choke ringem, jež dokáže přijímat signály z družic GPS a GLONASS. Potlačuje multipath efekt a stabilita fázového centra je lepší než 1 mm. Je vhodná pro přesné práce, zejména monitorování pohybu tektonických desek, zaměrování primární sítě a jako anténa referenčních stanic. [34]



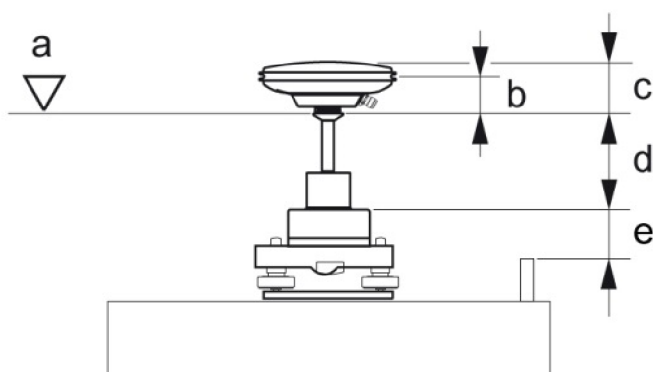
Obr. 4-16: Anténa pro příjem GNSS signálu Leica AT504 GG [34]

Přístroje řady SR500 přijímají signály pouze z družic systému GPS. Přijímač SR530 se liší od SR520 podporou technologie RTK, jinak oba pracují na dvou frekvencích a poskytují celkově 24 kanálů pro příjem (12 + 12). Přesnost pro dlouhé vektory, statickou metodu a při použití standardní antény, udává výrobce 5 mm + 0,5 ppm pro polohu, pro výšky uvádí dvakrát zhoršenou přesnost, tudíž 10 mm + 0,5 ppm. [35]



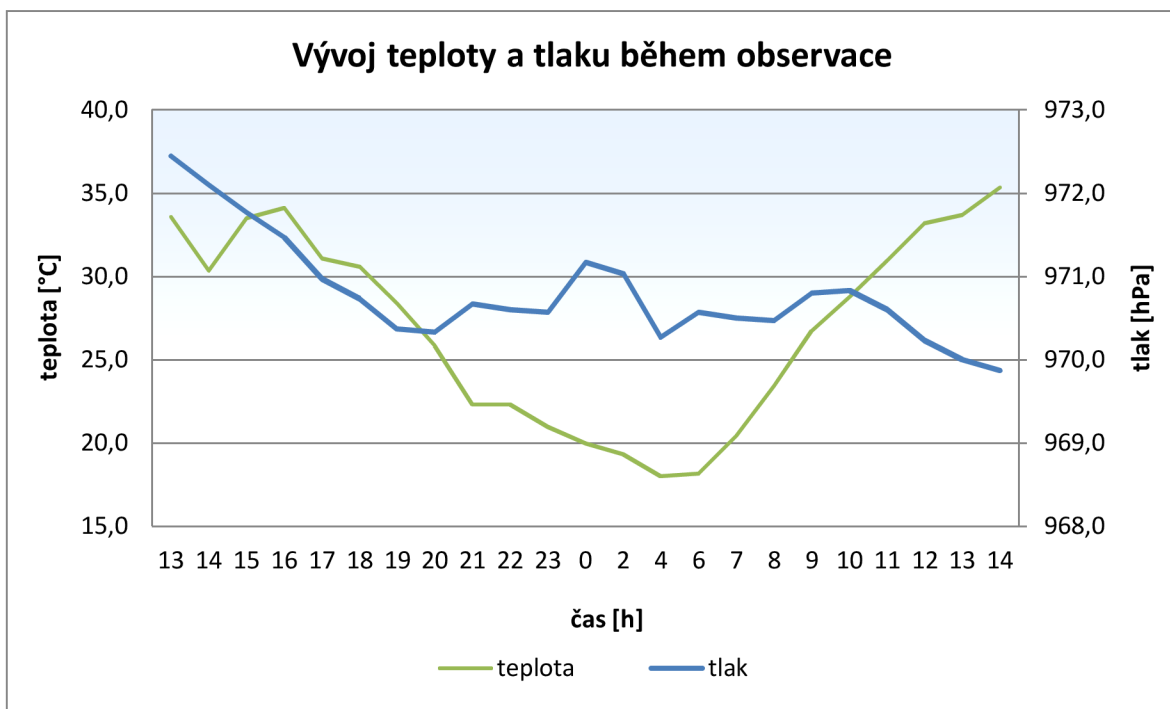
Obr. 4-17: GPS přijímač Leica SR520 [35]

Data se ukládají v intervalu od 0,1 do 60 sekund na PCMCIA ATA Flash RAM kartu nebo do interní paměti. Anténa Leica AT502 je standardní anténa bez choke ringu pro použití na frekvencích L1 a L2 vyrobená pro použití s přístroji SR520 a SR530.



můžeme stáhnout soubor ANTEX s kalibračními údaji pro většinu typů antén z webových stránek National Geodetic Survey. [36]

Do výpočtu pak vstupuje výška antény jako součet námi změřené hodnoty k vodorovné ploše třínožky a známé hodnoty od ní k bodu MRP. Správné hodnota výšky antény je nutná ke správnému vyhodnocení výšky určovaného bodu.

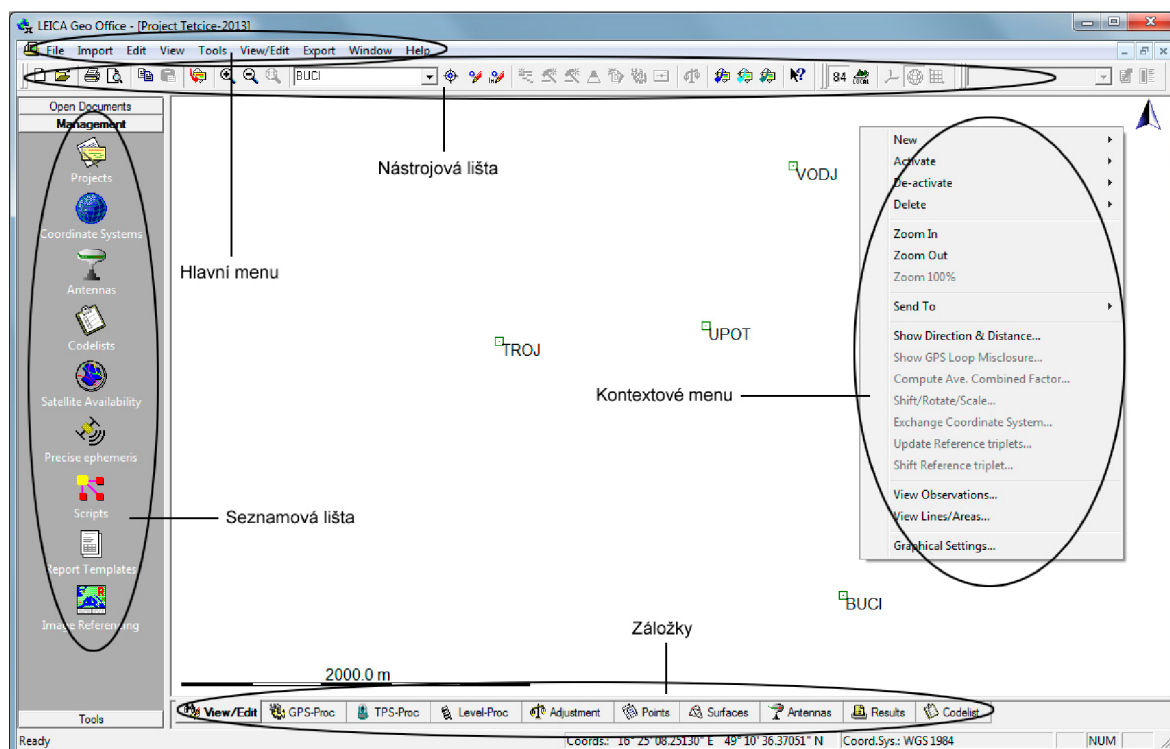


Vysoké teploty napomohly tomu, že nedocházelo k velkému vybíjení baterií. K výměně tak došlo pouze na bodu Bučín (sobota, 6:00), zřejmě z důvodu horšího stavu baterií, a na bodu U potoka, kde se měnily externí baterie (pátek, 15:30) z důvodu kompatibility napájecích kabelů pro záložní zdroj na bodě U vodojemu.

Vlhkost vzduchu nebyla měřena na všech stanoviscích z důvodu rozdílného vybavení, ale z dostupných dat můžeme vyčíst, že se přes den pohybovala mezi 40 až 55 %. Nejvyšší byla kolem čtvrté hodiny ranní, kdy jsme naměřili hodnoty 90 % u kapličky a 96 % na bodě U vodojemu. Atmosférický tlak byl na všech stanoviscích stálý, rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou nepřekročil 2hPa.

Měření bylo ukončeno v sobotu po čtrnácté hodině tak, aby byl na všech bodech zajištěn 24 hodinový observační interval. Nejdřív došlo k současné demontáži na bodech U vodojemu a Trojice v 14:01, poté bylo ukončeno měření na bodech Bučín a U potoka. Zapisníky z měření obsahující naměřené meteorologické údaje, zákres horizontu a náčrt zobrazující, ke kterému bodu je měřena výška antény, můžeme nalézt v příloze č. 3.

Uživatelské rozhraní programu se skládá z hlavního menu, nástrojové lišty, seznamové lišty, což je panel nástrojů a správy v levém sloupci, záložek, neboli programů, a kontextového menu, které se vyvolává pravým tlačítkem myši.



Obr. 4-19: Prostředí programu LGO

Než začneme počítat, musíme založit nový projekt s jedinečným názvem a navolit cestu, kam se projekt uloží. Dále můžeme navolit časové pásmo a maximální odchylku mezi dvěma různými řešeními pro polohu i výšku.

Další částí výpočtu je import dat. Data z aparatur byla nahrána v surovém formátu Leica („System 1200/GPS900 raw data“ a „GPS500/SR20 raw data“), data ze stanice TUBO ve formátu RINEX. Během import dat, můžeme nastavit, zda se mají sloučit intervaly, pokud došlo k přerušení statických observací nebo pokud máme data z referenčních stanic ve více souborech. Nesmíme zapomenout připojit importovaná data do našeho projektu. Nahráná data se nám pak graficky zobrazí v záložce View/Edit.

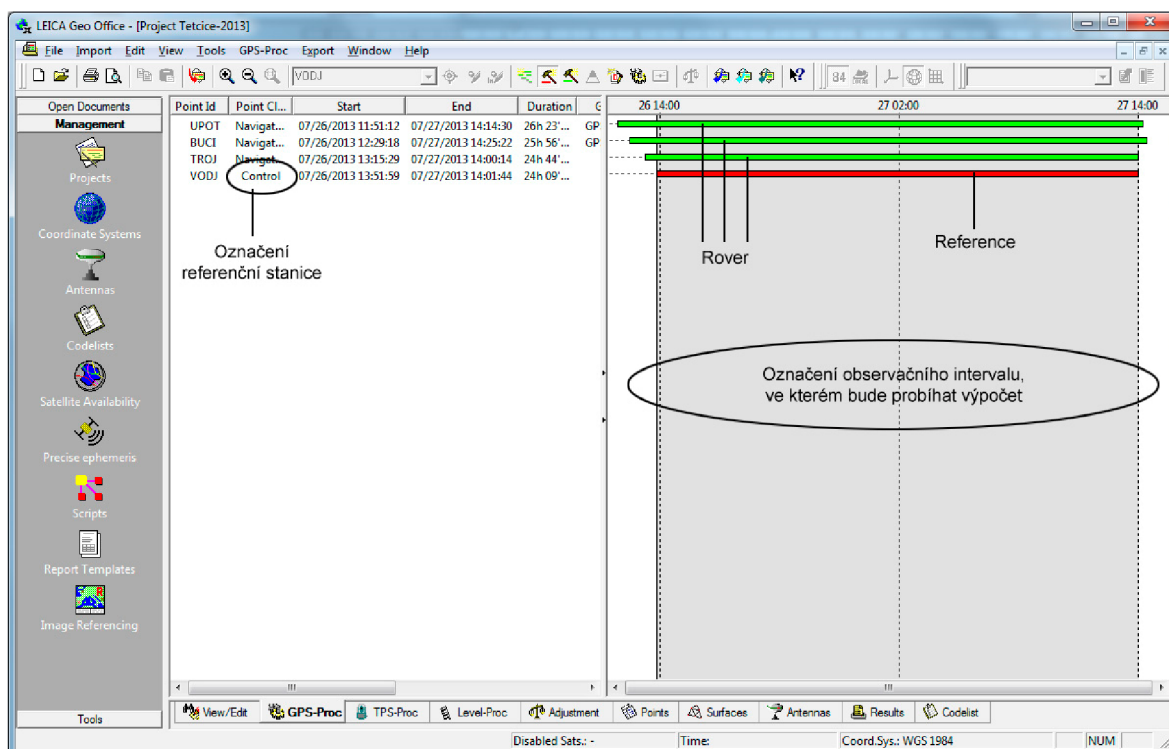
Posledním importem je nahrání přesných efemerid pro družice GPS i GLONASS, jež se dají stáhnout z internetu. Pro můj výpočet jsem použila efemeridy stažené z webových stránek http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html, které se pak ve výpočtu používají namísto efemerid vysílaných.

Dalším krokem je kontrola souřadnic referenční stanice, které jsou výchozím údajem pro všechny vektory. Správné souřadnice můžeme zjistit z webových stránek sítě referenčních stanic, v našem případě ze stránek CZEPOSu (<http://czepos.cuzk.cz>). Nesmíme zapomenout nastavit třídu tohoto bodu jako Fixed (pevný). Vzhledem k faktu, že

výsledné souřadnice budeme chtít v ETRS89, nastavíme typ souřadnic Geodetic (geodetické) a zkontrolujeme tedy zeměpisnou šířku, zeměpisnou délku a elipsoidickou výšku.

Pro přesné výpočty je nutné mít v programu hodnoty pro kalibraci antén. Těmito údaji jsou definice referenčního bodu antény, odsazení fázových center L1/L2, vzdálenost mezi referenčním bodem antény a místem měření výšky antény a korekční tabulka, která zobrazuje pohyby fázových center v závislosti na výškovém úhlu a azimutu družice. Pro všechny antény Leica jsou v LGO tyto hodnoty přednastaveny, popř. je můžeme vložit ručně či nahrát pomocí souboru ANTEX.

Po přípravě dat můžeme přistoupit k samotnému výpočtu vektorů, kdy určíme přesný relativní vztah mezi referenční stanicí a rovery. Po kliknutí na záložku GPS-Proc vidíme v levé části okna body, na kterých jsme observovali a v pravé části okna vidíme proužky, jež korespondují s časovým intervalem observace. Pokud je proužek šedý, obsahuje observační interval data pro postprocessing (v opačném případě by byl bílý). Nyní musíme určit referenční stanici, která nám délkou své observace určí interval, ve kterém se mohou počítat vektory. Referenční stanici určíme vybráním položky „Reference“ z kontextové nabídky, proužek se pak zbarví červeně. Ostatní body určíme jako „Rover“, jejich proužky budou zelené.



Obr. 4-20: Záložka GPS-Proc programu LGO

Důležitou součástí výpočtu je nastavení jeho parametrů v „Data processing parameters“. Na záložce General zaškrtneme „Show advanced parameters“, abychom mohli nastavit více parametrů.

Jelikož se jedná o etapové měření, bylo nutné spočítat novou etapu se stejnými parametry jako v předchozích etapách.

- Cut-off angle: 10° (data ze satelitů, které jsou pod tímto úhlem, nejsou zahrnuta do výpočtu)
- Ephemeris: Precise (vznikají post-processingem, k dispozici s asi 14 denním zpožděním, používají se pro přesné a vědecké práce)
- Solution type: Automatic (vybírání nejlepší dostupná fázová a kódová data do výpočtu)
- Frequency: L1/E1 a L2
- Tropospheric model: Hopfield
- Ionospheric model: Automatic

Po dokončení výpočtu, který spustíme tlačítkem „Process“ se nám automaticky otevře záložka „Results“, kde vidíme, zda byly vyřešeny ambiguity. Pokud ano, uložíme spočítané body pomocí „Store“ z kontextové nabídky. Pokud by ambiguity vyřešeny nebyly, museli bychom pomocí funkce „Analyze“ otevřít grafy odchylek, kde bychom mohli zjistit, která družice dodávala špatná data, např. kvůli překážce. V našem případě proběhl výpočet korektně, ambiguity byly vyřešeny na všech určených bodech. Následně si můžeme zobrazit jak souhrnný protokol, tak protokoly pro jednotlivé vektory. Nalezneme je v adresářové struktuře projektu ve složce „Protocol“. Výsledné protokoly třetí etapy jsou uvedeny v elektronických přílohách č. 4 a č. 5.

Nejvyšší rozdíl určených souřadnic je $-0,00012''$ v souřadnici φ , což je po přepočtu na délkovou míru zhruba 4 mm. Ve výšce se rozdíly pohybují od jednoho do tří milimetrů, což můžeme označit za velmi uspokojivý výsledek s tím, že souřadnice z TUBO jsou v tomto ohledu věrohodné a můžeme je tedy porovnávat s předchozími etapami. Na tomto místě připomenou, že přesnost statické metody při použití dlouhých vektorů je u námi použitých aparatur 3 až 6 mm + 0,5 ppm v poloze a 5 až 10 mm + 0,5 ppm ve výšce.

Samotné zpracování naměřených dat proběhlo bez problémů – na všech bodech a u obou typů řešení byly vyřešeny ambiguity, jež jsou potřeba pro jednoznačné určení přesné polohy (viz kapitola 3.4.1.). Ukazatel GDOP se na bodech BUCI a UPOT, kde byly použity antény s choke-ringem pro omezení efektu multipath a kde byly přijímány signály jak z družic GPS, tak z GLONASS, pohyboval mezi 1,1 až 4,8. Na bodu VODJ byl tento ukazatel horší, nejhorší hodnotou bylo 8,5. Nejhorší faktor DOP byl zaznamenán na bodu TROJ, kde dosáhl až hodnoty 25,3, což mohlo být způsobeno jednak použitím antény bez choke-ringu, tak použitím antény a přijímače pouze s podporou systému GPS a dalším, dosti výrazným vlivem, byla ne úplně vhodná poloha bodu, kdy dochází k zakrytí severozápadní části obzoru kapličkou a severovýchodní části obzoru vzrostlým stromem. Bez překážek byla pouze jižní část mezi azimuty 60° a 170° . Z tohoto důvodu bych doporučovala, aby se v dalších etapách měření používala na bodu TROJ anténa podporující GPS i GLONASS pro větší pokrytí signály z družic a anténa s choke-ringem pro omezení multipath efektu. 24 hodinová observace však poskytuje velký prostor pro dostatečnou změnu konfigurace družic a tím pádem dostatek dat pro přesné určení polohy bodu, kdy jsou eliminovány systematické chyby působící v určitých epochách observace.

Výpočetní protokoly pro řešení s referencí na bodu TUBO jsou k dispozici v příloze č. 4, výpočetní protokoly pro referencí na bodu VODJ jsou v příloze č. 5.

v nulté etapě (str. 66, [6]), i když na tomto bodě Ing. Daniel měření neprováděl (str. 64 a 65, [5]).

Ing. Dvořák dále neuvádí ve své práci podrobné protokoly z LGO, pouze tzv. Processing summary bez doplňkových dat jako je např. informace o použitém přijímači a anténě, výška antény, délka měření, parametry určovaného vektoru nebo informace o hodnotách DOP či počtu použitých satelitů. Přílohou jeho diplomové práce nejsou originální naměřená data, a proto nemůžeme určit, jak se k výsledným souřadnicím dopočítal, ani proč se jím uváděné souřadnice nulté etapy liší v řádu centimetrů. V textu diplomové práce se o přepočítání souřadnic nezmiňuje.

ETAPA 2: Jaro 2011, 16. - 17. 4. 2011, Ing. Dvořák						
č. bodu	název bodu	φ		λ		H_{el} m
		°	'	°	'	
P1	CIST					
P2	UPOT	49	10 22,98658	16	24 22,82605	340,4197
P3	URAD					
P4	TROJ	49	10 20,09704	16	23 24,15912	399,1977
P5	BUCI	49	09 33,08493	16	25 01,65925	480,5215
P6	VODJ	49	10 52,65753	16	24 47,40992	406,2512
P7	BAST	49	10 23,35804	16	25 14,30038	349,5167

Tab. 4-7: Výsledné souřadnice druhé etapy zaměřené Ing. Dvořákem, reference TUBO

č. bodu	název bodu	Etapa 2 - Etapa 0			Etapa 2 - Etapa 1		
		φ	λ	H_{el}	φ	λ	H_{el}
		"	"	m	"	"	m
P1	CIST						
P2	UPOT	-0,00035	-0,00061	-0,0561			
P3	URAD						
P4	TROJ						
P5	BUCI	-0,00039	-0,00064	-0,0514	-0,00005	-0,00006	-0,0117
P6	VODJ	-0,00028	-0,00071	-0,0456	0,00001	-0,00019	0,0023
P7	BAST	-0,00035	-0,00072	-0,0546	0,00003	-0,00017	0,0001

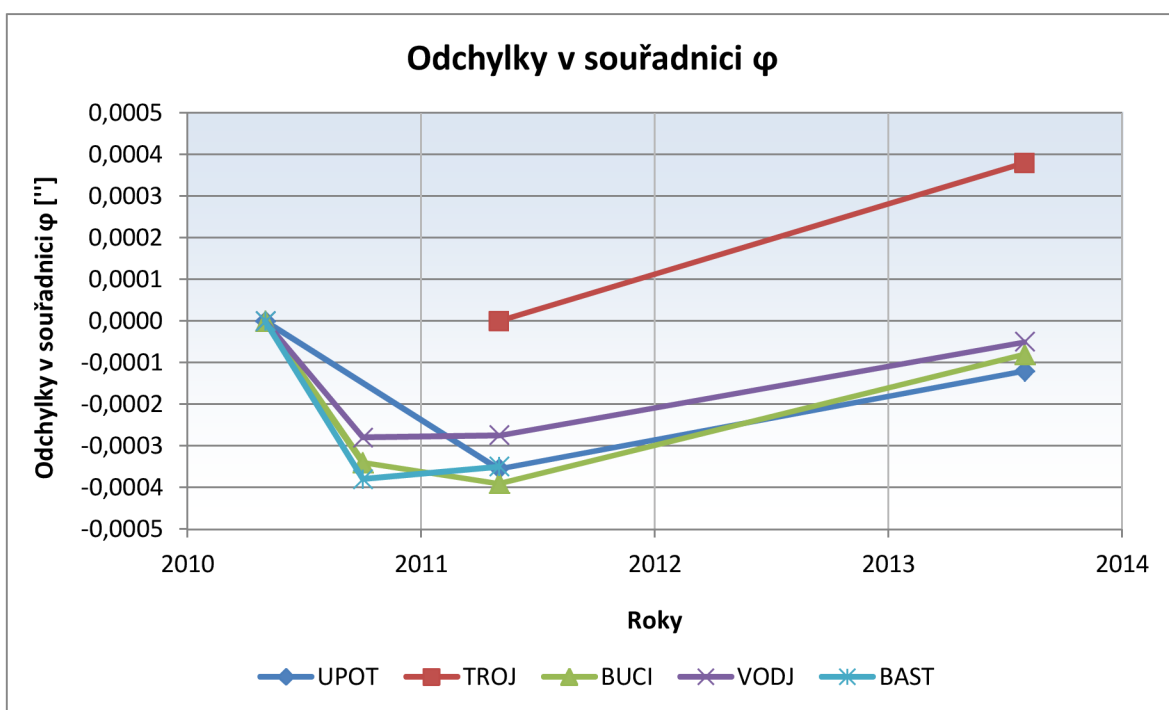
Tab. 4-8: Porovnání druhé etapy s předchozí etapou a nultou etapou, reference TUBO

č. bodu	název bodu	Etapa 3 - Etapa 0			Etapa 3 - Etapa 2		
		φ	λ	H_{el}	φ	λ	H_{el}
		"	"	m	"	"	m
P1	CIST						
P2	UPOT	-0,00012	-0,00059	-0,0255	0,00023	0,00003	0,0306
P3	URAD						
P4	TROJ				0,00038	-0,00038	-0,0125
P5	BUCI	-0,00008	-0,00071	-0,0297	0,00031	-0,00007	0,0217
P6	VODJ	-0,00005	-0,00070	-0,0170	0,00023	0,00002	-0,0286
P7	BAST						

Tab. 4-9: Porovnání třetí etapy s předchozí etapou a nultou etapou

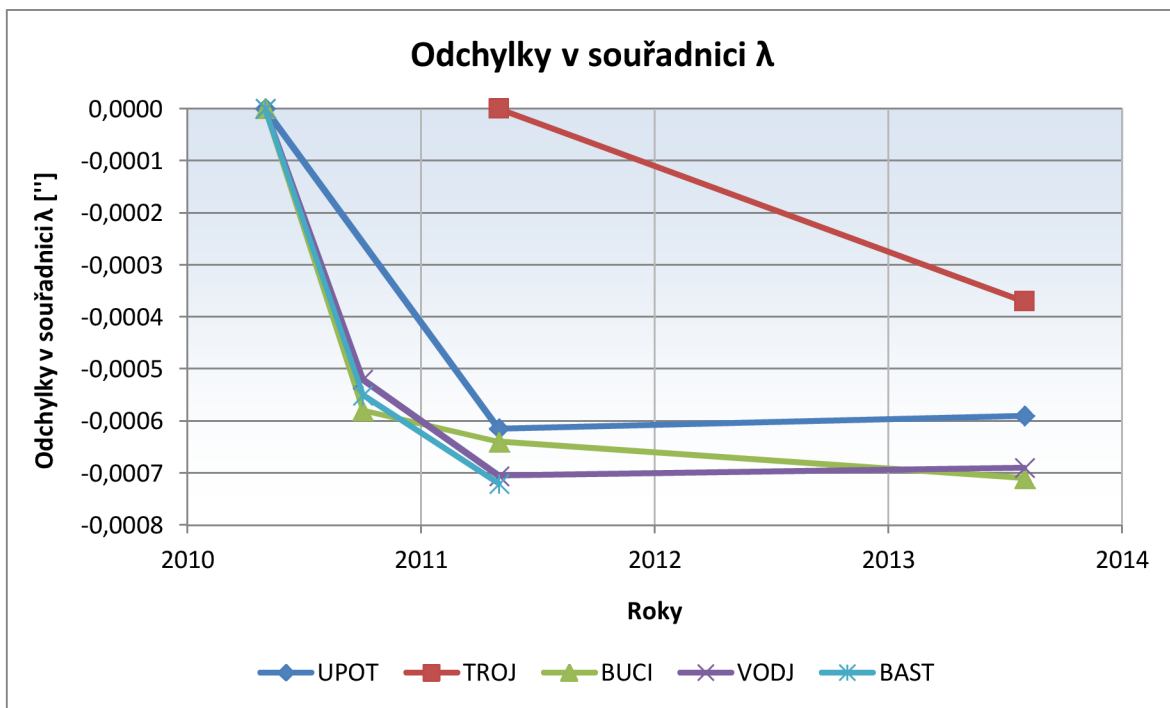
Na většině bodů proběhlo málo měření na to, abychom mohli s jistotou tvrdit, že na bodu dochází k posunům, či mluvit o různých tendencích pohybu. Na bodě CIST dokonce nemáme k dispozici žádná data – bod byl sice měřen v nulté etapě, ale z důvodu výpadku měření jak na CIST, tak na TUBU nebylo možné spočítat jeho souřadnice v ETRS89. Na bodu URAD byly prozatím určeny jen prvotní, vztažné, souřadnice. Bod TROJ byl měřen ve dvou etapách a bod UPOT ve třech. Nejvíce dostupných dat máme z bodů BUCI a VODJ, které byly měřeny ve všech uskutečněných etapách.

Pro lepší ilustraci výsledků jsme zpracovala pohyb bodů pro jednotlivé souřadnice do grafů, které jsou uveřejněny níže. V grafech jsou vyneseny odchylky od nulté etapy měření bodu, jež se nemusí shodovat s celkovou nultou etapou (u bodu TROJ).



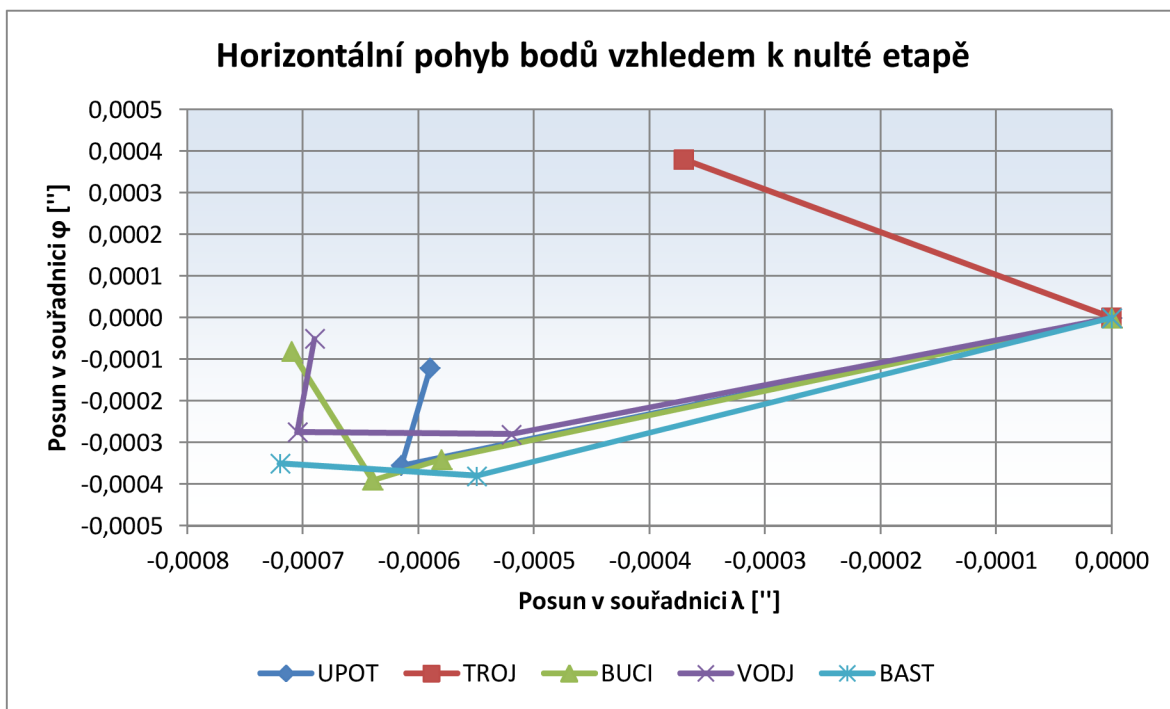
Graf 4-2: Odchylky v souřadnici φ, reference TUBO

Z grafu odchylek v souřadnici φ můžeme vidět, že došlo k většímu posunu mezi nultou a první etapou na všech měřených bodech, kdy největší odchylka byla -0,00038“ na bodu BAST, což je asi 12 mm. Druhá etapa pak nevykazovala prakticky žádné posuny vzhledem k první a ve třetí etapě se body částečně vrátily k souřadnicím z nulté etapy. Z dat vystupuje měření na bodě TROJ, který byl poprvé zaměřen až ve třetí etapě a máme tedy srovnání jen ze dvou měření, ale dle dostupných dat se pohybuje na opačnou stranu, než zbytek bodů, z čehož by se dalo usoudit, že se body nachází na dvou různých geologických celcích, které se pohybují protisměrně. Pro prokázání této domněnky je však třeba pokračovat v etapovém měření, jelikož máme zejména na tomto bodu málo naměřených dat.



Graf 4-3: Odchylky v souřadnici λ , reference TUBO

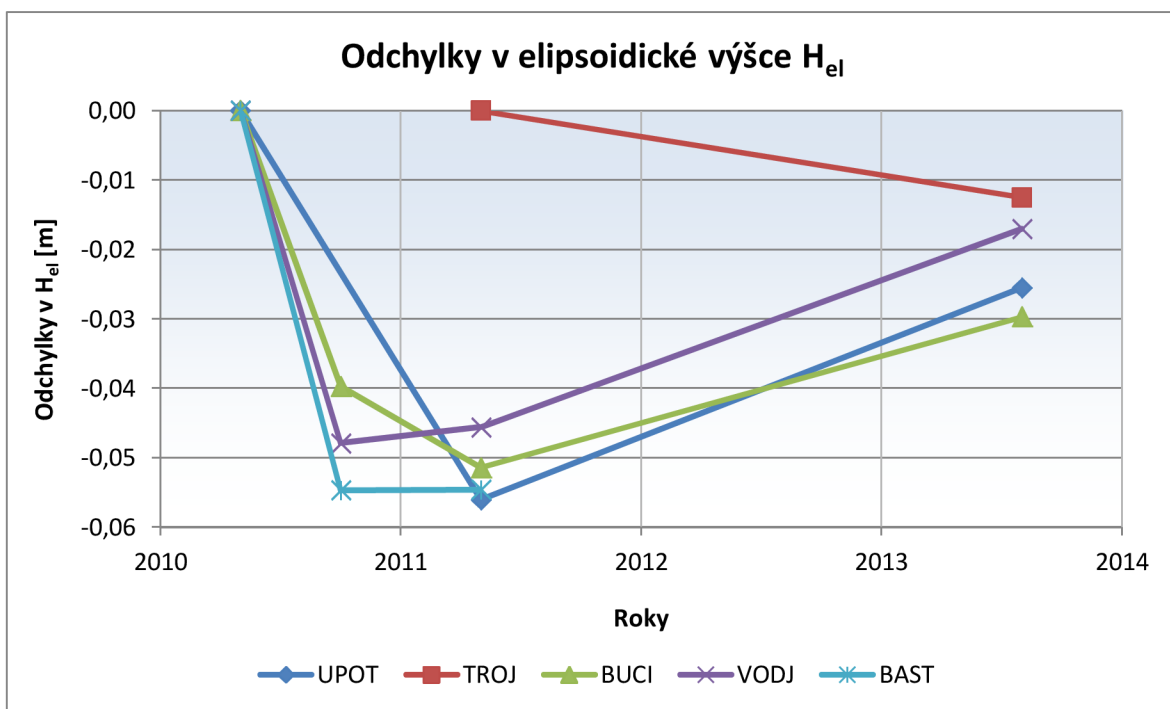
V souřadnici λ mají všechny měřené body podobnou tendenci ve směru pohybu. Opět vidíme větší rozdíl mezi nultou a první etapou (nejvíce -0,00058'' na bodu BUCI, což je 18 mm) a minimální posun mezi první a druhou etapou. Na rozdíl od směru pohybu v souřadnici φ , nedošlo v souřadnici λ téměř k žádnému posunu mezi druhou a třetí etapou. V tomto ohledu opět vystupuje z měření bod TROJ, kde dosahuje posun skoro jednoho centimetru.



Graf 4-4: Horizontální pohyb bodů vzhledem k nulté etapě, reference TUBO

Podíváme-li se na graf horizontální pohybu, který je vytvořen z odchylek v souřadnicích φ a λ od nulté etapy, zjistíme velice podobné tendence pohybu na bodech UPOT, BUCI, VODJ a BAST. Ty se nejdříve pohybovaly směrem na jihozápad (v první a druhé etapě), ve třetí etapě se však body UPOT, BUCI a VODJ pohnuly naopak severním směrem, přičemž se dostaly do téměř stejné pozice v souřadnici φ jako v nulté etapě. Na bodě BAST není měření ze třetí etapy dostupné.

Samotnou kapitolou je bod TROJ, který byl poprvé určen až ve druhé etapě. Z grafu můžeme vidět, že má mezi druhou a třetí etapou podobný směr pohybu jako bod BUCI, tudíž na severozápad a dokonce i stejně velkou odchylku v souřadnici φ mezi dvěma etapami.



Graf 4-5: Odchyly v elipsoidické výšce H_{el} , reference TUBO

Na grafu odchylek elipsoidických výšek je vidět klesající tendence na všech měřených bodech mezi nultou a první etapou a dále téměř žádný posun ve druhé etapě, kromě bodu BUCI, který klesl o více než 11 mm. Tento pokles byl zřejmě způsoben budováním oplocené lesní školky, kdy se v blízkosti pilíře pohybovala těžká technika, i když na bodu nebyly vidět žádné viditelné změny (str. 66, [6]). Ve třetí etapě naopak došlo ke zdvihu bodů UPOT, BUCI i VODJ, kdežto bod TROJ prokazuje mírný pokles. Největší rozdíl mezi druhou a třetí etapou je na bodu UPOT, kde odchylka dosáhla hodnoty 30,6 mm.

GNSS metoda má být pro určování výškových posunů pouze doplňkovou metodou k metodě přesné nivelace. Jelikož však dochází k nivelování pouze bodů v intravilánu obce a pilíře se nachází v jejím extravilánu, nemáme u většiny bodů přímé srovnání. Do nivelovaných profilů bývají zařazeny body UPOT a CIST, u kterého však nemáme

potřebná GNSS data. Bod URAD bývá zařazen do nivelačního měření také, ale zde máme k dispozici pouze jednu etapu GNSS.

Přímé srovnání tedy můžeme provést pouze u bodu UPOT. Dle dat kolegy Staňka, vykázal tento bod mírný zdvih v roce 2011 a dále klesl až o šest milimetrů od nulté etapy v zimě roku 2011. Na jaře 2012 byla jeho odchylka od nulté etapy necelé 2 mm a až do jara 2014 prakticky nevykazoval žádné posuny a držel se na konstantní hodnotě -2 mm od nulté etapy. Podobnou tendenci vykazuje i při určení výšky metodou GNSS, kdy na jaře roku 2011 klesl o 56 mm a následně vykázal zdvih v etapě zaměřené v létě 2013 o 30 mm, což je v součtu -25 mm od nulté etapy.

Pokud srovnáme výškové tendence v globálním měřítku, tak můžeme říct, že i přes odlišnou přesnost GNSS metody a přesné nivelace, se dají pozorovat podobné trendy v pohybu bodů. Všechny body zaměřené nivelací i GNSS vykazují v zájmovém území v dlouhodobém trendu klesající tendenci od nulté etapy.

Podzim 2010: 24. - 25. 9. 2010, Ing. Dvořák					Souřadnicové rozdíly od P6						
č. bodu	název bodu	φ		λ	H_{el}	$\Delta\varphi$	$\Delta\lambda$	ΔH_{el}			
		°	'	''	°	'	''	m	DEG	DEG	m
P1	CIST										
P2	UPOT										
P3	URAD	49	10	13,42394	16	24	21,30527	342,9020	-0,010898	-0,007251	-63,3469
P4	TROJ										
P5	BUCI	49	09	33,08498	16	25	01,65933	480,5182	-0,022103	0,003958	74,2693
P6	VODJ	49	10	52,65752	16	24	47,41010	406,2489			
P7	BAST	49	10	23,35802	16	25	14,30057	349,5014	-0,008139	0,007470	-56,7475

Tab. 4-11: Výsledné souřadnice první etapy zaměřené Ing. Dvořákem včetně souřadnicových rozdílů k bodu VODJ, reference VODJ

č. bodu	název bodu	Etapa 1 - Etapa 0		
		φ	λ	H_{el}
		''	''	m
P1	CIST			
P2	UPOT			
P3	URAD	0,00002	0,00010	0,0220
P4	TROJ			
P5	BUCI	-0,00004	-0,00012	0,0062
P6	VODJ			
P7	BAST	-0,00010	-0,00004	0,0011

Tab. 4-12: Porovnání první a nulté etapy, souřadnicové rozdíly, reference VODJ

Jaro 2011: 16. - 17. 4. 2011, Ing. Dvořák					Souřadnicové rozdíly od P6						
č. bodu	název bodu	φ		λ	H_{el}	$\Delta\varphi$	$\Delta\lambda$	ΔH_{el}			
		°	'	''	°	'	''	m	DEG	DEG	m
P1	CIST										
P2	UPOT	49	10	22,98660	16	24	22,82606	340,4187	-0,008242	-0,006829	-65,8325
P3	URAD										
P4	TROJ	49	10	20,09710	16	23	24,15898	399,1772	-0,009045	-0,023125	-7,0740
P5	BUCI	49	09	33,08494	16	25	01,65928	480,5211	-0,022103	0,003958	74,2699
P6	VODJ	49	10	52,65752	16	24	47,40991	406,2512			
P7	BAST	49	10	23,35804	16	25	14,30044	349,5174	-0,008139	0,007470	-56,7338

Tab. 4-13: Výsledné souřadnice druhé etapy zaměřené Ing. Dvořákem včetně souřadnicových rozdílů k bodu VODJ, reference VODJ

č. bodu	název bodu	Etapa 2 - Etapa 0			Etapa 2 - Etapa 1		
		φ "	λ "	H_{el} m	φ "	λ "	H_{el} m
P1	CIST						
P2	UPOT	-0,00005	0,00011	0,0050			
P3	URAD						
P4	TROJ						
P5	BUCI	-0,00008	0,00002	0,0068	-0,00004	0,00014	0,0006
P6	VODJ						
P7	BAST	-0,00008	0,00002	0,0148	0,00002	0,00006	0,0137

Tab. 4-14: Porovnání druhé etapy s nultou a předcházející etapou, reference VODJ

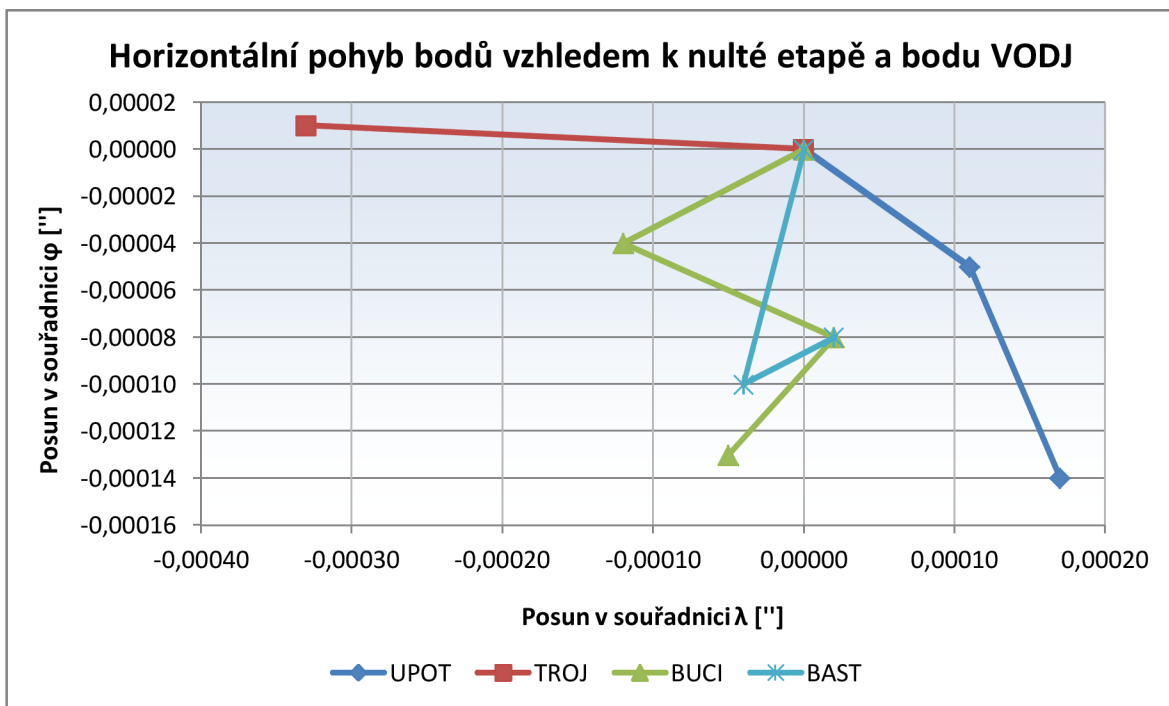
Léto 2013: 26. - 27. 7. 2013					Souřadnicové rozdíly od P6		
č. bodu	název bodu	φ ° ' "	λ ° ' "	H_{el} m	$\Delta\varphi$ DEG	$\Delta\lambda$ DEG	ΔH_{el} m
P1	CIST						
P2	UPOT	49 10 22,98674	16 24 22,82613	340,4471	-0,008242	-0,006829	-65,8327
P3	URAD						
P4	TROJ	49 10 20,09734	16 23 24,15866	399,1830	-0,009045	-0,023125	-7,0968
P5	BUCI	49 09 33,08512	16 25 01,65922	480,5446	-0,022104	0,003958	74,2648
P6	VODJ	49 10 52,65775	16 24 47,40992	406,2798			
P7	BAST						

Tab. 4-15: Výsledné souřadnice třetí etapy včetně souřadnicových rozdílů k bodu VODJ, reference VODJ

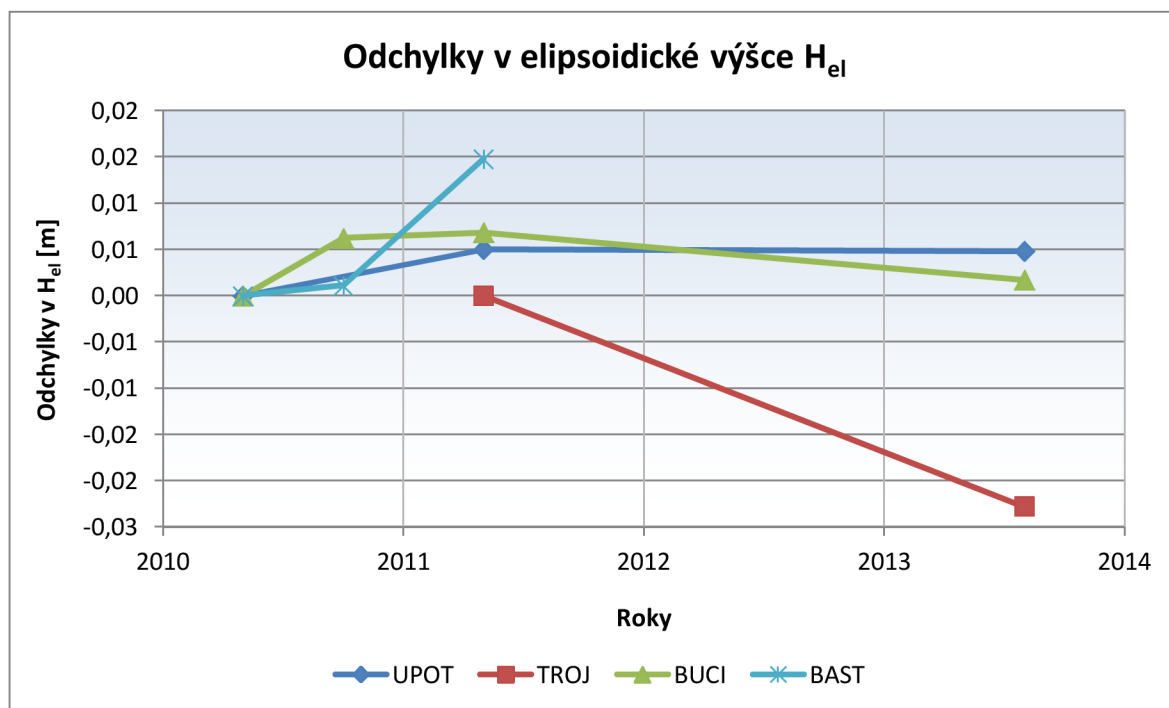
č. bodu	název bodu	Etapa 3 - Etapa 0			Etapa 3 - Etapa 2		
		φ "	λ "	H_{el} m	φ "	λ "	H_{el} m
P1	CIST						
P2	UPOT	-0,00014	0,00017	0,0048	-0,00009	0,00006	-0,0002
P3	URAD						
P4	TROJ				0,00001	-0,00033	-0,0228
P5	BUCI	-0,00013	-0,00005	0,0017	-0,00005	-0,00007	-0,0051
P6	VODJ						
P7	BAST						

Tab. 4-16: Porovnání třetí etapy s nultou a předcházející etapou, reference VODJ

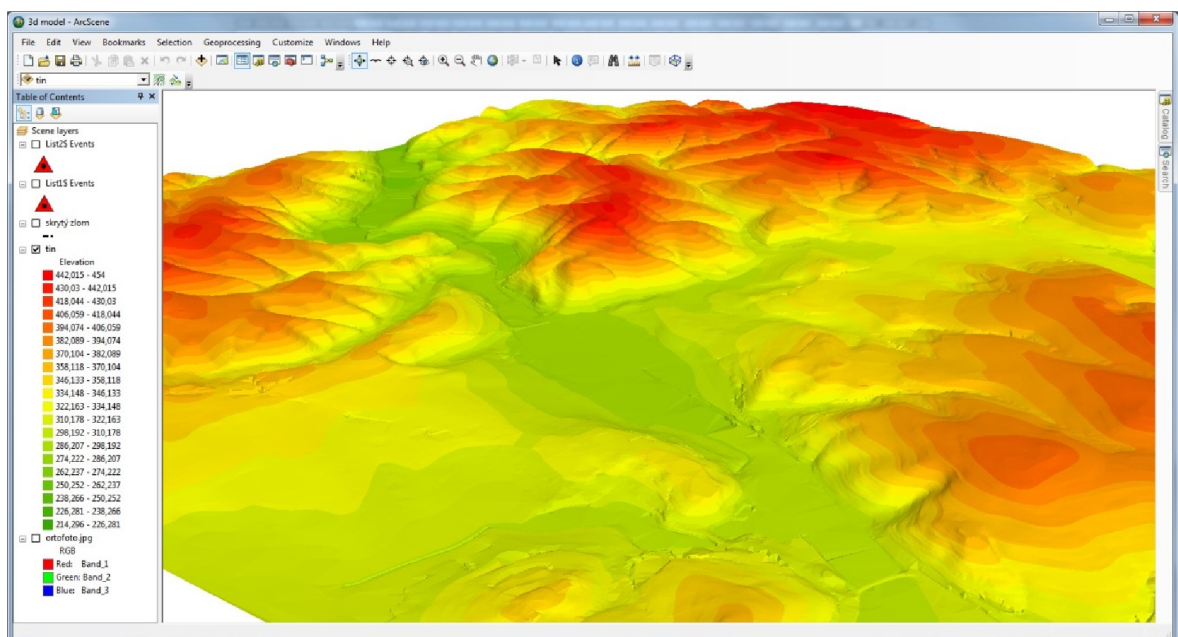
Pro lepší demonstraci výsledků uvádím graf s vyznačením změny polohy jednotlivých bodů a graf se změnou výšky jednotlivých bodů.



Graf 4-7: Horizontální pohyb bodů (změna souřadnicových rozdílů) vzhledem k nulté etapě, reference VODJ



Graf 4-6: Odchyly v elipsoidické výšce H_{el} od bodu VODJ, reference VODJ



Obr. 4-21: 3D model TIN v prostředí programu ArcScene

Z výškopisu (vrstevnice, terénní hrany, výškové kóty) jsem vytvořila model TIN (Trinagulated Irregular Network), nejprve ve 2D, následně ve 3D. Pro zvýraznění výškových poměrů a větší přehlednost jsem zdvojnásobila měřítko výšek. Rastrový model byl následně pokryt ortofotem zájmového území, které opět poskytl Zeměměřický úřad, a doplněn o značky měřických pilířů a průběh geologických zlomů.

Na 3D model zájmového území se můžeme podívat v příloze č. 8.

Dalším mapovým výstupem je **geologická mapa území**. Tato mapa ve 2D byla vytvořena za pomoci podkladových dat od České geologické služby a jejich mapového serveru v prostředí programu ArcMap, kde byla doplněna legenda, severka a další popisné informace. Výstupem, který byl vytvořen obdobným postupem, je **přehled měřické sítě**, kde jsou jednotlivé body zobrazeny na podkladovém ortofotu. V tomto případě jsou podkladová data převzata z prohlížečí WMS služby (WMS – Ortofoto) ČÚZK. Na přehledu měřické sítě jsou zobrazeny všechny pilíře, které se na území Tetčic nacházejí, i když na nich nebylo ve třetí etapě měřeno.

Geologická mapa území se nachází v příloze č. 7, přehled měřické sítě pak v příloze č. 1.

Poslední mapou je **mapa geodynamických jevů**. Tato mapa zobrazuje na podkladovém ortofotu pohyb sledovaných bodů, přičemž jsou rozdíly v poloze mezi jednotlivými etapami znázorněny v měřítku 1 : 1. Mapa byla vytvořena taktéž v programu ArcMap. Podklad tvoří ortofoto převzaté z WMS služby ČÚZK.

Mapu geodynamických jevů si můžeme prohlédnout v příloze č. 6.

Posledními grafickými výstupy v této práci jsou **místopisy bodů** nakreslené v programu Microstation Powedraft V8i. V příloze č. 2 uvádím místopisy pouze těch pilířů, na kterých bylo ve třetí etapě měřeno.

Jelikož se pohyby geologických celků dají správně posuzovat až po více letech, kdy není měření ovlivněno sezónními vlivy, je vhodné, aby měření v Tetčicích pokračovalo dalšími etapami. Není nutné provádět měření GNSS každým rokem stejně jako u metody přesné nivelace, ale měření např. ve dvouletých rozestupech nám dokáže poskytovat relevantní hodnoty pro určení tendencí pohybů na jednotlivých bodech. S větším množstvím dat také budeme moci pohyby predikovat, což při nynějším malém rozsahu dat není vhodné a při extrapolaci bychom se dopouštěli hrubých chyb.

- [14] GLONASS General Introduction. In: *ESA Navipedia* [online]. 7 December 2012 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_General_Introduction
- [15] Constellation status. INFORMATION-ANALYTICAL CENTRE, Korolyov, Russia. *Federal Space Agency: Information analytical centre of GLONASS and GPS controlling* [online]. 2005-2013 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: <http://glonass-iac.ru/en/GLONASS/>
- [16] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy* [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2013-11-25]. ISBN 80-248-0124-8. Dostupné z: <http://gis.vsb.cz/dokumenty/dns-gps/view>
- [17] GLONASS Ground Segment. In: *ESA Navipedia* [online]. 19 June 2012 [cit. 2013-11-26]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Ground_Segment
- [18] Navigační systém Galileo slaví historický milník, zaměřil svůj první cíl. *Mobil.idnes.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/prvni-cil-galileo-0ze-/navigace.aspx?c=A130312_215722_navigace_hro#utm_source=rss&utm_medium=feed&utm_campaign=mobil&utm_content=main
- [19] *Český kosmický portál: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity* [online]. 2013 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/>
- [20] Time Scales: UT1, UTC, TAI, ET, TT, GPS time. SCHLYTER, Paul. [online]. 2013-07-10 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://stjarnhimlen.se/comp/time.html>
- [21] Time References in GNSS. *ESA Navipedia* [online]. 10 January 2014 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Time_References_in_GNSS
- [22] Galileo and GPS ‘synchronise watches’: new time offset helps working together. *ESA* [online]. 3 May 2013 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo_and_GPS_synchronise_watches_new_time_offset_helps_working_together
- [23] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení* [intranet]. 2007 [cit. 2014-02-04].
- [23] Specifikace permanentních stanic CZEPOS. *Zeměměřický úřad* [online]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: http://czepos.cuzk.cz/_specifikace.aspx
- [24] O síti TopNET. *TopNET* [online]. 2012 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://topnet.geodis.cz/topnet/topnet.aspx>
- [25] Specifikace sítě. *Trimble VRS Now Czech | GEOTRONICS Praha, s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://www.geotronics.cz/specifikace-site>
- [26] Interfaces and Protocols. In: *ESA Navipedia* [online]. 3 December 2013 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: http://navipedia.net/index.php/Interfaces_and_Protocols

- [27] The International Terrestrial Reference Frame (ITRF). *International Earth Rotation and Reference Systems service* [online]. 9 Jan 2013 [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: http://www.iers.org/iers/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html?_nnn=true
- [28] ETRS-89. *Přesná transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK* [online]. 5. května 2009 [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: http://transformace.webst.fd.cvut.cz/Iframe/ETRS_iframe.htm
- [29] WGS-84. *Přesná transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK* [online]. 5. května 2009 [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://transformace.webst.fd.cvut.cz/WGS.htm>
- [30] Nová realizace systému ETRS89 v ČR. *ČÚZK* [online]. © 2013 [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Zememerictvi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR.aspx>
- [31] Boskovická brázda. In: *Wikipedie* [online]. 24. 1. 2014 [cit. 2014-02-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Boskovick%C3%A1_br%C3%A1zda
- [32] Kapitola 3: Geologická stavba České republiky. *Geologická stavba České republiky a vztah geologických procesů k životnímu prostředí* [online]. 8. 12. 2008 [cit. 2014-02-16]. Dostupné z: <http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola3.htm>
- [33] Český masiv. *Geologický park: Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze* [online]. © 2011-13 [cit. 2014-02-16]. Dostupné z: <http://www.parkgeo.cz/mapa.htm>
- [34] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica GPS1200 Series: Technical Data* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.edisurveys.co.uk/pdf/GPS1200_TechnicalData.pdf
- [35] LEICA GEOSYSTEMS AG. *GPS Surveying - System 500* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gps/gps_system500/brochures-datasheet/System%20500_Tech%20Data_en.pdf
- [36] Antenna Calibrations. *National Geodetic Survey* [online]. Jan 08 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>
- [37] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica GPS1200: System Field Manual* [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://gik.wilsig.tu.koszalin.pl/docs/lgik/GPS1200_SysField_en.pdf
- [38] GEFOS A.S. *Leica Geo Office: Návod pro rychlý start* [online]. Prosinec 2007 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Navody/CZ_Rychlonavody/LGO_rychlonavod.pdf
- [39] ArcGIS for Desktop. *Geografické informační systémy (GIS) - ARCDATA PRAHA* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/>

