



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

OPAKOVANÁ GPS MĚŘENÍ NA POLYGONU TETČICE.

REPEATED GPS MEASUREMENTS AT POLYGON TETČICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

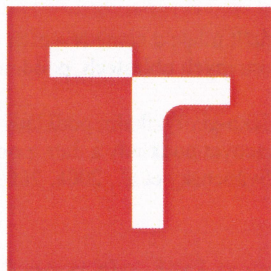
Bc. Karel Petrlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. RNDr. LUBOMIL POSPÍŠIL, CSc.

BRNO 2017



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	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
PRACOVISŤE	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Karel Petrlík
NÁZEV	Opakovaná GPS měření na polygonu Tetčice.
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016


.....
doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu




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

PODKLADY A LITERATURA

Dostupné data GPS z publikací, sborníků atd., využití údaje o zemětřeseních z databázy AV ČR, USGS, ÚFZ MU v Brně, geomorfologické podklady, mapy, informace o sesuvných oblastech, poddolování a jiné podklady vztahující se ke změnám na zemském povrchu.

Z publikací a dat GEOFONDU zpracovat geologicko-geofyzikální podklady mající vztah k recentní stavbě území Moravy. Z dostupných databází (ČÚZK, VÚZGK atd) zpracovat podklady a data z opakovaných nivelací, ZABAGED, ortofota atd. Využití práce Vyskočil, J. 1996, Pospíšil et al., a Švábenský et al., 2008, 2009, 2010 2012, 2013, 2014, Pospíšil et al., 2012, Roštínský et al., 2013

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

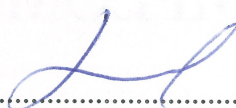
Zpracování daného tématu bude provedeno pro širší okolí polygonu Tetčice. Cílem práce je sesbírat výsledky měření a zpracování na bodech sítě MORAVA, měřených v okolí polygonu Tetčice a provést vlastní GPS měření na bodech polygonu Tetčice. Pro práci budou využity i archivní informace o vertikálních pohybových tendencích v daném území, s využitím údajů z nivelačních pořadů 1 řádu Státní nivelační sítě.

Výstupem budou mapy vektorů rychlostí, geodynamická mapa území Moravy a interpretační řezy přes aktivní tektonické zóny.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá epochovým GNSS měřením statickou metodou na polygonu Tetčice. Jejím cílem je potvrzení geologické aktivity zemského povrchu na území obce, způsobené tektonickým zlomem. V rámci práce byla v červnu 2016 provedena čtvrtá etapa observací pro zjištění horizontálních posunů na čtyřech betonových pilířích s hloubkovou stabilizací a zařízením pro nucenou centraci. Výsledkem jsou mapy vektorů rychlostí, získané zpracováním naměřených dat ze všech dosavadně vykonaných etap měření. Součástí práce je i teoretický základ pojednávající o geologických poměrech v lokalitě a o technologii globálních navigačních satelitních systémů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Boskovická brázda, geodynamika, GNSS, horizontální posun, tektonický zlom, Tetčice

ABSTRACT

This diploma thesis deals with epoch GNSS measurement by static method at Tetčice polygon. The main purpose is to confirm the geological activity of the Earth's surface on the territory of the village, caused by a tectonic fault. As part of the thesis, the fourth phase of observation was carried out in June 2016 to detect horizontal shifts on four concrete pillars with depth stabilization and forced centering equipment. Results are velocity vector maps obtained by processing the measured data from all the measurement phases that have been performed so far. The thesis also contains the theoretical basis of geological conditions in the area and a description of technology of global navigation satellite systems.

KEYWORDS

Boskovice furrow, geodynamics, GNSS, horizontal shift, tectonic fault, Tetčice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Karel Petrlík *Opakovaná GPS měření na polygonu Tetčice*. Brno, 2017. 71 s., 14 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.
Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. 5. 2017

Bc. Karel Petrlík
autor práce

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Lubomilu Pospíšilovi, CSc. a prof. Ing. Otakaru Švábenskému, CSc. za jejich připomínky, odborné rady a pomoc při měření. Poděkování patří také Ing. Michalu Witiskovi za seznámení s lokalitou, Bc. Kataríně Zajíčkové, Bc. Veronice Oboňové, Bc. Monice Lazoríkové, Bc. Ivetě Pospíšilové, Bc. Romaně Lokšové, Bc. Radoslavu Centovému, Bc. Matěji Malotovi, Bc. Marku Gabrlíkovi a Peteru Gunárovi za výpomoc při terénních pracích a mé rodině za podporu při studiu.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	LOKALITA.....	11
2.1	Tetčice a okolí	11
2.2	Geologie území.....	12
2.2.1	Boskovická brázda	12
2.2.2	Moravikum	15
2.2.3	Brunovistulikum.....	15
3	GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY.....	16
3.1	NAVSTAR GPS	17
3.1.1	Kosmický segment GPS.....	17
3.1.2	Řídící segment GPS	18
3.1.3	Uživatelský segment GPS	19
3.1.4	Podpůrný systém GPS.....	20
3.2	Statická metoda GNSS měření	22
3.2.1	Použité geodetické referenční systémy	22
3.2.2	Systematické faktory přímo ovlivňující měření	23
3.3	Využití GNSS pro sledování geodynamické aktivity zemského povrchu.....	26
4	TERÉNNÍ PRÁCE.....	29
4.1	Rekognoskace terénu	29
4.1.1	Observační pilíře pro měření technologií GNSS.....	31
4.2	Realizace 4. etapy GNSS měření.....	40
4.2.1	Přístrojové vybavení.....	40
4.2.2	Průběh observace.....	43
5	KANCELÁŘSKÉ PRÁCE.....	48
5.1	Předcházející etapy měření.....	48

5.2	Určení prostorové polohy jednotlivých pilířů	49
5.2.1	Výpočty souřadnic a výšek v Leica Geo Office 8.2 (LGO).....	50
5.2.2	Výsledky jednotlivých etap.....	51
5.3	Porovnání výsledků jednotlivých etap.....	54
5.4	Grafické zpracování.....	57
5.5	Zhodnocení dosažených výsledků	58
6	ZÁVĚR.....	59
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	63
9	SEZNAMY OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	64
9.1	Seznam obrázků.....	64
9.2	Seznam tabulek.....	65
9.3	Seznam grafů	65
10	SEZNAM PŘÍLOH	66

1 ÚVOD

Diplomová práce pojednává o charakteru pohybových tendencí zemského povrchu v oblasti Boskovické brázdy, konkrétně v okolí obce Tetčice, pod jejímž středem se nachází významný geologický zlom, který je součástí tzv. Diendorfsko – čebínského zlomového pásma.

Předmětem této diplomové práce (DP) je provedení další etapy měření pomocí technologie GNSS s dlouhou dobou observace, která slouží k určení horizontálních pohybů zemského povrchu. GNSS měření může být použito i jako doplňková metoda pro určení vertikálních pohybů, ale touto problematikou se za pomoci přesnějších měřických metod souběžně zabývá Bc. Katarína Zajíčková, tudíž v této práci jim není věnována zvýšená pozornost. Etapová měření v lokalitě probíhají od roku 2010 a mnou zpracovávaná etapa má pořadové číslo čtyři. Dalším úkolem je sjednocení a přepočítání dosavadně získaných dat, aby výsledky byly homogenního charakteru a vypracování přehledných vektorů rychlostí, na základě kterých lze znázornit vzájemné pohyby jednotlivých měřených bodů. Posledním cílem DP je připravení a úprava podkladů z doposud provedených měření a zajistit jejich archivaci a možnost využití pro další etapy měření, kterým se budou věnovat příští diplomanti.

V dané lokalitě byla v letech 2009 a 2010 vybudována měřická síť o 7 válcových betonových observačních pilířích s hloubkovou stabilizací osazených nucenou centrací pro umístění GNSS aparatur ([1], [2], [3], [4]). Tato síť byla zřízena na základě diplomové práce Ing. Michala Witisky, který v této oblasti provedl první měření, a následně se zapojil do budování sítě. 4. etapa byla uskutečněna na čtyřech pilířích.

DP je rozdělena do 4 hlavních kapitol, z nichž první stručně pojednává o zájmové lokalitě z hlediska zeměpisného i geologického a druhá se věnuje charakteristice globálních navigačních satelitních systémů. Třetí část je zaměřena na popis terénních prací včetně charakteristiky observační sítě. V poslední, čtvrté kapitole jsou rozebrány kancelářské úkony.

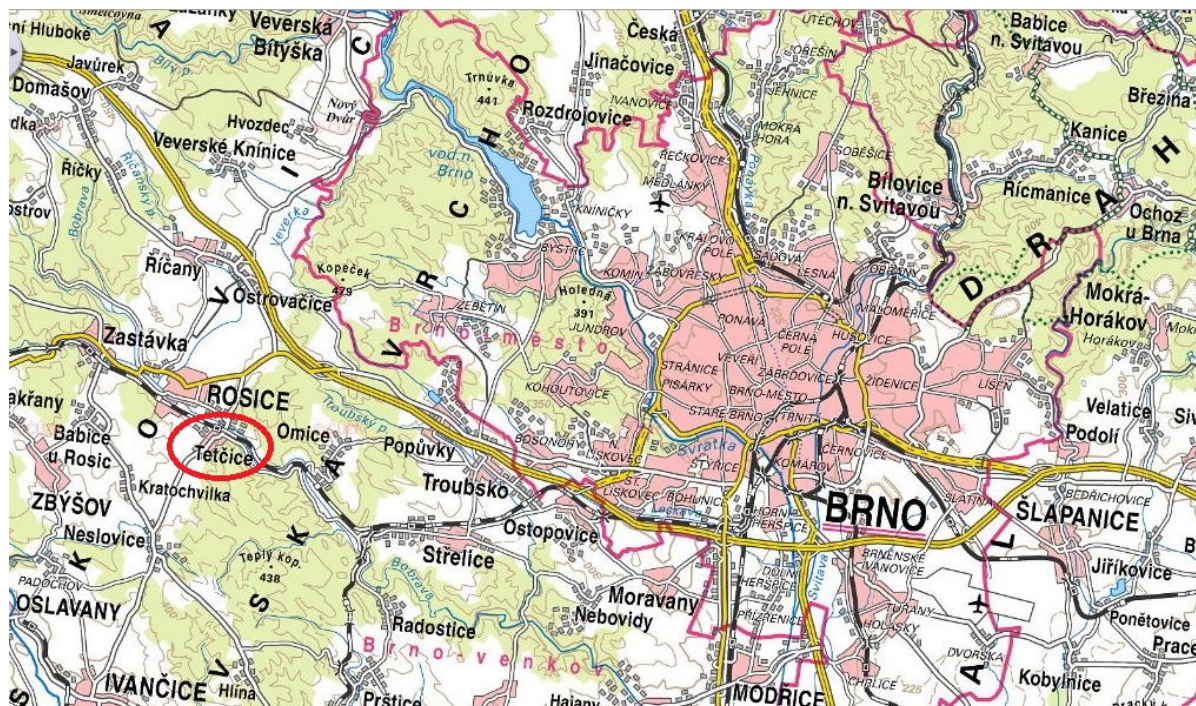


Obrázek č. 1: Pohled na obec Tetčice. V pravém okraji fotografie se nachází kopec Bučín.

2 LOKALITA

2.1 Tetčice a okolí

Obec Tetčice se nachází v přímém sousedství města Rosice, v okrese Brno – venkov v Jihomoravském kraji, přibližně 15 km západním směrem od města Brna. Leží v Boskovické brázdě na říčce Bobravě, na okraji stejnojmenného přírodního parku Bobrava, v nadmořské výšce 300 až 340 m. n. m.



Obrázek č. 2: Lokalizace obce Tetčice. [5]

Rozloha Tetčic je 15,15 km² a ke dni 1. 1. 2014 čítá obec 1098 obyvatel. První historicky dochovaná a ověřená zmínka o obci pochází z roku 1240. K jejím hlavním dominantám se řadí zalesněný kopec Bučín s nadmořskou výškou 444 m. n. m. a barokní kaple sv. Floriána, která byla postavena na návsi v roce 1764. [6]



Obrázek č. 3: Znak obce Tetčice. [6]

Obcí prochází frekventovaná státní silnice II. třídy číslo 394 spojující ivančický region s dálnicí D1, popřípadě se státní silnicí II. třídy číslo 602 z Brna do Jihlavy. Dalším významným dopravním prvkem obce je vlaková zastávka na lince S4, po níž pravidelně jezdí jak osobní vlaky, tak i rychlíky a nákladní soupravy.

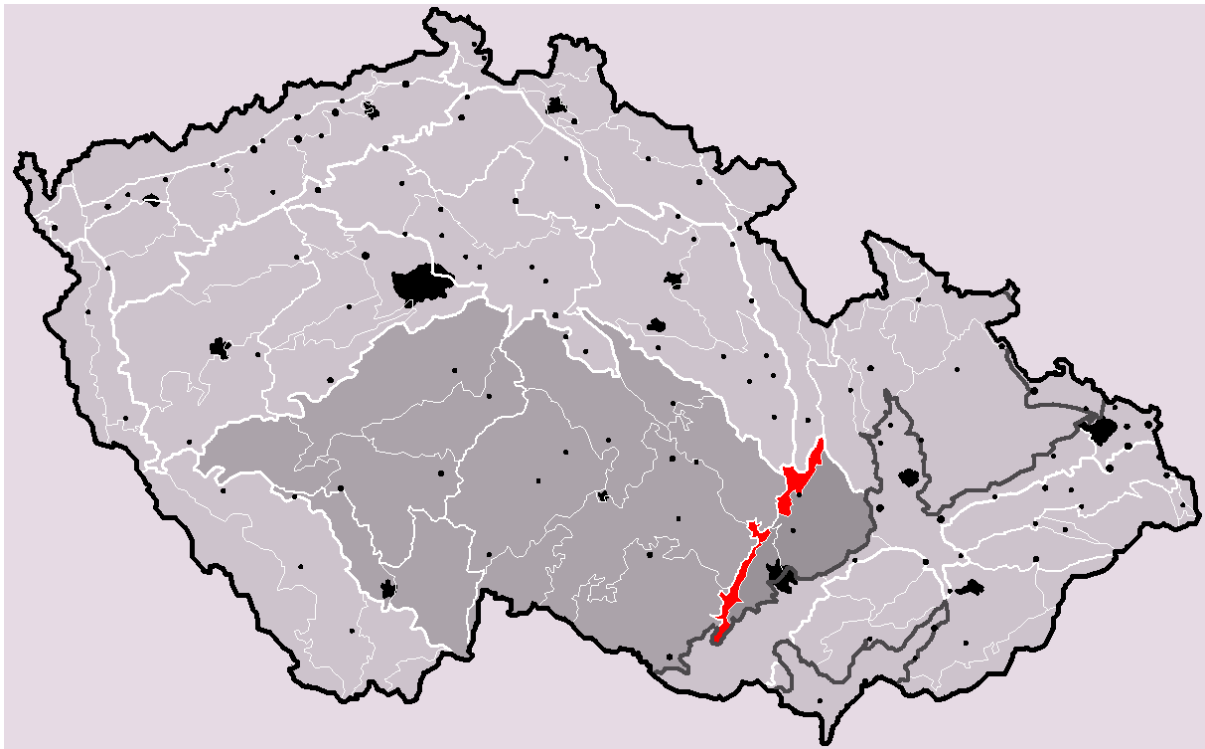
2.2 Geologie území

Česká republika se řadí mezi země s nejlépe prozkoumanou a zdokumentovanou geologickou stavbou svého území. Je to zapříčiněno tím, že území našeho státu bylo, co se do historie týče, osídlováno národy, které uměly využívat nerostné bohatství, a díky jeho těžbě shromažďovaly poznatky o geologické struktuře. Pro účely této práce uvádím jen stručný přehled geologických jednotek, které se nacházejí na území zkoumané lokality.

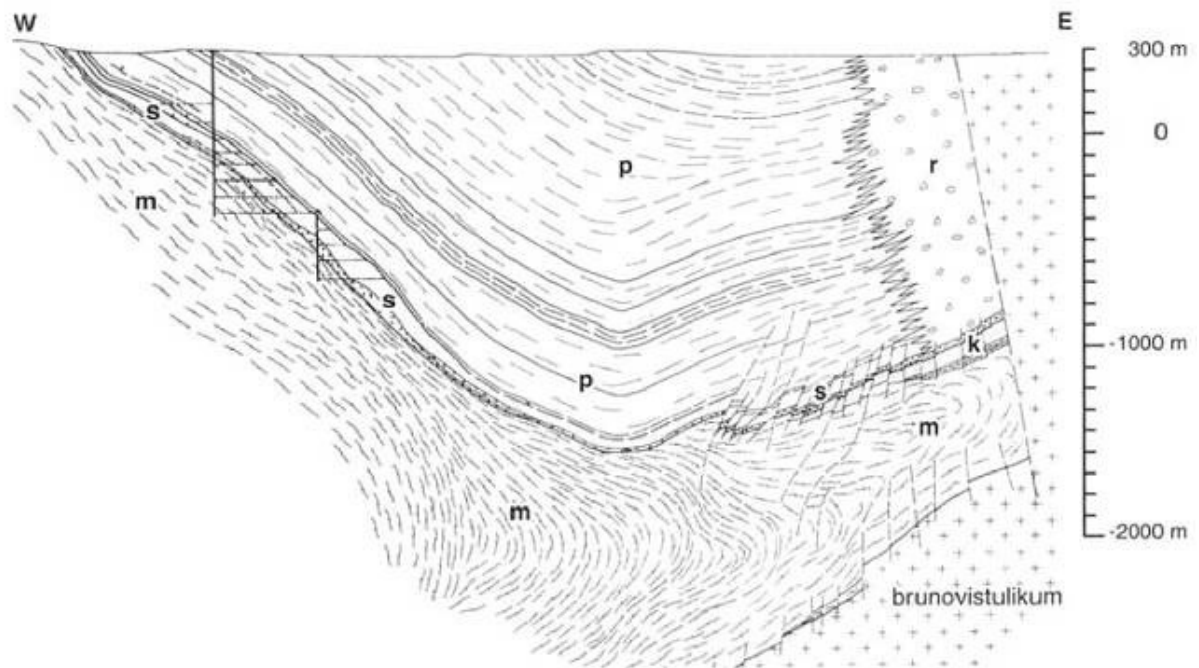
Předmětné území je na východě a jihovýchodě obklopeno brněnským masivem – *brunovistulíkem* a na severozápadě horninami *moravíka*. Z morfologického hlediska představuje klasickou příkopovou strukturu. Střední sklon brázdy je 4° 20' a průměrná výška 356,4 m. n. m., přičemž nejvyšším místem je kopec Nad Amerikou o výšce 556 m. Její povrch se dá klasifikovat jako nezalesněný pás údolí obklopený lesnatou krajinou. Napříč brázdou protéká řada vodních toků, například řeky Oslava, Jihlava, Rokytná, Svratka, Svitava nebo Bobrava, která protéká naším zájmovým územím. V okolí Oslavan, tzv. rosicko – oslavanské pánvi, jsou naleziště černého uhlí, ale těžba zde již neprobíhá. [7]

2.2.1 Boskovická brázda

Lokalita Tetčice se nachází ve střední části Boskovické brázdy. Jedná se o přibližně 100 km dlouhou a 3 až 10 km širokou propadlinu, táhnoucí se severojižně od Moravské Třebové přes Letovice, Boskovice a Rosice do Moravského Krumlova. Její východní zlom lze sledovat až do oblasti severního okraje Východních Alp – jako diendorfský zlom. Z větší části je pánev vyplněna usazeninami spodního permu, pouze v jižní části v okolí Rosic a Oslavan se nachází vrstvy sedimentů svrchního karbonu. Boskovická brázda se řadí mezi pánve limnického permokarbonu, což znamená, že je vnitrozemská a její usazeniny vznikaly v sladkovodních jezerech, močálech a rašeliništích. [8]



Obrázek č. 4: Poloha Boskovické brázdy v ČR. [7]

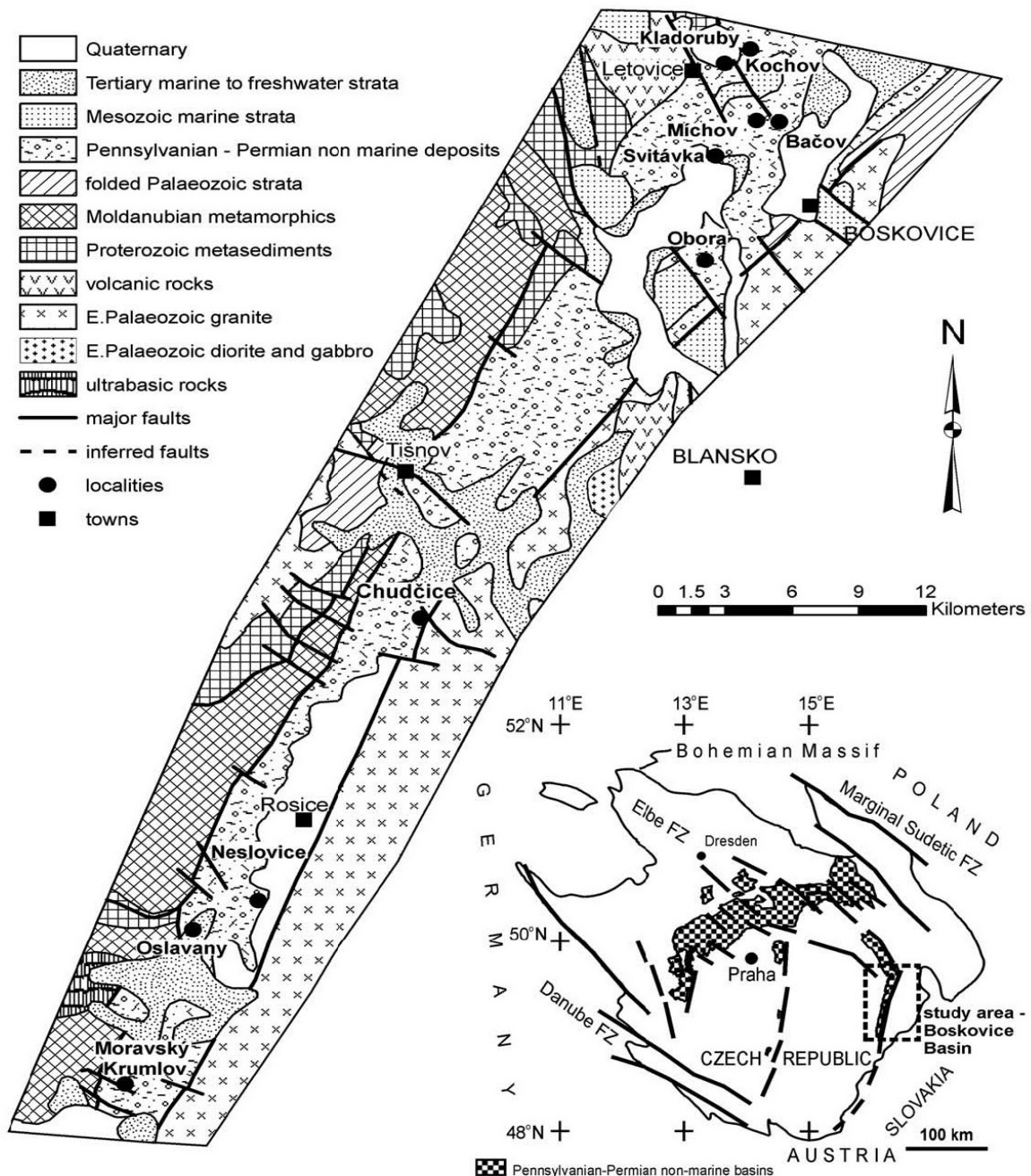


Obrázek č. 5: Příčný profil Boskovickou brázdou v rosicko – oslavanské části. [9]

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 obrázku je viditelné, že výplň brázdy je výrazně asymetrická. Východní hranici tvoří téměř vertikální zlom a nachází se zde hrubé rokytenské slepence. Naopak tomu západní hranice je pozvolnější s méně významnými zlomy a obsahuje balinské slepence krystalického materiálu. [9]

Boskovice Basin



Obrázek č. 6: Geologické složení Boskovické brázdy. [8]

2.2.2 *Moravikum*

Moravikum je část geologického celku zvaného **moravosilezikum**. Řadí se k němu krystalické jednotky tvořící jižnější dyjskou klenbu, jež leží z větší části na rakouském území a severnější svrateckou klenbu, která se nachází mezi Náměští nad Oslavou a jižním okolím Svitav. Patří k nim alochtonní celky, které byly při variské orogenezi nasunuté spolu s východní okrajovou částí **oldanubika** na autochtonní jádra, která jsou tvořena brunovistulíkem a devonem u Tišnova.

Významným prvkem moravika je bítýšská rula. Jedná se o různé typy ortorul (metamorfované granitoidy) s vloženými tělesy amfibolitů a ojedinělých karbonátů, které bývají výrazně postiženy tlakem. [9]

2.2.3 *Brunovistulikum*

Brunovistulikum se v okolí Brna na povrchu označuje jako **brněnský masiv**, v dyjské klenbě jako **dyjský masiv** a ve svratecké klenbě jako **deblínská skupina**.

Tato jednotka je charakterizována jako rozmanitý celek, jehož stavba je tvořena zejména různými magmatickými horninami od granitů až k bazickým a ultrabazickým členům nebo vzácněji přetvořenými vulkanity. Metamorfóza se v granitoidech vyznačuje hlavně tlakovým postižením a metasomatickými přeměnami minerálů. [9], [10]

Jeho rozloha je přibližně 550 km² a vypíná se mezi Boskovicemi na severu a Miroslaví na jihu, východně od Boskovické brázdy.

3 GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉMY

Globální navigační satelitní systém (dále jen GNSS) je překlad anglického Global Navigation Satellite System a jedná se o technologii umožňující, na základě zpracování signálů vysílaných družicemi, určovat prostorovou polohu přijímače těchto signálů. Dalšími funkcemi jsou přesný přenos času a určování stavu zemské atmosféry. Využívání systému není závislé na době a délce observace, atmosférických podmínkách, místě měření, ani na pohybu přijímače. Jedinou podmínkou je vzájemná viditelnost přijímače a minimálně 4 satelitů.

Struktura GNSS se dělí na tři složky:

Kosmický segment

Skládá se z družic (satelitů), které obíhají kolem Země na svých oběžných drahách. Každá družice vysílá signály, které slouží k určování její polohy v celosvětové geocentrické souřadnicové soustavě.

Řídící segment

Řídící segment koordinuje celkovou funkci GNSS. Udržuje jednotný čas, koriguje oběžné dráhy satelitů a zabezpečuje systém v ideálním provozuschopném stavu.

Uživatelský segment

Je tvořen pozemními přijímači, které dokáží přijímat signály vysílané družicemi a dále je zpracovávat. Patří sem například geodetické aparatury a turistické navigační přístroje. [11]

Do GNSS se řadí více satelitních systémů. Jako první, a v současnosti nejrozšířenější, byl vyvinut americký *NAVSTAR GPS* (NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System), dále ruský *GLONASS* (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma). Novějšími a méně využívanými, ale stále se rozvíjejícími, jsou evropský *Galileo* a čínský *Compass*. Vedle celosvětových GNSS existují i regionální autonomní navigační systémy, mezi které se řadí indický *IRNSS* a japonský *QZSS*.

Vzhledem k tomu, že při vypracovávání diplomové práce jsem využíval jen služeb *NAVSTAR GPS*, budu se v příštích odstavcích stručně věnovat pouze tomuto systému. Další částí této kapitoly bude seznámení se statickou metodou měření, která byla použita pro určování posunů a využití GNSS pro geodetický monitoring geodynamické aktivity zemského povrchu.

3.1 NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS (dále jen GPS) je v současnosti nejlépe propracovaný a plně funkční GNSS. Jeho vývoj započal v 70. letech 20. století pod taktovkou Ministerstva obrany USA, cílem bylo nahrazení dřívějšího systému *TRANZIT*, který přestával splňovat parametry pro nová využití satelitních technologií. Po celou dobu své existence je GPS spravován armádou Spojených států amerických. Umožňuje orientaci v celosvětovém souřadnicovém systému *WGS 84* a poskytuje informace o čase **GPST**. [12], [13]

3.1.1 Kosmický segment GPS

Kosmický segment je v plném operačním stavu ke dni 15. 3. 2017 tvořen 31 aktivními satelity (12 bloku IIR, 7 bloku IIR – M a 12 bloku IIF) a dalšími záložními družicemi, které mohou být v případě potřeby zprovozněny ve velmi krátkém čase. Satelity jsou umístěny na šesti orbitálních drahách, které jsou vůči rovině rovníku skloněny o 55° . Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° podél rovníku a na každou z nich připadne pět až šest družic. Jejich střední výška nad povrchem Země činí 20 183 km a doba oběhu kolem Země je 11 hodin 58 minut, což je právě polovina hvězdného dne. Ze Země je tedy možné pozorovat družici každý den na stejném místě, ale s tím rozdílem, že její východ bude o 4 minuty dříve, než v předcházející den. Dráhy jsou zvoleny tak, aby bylo možné, v jeden okamžik z každého místa na Zemi, vidět alespoň šest satelitů.

Každá družice je vybavena čtyřmi atomovými hodinami s vysokou přesností (cesiové nebo rubidiové), které udržují přesný čas a kmitočet. Dalšími součástmi jsou antény pro příjem a vysílání signálů, řídicí počítače, gyroskopy pro určení polohy v prostoru a systémy sloužící pro korekci dráhy družice. energii bere satelit z vysokokapacitních baterií, které jsou napájeny solárními panely umístěnými na stranách konstrukce. Hmotnost jedné družice je přibližně 1,8 tuny. [12], [14], [15], [16]



Obrázek č. 7: Družice GPS bloku IIR – M. [16]

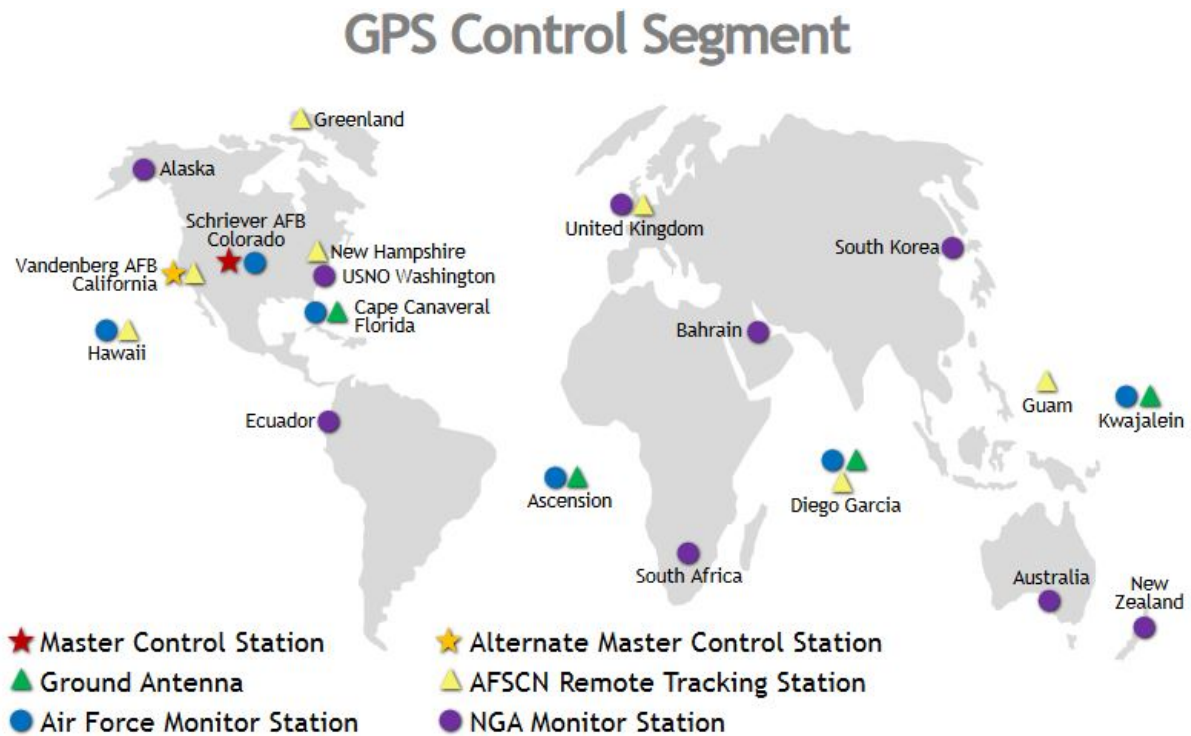
3.1.2 Řídící segment GPS

Řídící segment je tvořen více důležitými prvky. Mezi ně se řadí *hlavní řídicí stanice*, *záložní hlavní řídicí stanice*, *pozemní antény* a *síť monitorovacích stanic*. Jeho úkolem je sledování družic a určování parametrů jejich oběžných drah, dále synchronizace družicových oscilátorů, řízení manévřů družic, kontrola stavu baterií a atomových hodin, aktualizace obsahu navigační zprávy a předávání informací satelitům, které je mohou poskytovat ostatním uživatelům. [11]

Hlavní řídicí stanice se nachází v Colorado Springs a je centrálním řídicím uzlem GPS. Její funkcí je vytvářet navigační zprávy z dat obdržených od monitorovacích stanic a starat se o „zdraví“ a přesnost satelitní sítě. Navigační zpráva je odesílána zpátky na družice pomocí pozemních antén a obsahuje korekční parametry pro čas, almanach a vysílané efemeridy. Záložní hlavní řídicí stanice byla zřízena v Kalifornii a v případě poruchy je schopna ve velmi krátkém čase plnohodnotně zastoupit hlavní řídicí stanici.

Síť monitorovacích stanic je tvořena 15 – ti stanicemi po celém světě. Šest z nich spravují vzdušné síly USA a o zbylých 9 se stará National Geospatial – Intelligence Agency. Jejich úkolem je zaznamenávat atmosférická data, neustále přijímat a uchovávat signály od satelitů a tyto údaje v 15 – ti minutovém intervalu odesílat do hlavní řídicí stanice.

Pozemní antény slouží ke komunikaci se satelity a sestávají se z 11 – ti kontrolních a příkazových antén. Odesílají jim navigační zprávu od hlavní řídicí stanice nebo různé příkazy, například příkaz pro změnu oběžné dráhy družice. [12], [16]



Obrázek č. 8: Mapa rozmístění prvků řídicího segmentu GPS. [16]

3.1.3 Uživatelský segment GPS

Tento segment je tvořen množinou uživatelů, kteří disponují speciálními přijímači pro příjem a další zpracování signálů přijatých z družic. Přijímače mohou být různých druhů konstrukcí, stupňů vybavenosti a tříd přesnosti.

Přijímač jako takový je sestaven z více prvků. Skládá se z antény, předzesilovače, radiofrekvenční jednotky, křemenného oscilátoru, mikroprocesoru pro zpracování přijatého signálu, paměťového média, komunikační jednotky a zdroje napětí.

Přijímače dělíme podle způsobu výpočtů na kódové a fázové, podle počtu přijímaných pásem na jedno (L1), dvou (L1 + L2) a vícefrekvenční nebo podle počtu kanálů na jednonábové a vícekanábové. Dalším možným způsobem rozdělení je podle využívání na geodetické, navigační a přístroje pro časovou synchronizaci. [12], [13]

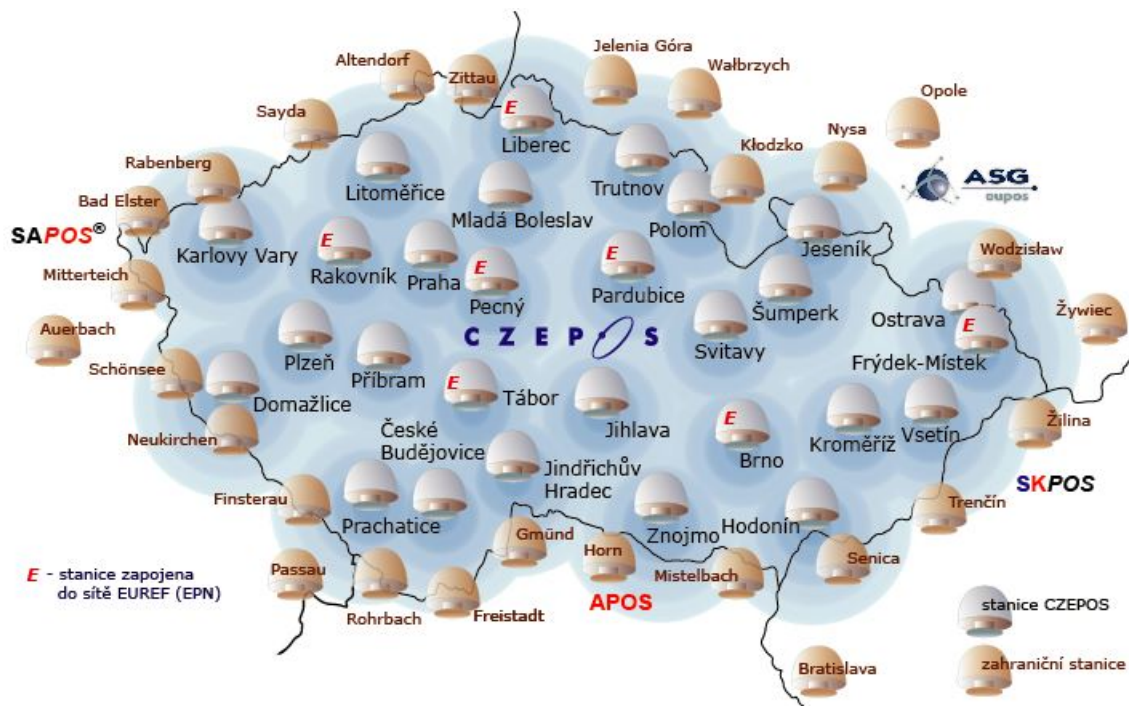


Obrázek č. 9: Uživatelský segment – GPS aparatura pro přesné geodetické aplikace.

3.1.4 Podpůrný systém GPS

Jedná se o segment, který pomáhá ke zpřesnění GNSS měření. Poskytuje uživatelům korekční data pro přesné určení polohy, které získává z vyhodnocování kontinuálních měření na permanentních stanicích. Jeho služby jsou většinou zpoplatněny.

V České republice se jedná především o síť stanic *CZEPOS*, která byla zřízena v letech 2004 až 2006. Je součástí geodetických základů ČR a jejím správcem a provozovatelem je **Zeměměřický úřad**. Ke dni 3. 4. 2017 čítá 28 stanic rovnoměrně rozmístěných po celé ČR a využívá též data 27 příhraničních stanic státních GNSS sítí sousedních států. Struktura sítě na českém území se dělí na 23 stanic *CZEPOS*, umístěných na budovách katastrálních úřadů nebo pracovišť a 5 externích stanic vědecké sítě *VESOG* (Brno – TUBO, Pecný – GOPE, Plzeň – PLZE, Ostrava – VSBO, Polom – POL1). Produkty *CZEPOSu* jsou korekce pro měření v reálném čase, i zpřesňující data pro postprocessingová zpracování. [17]



Obrázek č. 10: Síť permanentních stanic CZEPOS. [17]

Další síť permanentních stanic na území našeho státu jsou VESOG, TopNET, Trimble VRS NOW Czech, Georbit a by/S@T.

3.2 Statická metoda GNSS měření

Jedná se o relativní metodu určení polohy bodu, která je charakterizována základní přesností $5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$ pro horizontální složku a $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ pro výškovou složku. Při této metodě se poloha pozorovaných bodů určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož geocentrické souřadnice jsou známy. Je tedy nutné současně měřit na známém i určovaném bodě, aby bylo možné z naměřených dat realizovat výpočetní vektor z paralelně naměřených údajů. Doba měření se liší podle požadované přesnosti výsledků, může se měřit po dobu několika hodin, ale také dní nebo v případě permanentních stanic se pracuje s nepřetržitými observacemi. Výpočty neprobíhají přímo při měření, nýbrž výsledky se získají až následným zpracováním, tzv. postprocessingem. Statická metoda pracuje na principu fázového měření a díky využívání diferencí (jednoduchých, dvojitých a trojitých) poskytuje dostačující přesnost například pro pozorování tektonického působení na monitorované body nebo pro určování posunů a přetvoření. Výsledky lze převádět mezi různými souřadnicovými systémy pomocí transformačních algoritmů.

Systém GPS pracuje ve světovém souřadnicovém systému *WGS 84*, který je pevně spojen s těžištěm Země. Jelikož zemské kontinenty nemají stálou polohu a pohybují se, nejsou souřadnice bodů v tomto systému využitelné v delším časovém období. Tento systematický vliv se na evropském kontinentu odstraní, pokud se měření připojí na permanentní stanice (v mém případě síť CZEPOS), které mají souřadnice určené v evropském souřadnicovém systému *ETRS 89*. Tento systém je pevně spojen s euroasijskou kontinentální deskou, a proto dochází ke změnám v souřadnicích pouze v řádu milimetrů za rok. [15]

3.2.1 Použité geodetické referenční systémy

Závazné geodetické referenční systémy používané na území České republiky jsou definovány v *nařízení vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání*.

WGS 84

Globální geocentrický geodetický referenční systém, původně používaný pouze pro vojenské účely, je určen elipsoidem WGS84 se středem v těžišti Země. Kladná osa z směřuje k severnímu pólu, kladná osa x je v průsečnici rovin nultého poledníku a rovníku a kladná osa y je na obě předchozí kolmá ve směru doleva (90° východní délky a 0° šířky) a doplňuje systém

na pravotočivý. Systém byl vytvořen na základě měření více než 1500 stanic družicového navigačního systému TRANZIT, rozmístěných po celém světě. [18]

ETRS 89

ETRS je určen elipsoidem geodetického referenčního systému 1980 – GRS80, který je téměř totožný s elipsoidem WGS84. Systém nemá pevně definované souřadnicové osy, ty se otáčejí podle dle pohybů euroasijské kontinentální desky. V České republice byl tento systém budován v několika etapách. Prvním krokem bylo rozšíření evropského rámce EUREF na území bývalé Československé republiky určením souřadnic nejprve 6 – ti bodů (3 v ČR), a dále 12 – ti bodů (7 v ČR). Výsledkem byla síť NULRAD čítající 10 bodů. Následovalo vybudování sítě bodů DOPNUL (10 bodů sítě NULRAD a 166 nově určených bodů zahrnující i body České státní trigonometrické sítě). Takto vzniklá síť je postupem času doplňována. V současné době je využíván nový referenční rámec systému nesoucí název ETRF 2000, který vstoupil v platnost 2. 1. 2011. [19]

3.2.2 Systematické faktory přímo ovlivňující měření

Měření pomocí GNSS jsou obecně zatížena různými vlivy, které snižují přesnost určení polohy bodu. Tyto vlivy se dělí na chyby související s družicemi, chyby způsobené vlivem atmosféry na vysílaný signál, chyby přijímače a chyby spojené s místem měření. Všechny tyto příčiny snížení přesnosti se snažíme, pomocí správných postupů při měření a zaváděním různých korekčních prvků, eliminovat nebo alespoň snížit jejich vliv na minimální.

Chyby související s družicemi

Do této skupiny systematických vlivů patří excentricita fázových center antény družice, zpoždění signálu v obvodech aparatur na družicích, chyby družicových atomových hodin a přesnost určení dráhových parametrů družic. Důsledkem je ovlivnění přesnosti určení tranzitního času sloužícího pro výpočet vzdálenosti mezi satelitem a přijímačem (zpoždění v čase 1 nanosekundu znamená nepřesnost v určení vzdálenosti přibližně 30 cm). Tyto vlivy se dají minimalizovat zavedením *přesných efemerid* do výpočtů, což je produkt od International GNSS Service a jedná se o soubor zpřesňujících parametrů družic, které jsou spočítány z dat monitorovacích stanic, jež neustále pozorují všechny viditelné družice a měří k nim vzdálenosti (metody SLR, VLBI, DORIS). [13]

Chyby způsobené vlivem atmosféry na vysílaný signál

Vysílané signály prochází skrz nehomogenní vrstvy atmosféry, čímž je ovlivněna rychlost šíření vyslaných vln, a tím dochází k jejich zpoždění, případně k změnám jejich fáze. Tento vliv bývá způsoben troposférickou a ionosférickou refrakcí.

- **Troposférická refrakce**

Troposféra je nejhustší a nejnižší vrstvou atmosféry, sahající v závislosti na zeměpisné šířce do výšky 10 až 18 kilometrů nad zemský povrch. Je nedisperzním prostředím pro vlnění až do frekvence 15 GHz, tudíž ovlivňuje stejnou měrou všechny frekvence nosných vln GNSS systémů. Dochází zde ke zpoždění signálu, které je závislé na indexu lomu prostředí. Snížení vlivu troposféry se provádí pomocí korekčních modelů, například model *Saastamoinen* (pro Evropu) nebo *Hopfieldové* (pro Severní a Jižní Ameriku), které se zavádí do výpočtů ve zpracovatelských softwarech. Korekce je závislá na sklonu průchodu signálu troposférou, čím je dráha průchodu delší, tím má korekce větší hodnotu.

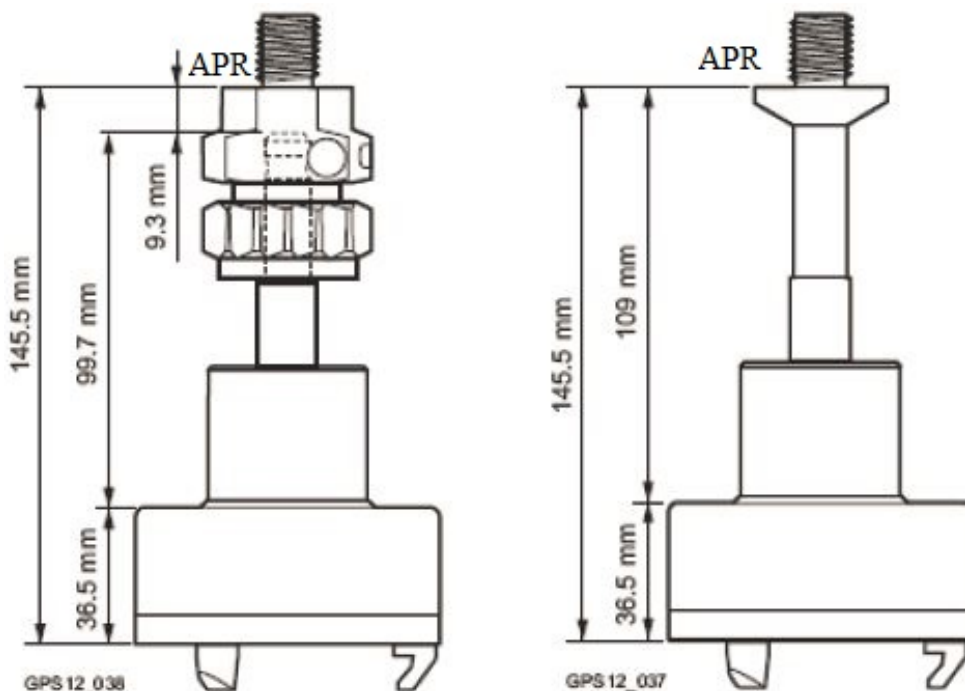
- **Ionosférická refrakce**

Ionosféra je ionizovaná část atmosféry, složená z neutrálního plynu, iontů a elektronů. Výška jejího spodního okraje je závislá na denní době, ve dne je přibližně 60 kilometrů a noci asi 150 kilometrů. Ve dne jsou její negativní účinky na měření vyšší, chyba v poloze může nabývat až hodnoty 15 – 20 metrů, zaleží na intenzitě sluneční aktivity. Ionosféra je disperzním prostředím, což znamená, že působí rozdílně na různé frekvence elektromagnetického vlnění, a proto v dnešní době vysílají družice signály nejméně na dvou frekvencích. Tím je umožněno vytváření diferencí, které poskytují značnou eliminaci vlivu ionosféry. Další způsob pro omezení jejího vlivu je zavedení modelů ionosféry do výpočtů, například model Klobucharův nebo model spočítaný vyhodnocovacím aparátem z měřených dat. [12], [18]

Chyby přijímače

Do této podskupiny patří chyba hodin přijímače, chybné uvážení horizontálních i výškových offsetů antény a variací fázových center antény přijímače. Jelikož samotný přijímač nemá ve své konstrukci atomové hodiny, musí se zavádět početní korekce času, při kterých v potřebných výpočtech figurují čtyři neznámé (X , Y , Z , t). Z tohoto důvodu musí být měření provedeno současně minimálně na čtyři družice, aby byl potřebný počet rovnic pro řešení neznámých. Dalším negativním vlivem neznalost přesné polohy fázových center antén

přijímače. Fázové centrum je bod, ve kterém anténa přijímá signál ze satelitů. Jeho prostorová poloha není stejná pro všechny přijímané frekvence a mění se v závislosti na elevačním úhlu a azimutu družice (variace fázových center). Pro zpracování měření je nutné znát jejich přesné polohy vůči bodu **ARP** – Antenna Reference Point, což je přesně fyzicky definovaný referenční bod antény. Těmto vlivům lze zamezit používáním kalibrovaných antén. [14]



Obrázek č. 11: Schéma vertikálních ofsetů aparatury Leica řady 1200.

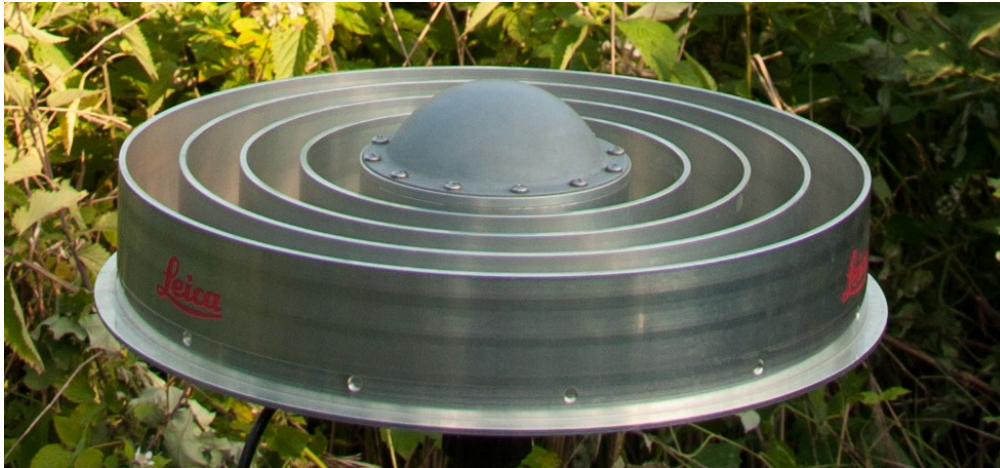
Chyby spojené s místem měření

Poslední složkou systematických vlivů, které mohou ovlivňovat GNSS měření, jsou chyby spojené s místem observace a chyby měřických úkonů. Do druhé jmenované položky se řadí chyby z centrace a horizontace přístrojů nebo chyby měření výšky antény nad určeným bodem, které se odstraní pečlivostí a nezávislou kontrolou prováděných úkonů. [13], [18]

Kvalitu měření ovlivňuje výběr místa observace. Zásadní vliv má množství překážek v obzoru, které omezují průchod signálu a přímou viditelnost na satelity. Vedle těchto faktorů je dalším problémem ještě tzv. **multipath efekt**, což v překladu znamená vícecestné šíření signálu. Tento efekt nastane, pokud GNSS přijímač zpracovává nejen přímo přijatý signál, ale současně i signál odražený od okolního prostředí, například od kovových a jiných lesklých předmětů nebo vodní plochy. Největší multipath hrozí u signálů z družic letících nízko nad obzorem, a proto se v aparaturách nastavuje elevační maska, která zajistí, že družice letící pod menším než nastaveným úhlem, nebudou do měření zahrnuty.

Snížení vlivu vícecestného šíření signálu lze prakticky zajistit více možnostmi:

- Vhodným výběrem stanoviště bez překážek v obzoru a rušivých předmětů v okolí.
- Delší dobou observace.
- Použitím antény s vhodnou konstrukcí pro potlačení multipath efektu (typu Choke – ring, Ground plates). [12], [14]



Obrázek č. 12: Anténa Leica AT504 GG, konstrukce typu Choke – ring.

3.3 Využití GNSS pro sledování geodynamické aktivity zemského povrchu

Pro rozsáhlejší území je využití GNSS technologií, jako geodetického monitoringu geodynamických jevů, efektivní technikou získávání potřebných dat pro vyhodnocování aktivity zemského povrchu. Tento geodynamický výzkum bývá realizován na geodynamických sítích, které jsou tvořeny vhodně zvolenými, trvale stabilizovanými body (například hloubkové pilíře s nucenou centrací nebo hřebové značky v pevném podkladu), na kterých probíhají buď permanentní nebo opakovaná etapová GNSS měření s využitím statické metody s dlouhou dobou observace. Jejich prostřednictvím je možné určovat vektory rychlostí změn prostorové polohy pozorovaných bodů, které bývají zpravidla rozmístěné podél průběhů předpokládaných geotektonických zlomů, a tím určovat pohyby bloků zemské kůry.

Do epochových geodynamických sítí v ČR patří ku příkladu síť Sněžník, Morava, Východní Sudety, Vysočina, Znojmo a Tetčice. Poslední dvě jmenované byly zřízeny Ústavem geodézie Fakulty stavební, VUT v Brně. [20]

Pro úplnost uvádím několik příkladů geodynamických sítí světového významu.

Sít' GeoNet – oficiální zdroj informací o seismickém hazardu na Novém Zélandu

Projekt GeoNet byl založen v roce 2001 za účelem vybudování a provozování moderního systému monitorování geologických rizik na Novém Zélandu. Zahrnuje síť geofyzikálních nástrojů, automatizovaných softwarových aplikací a kvalifikovaného personálu pro zjišťování, analýzu a reakci na zemětřesení, vulkanickou činnost, velké sesuvy půdy, tsunami a pomalou deformaci, která předchází velkým zemětřesením. Z geodetického hlediska je vybaven 36 permanentními GNSS stanicemi, hustou sítí stanic podél východního pobřeží od East Cape až po Marlborough a dalšími v blízkosti sopečných center. [21]



Obrázek č. 13: Schéma novozélandské GNSS monitorovací sítě. [21]

Sítě pro pozorování zlomu San Andreas v Kalifornii

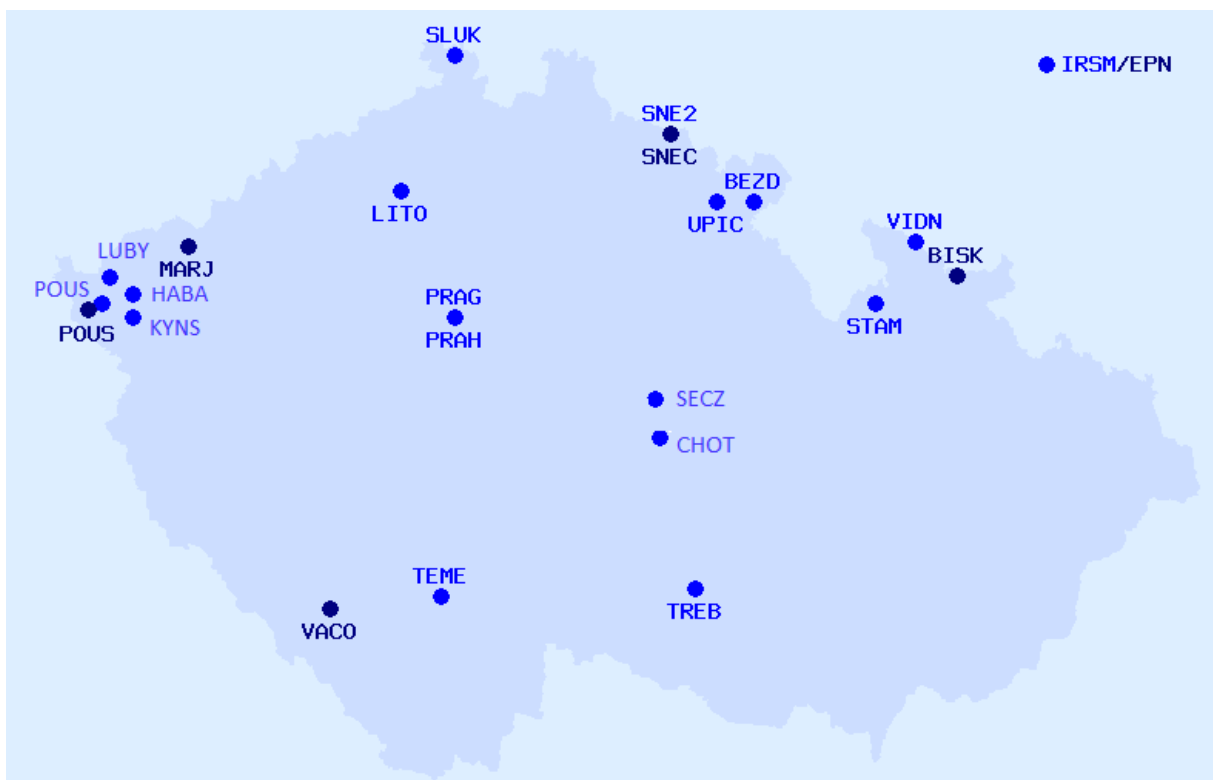
Vzhledem k velikosti tektonické zlomu, je do této činnosti zahrnuto více GNSS sítí, které pozorují a zaznamenávají jeho aktivitu.

Hlavní z nich je *Bay Area Regional Deformation Network (BARD)*. Jedná se o síť 32 permanentních stanic v Severní Kalifornii, jejichž primárním cílem je sledovat deformace zemské kůry a vyhodnocovat seismický hazard v oblasti zálivu u města San Francisco. Ze získaných dat jsou vypracovávány studie pro snižování nebezpečí zemětřesení. [22]

Dalšími jsou sítě provozované a spravované Centrem geologického výzkumu USA (USGS), patří sem například síť sestávající se z osmi GNSS stanic pracujících v reálném čase. Každá stanice vysílá data do zpracovatelského centra umístěného v hlavním kampusu USGS v Menlo Park. Síť poskytuje údaje pro vyhodnocení seismického nebezpečí, včasné varování před zemětřesením a monitorování pravděpodobnosti zemětřesení. [23]

GEOdynamic Network of the Academy of Sciences of the Czech Republic – GEONAS

Geodynamická síť GEONAS byla zřízena v roce 2001 za účelem provádění pravidelných geofyzikálních a geodetických observací pro geodynamické studie Českého masivu. Jejím zakladatelem a správcem je Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky, v. v. i.. V současné době čítá 22 permanentních stanic, které provádí neustálé observace, z nichž 5 náleží do evropské sítě permanentních stanic EUREF. Jejich naměřená data jsou zpracovávána vědeckým softwarem Bernese. [24], [25]



Obrázek č. 14: Schéma geodynamické sítě GEONAS. [21]

4 TERÉNNÍ PRÁCE

Práce v terénu proběhly po skončení letního zkouškového období na konci června roku 2016 a byly rozděleny do dvou částí. Jako první byla vykonána rekognoskace terénu včetně zajištění okolí observačních pilířů, a následně, po zapůjčení měřicích přístrojů a sehnání dostatečného počtu personálních sil pro hlídání aparatur, byla provedena 4. etapa GNSS měření.

4.1 Rekognoskace terénu

Tato část terénních prací byla společná pro dvě diplomové práce, mojí a Bc. Kataríny Zajíčkové, která v zájmové lokalitě provedla další etapy výškových a gravimetrických měření.

Obhlídka terénu se konala dne 16. 6. 2016 pod vedením Ing. Michala Witisky, jenž se, jako první, v dotčeném území věnoval pozorování pohybů zemského povrchu a s jehož pomocí byla v okolí Tetčic vybudována síť nivelačních bodů a observačních pilířů. Součástí obhlídky bylo seznámení se všemi pozorovanými body, čítajícími 7 hloubkových pilířů pro GNSS observace, vhodně rozmístěných podél předpokládaného průběhu tektonického zlomu a dva nivelační polygony pro výšková měření, vedoucí po asfaltové cestě podél železniční dráhy Jihlava – Brno, o celkové délce přibližně 2 kilometry.

Bohužel bylo shledáno, že okolí některých pilířů neumožňuje měření bez předchozí úpravy terénu a že několik nivelačních bodů je třeba vyhledat podle geodetických údajů, popřípadě vytyčením ze souřadnic. Jelikož se dva pilíře nachází v blízkosti vzrostlého porostu a menších náletových stromků, bylo nutné provést vysekání průzorů, které umožní kvalitní observaci a dále zajistit bezproblémový přístup pro transport aparatur na místo měření. Tyto nezbytné úkony byly následně zrealizovány dne 23. 6. 2016. Zbývající, doposud nenalezené měřické body se podařilo dohledat a u všech pilířů byly odstraněny překážky v obzoru.



Obrázky č. 15 a 16: Úprava okolí observačních piliřů při rekognoskaci terénu.

4.1.1 *Observační pilíře pro měření technologií GNSS*

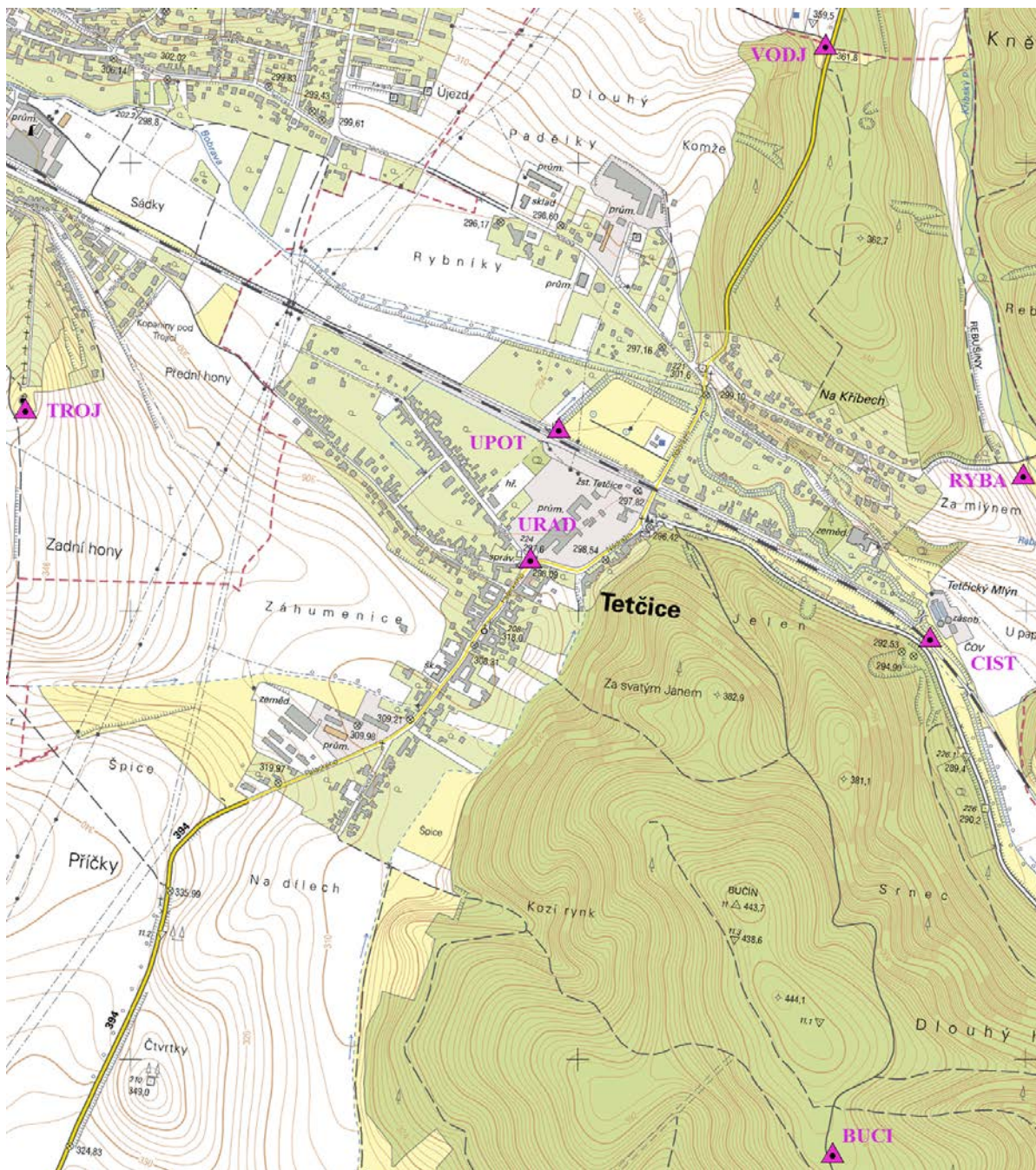
Měřická síť byla v lokalitě zřízena v letech 2009 a 2010 na základě diplomové práce Ing. Michala Witisky, který uvedl, že oblast v okolí Tetčic je z hlediska posunů zemského povrchu zajímavá, a tudíž vhodná pro opakovaná etapová měření. Skládá se ze 7 válcových betonových pilířů s hloubkovou stabilizací, jež byly osazeny nucenou centrací pro umístění GNSS aparatur, roxory v hlavách pilířů, ke kterým se vztahuje výšková složka GNSS měření, čepovými nivelačními značkami pro výškové připojení pomocí velmi přesné nivelace, a také kovovými oky pro případné zajištění přístrojového vybavení. Pilíře byly rozmístěny podél předpokládaného průběhu tektonického zlomu, čtyři se nachází v údolí, ostatní na vyvýšených místech území. Jejich okolí je, i přes místy ztíženou dostupnost, velmi frekventované, pro měření je tedy nezbytné zajistit dostatečný počet členů měřických skupin, aby nedošlo k nežádoucím zásahům cizích osob v průběhu observace.

Tabulka č. 1: Přibližné souřadnice pilířů v S – JTSK.

Číslo pilíře	Kód pilíře	Y [m]	X [m]
P1	CIST	613104,46	1161881,91
P2	UPOT	613041,31	1161591,72
P3	URAD	612211,55	1162059,32
P4	TROJ	614232,10	1161549,43
P5	BUCI	612429,16	1163210,37
P6	VODJ	612445,57	1160735,58
P7	RYBA	612003,87	1161695,04

Tabulka č. 2: Orientační vodorovné vzdálenosti mezi pilíři.

Z bodu	Na bod	HD [m]	Z bodu	Na bod	HD [m]
BUCI	CIST	1171,45	RYBA	TROJ	2232,99
	RYBA	1573,88		UPOT	1042,57
	TROJ	2451,39		URAD	1116,34
	UPOT	1730,54		VODJ	1056,25
	URAD	1490,25	TROJ	UPOT	1191,54
	VODJ	2474,85		URAD	1175,64
CIST	RYBA	419,32		VODJ	1963,17
	TROJ	2083,90	UPOT	URAD	296,99
	UPOT	952,45		VODJ	1043,01
	URAD	910,37	URAD	VODJ	1322,20
	VODJ	1344,26			



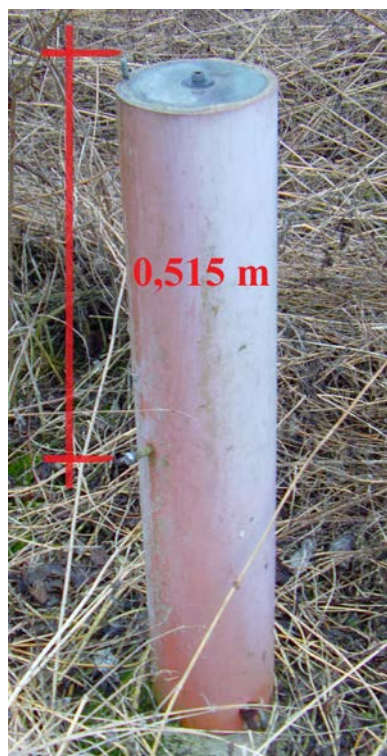
Obrázek č. 17: Rozmístění observačních pilířů sítě Tetčice. Podklad: Prohlížečící služba WMS – ZM 10.

Etapa GNSS měření s pořadovým číslem 4 byla, po dohodě s vedoucím práce, vykonána na pilířích **BUCI**, **TROJ**, **UPOT** a **VODJ**, protože na stejných pilířích proběhla i 3. etapa v roce 2013. K změřeným pilířům byly vyhotoveny nové geodetické údaje v softwaru **MicroStation Powerdraft V8i** a ke zbývajícím byly místopisy převzaty z diplomové práce Ing. Jiřího Dvořáka. [26]

Geodetické údaje observačních pilířů jsou přiloženy v příloze č. 6 na konci diplomové práce. Následuje jejich fotodokumentace a podrobný popis.

Pilíř č. 1 – Čistírna odpadních vod (P1 – CIST)

Tento pilíř se nachází ve východní části zájmové lokality, na břehu říčky Bobravy, nedaleko čistírny odpadních vod. Až téměř k němu vede asfaltová pozemní komunikace. Vzhledem k blízkosti vzrostlých stromů a vysokého železničního náspu je průzor nad pilířem ve všech směrech značně omezený.



Obrázky č. 18 a 19: Lokalizace a detail pilíře P1 – CIST.

Pilíř č. 2 – Železniční nádraží (P2 – UPOT)

Pilíř je stabilizován poblíž koryta menšího potoka, přibližně 230 metrů severozápadním směrem od budovy železničního nádraží. Je přístupný z účelové asfaltové komunikace vedoucí do Rosic. Poskytuje poměrně dobrý horizont, k jeho částečnému zákrytu dochází v severním směru díky vzrostlým stromům na břehu potoka. Nedaleko se nachází vodní zdroj.



Obrázky č. 20 a 21: Lokalizace a detail pilíře P2 – UPOT.

Pilíř č. 3 – Obecní úřad (P3 – URAD)

Třetí pilíř se nachází se ve středu obce u obecního úřadu, vedle budov místní pily. Jeho poloha nebyla zvolena úplně optimálně, je v těsném sousedství s křižovatkou frekventovaných silnic a dochází zde k otřesům půdy od projíždějících těžkých aut. Díky své nízké výšce je také limitován okolní zástavbou obce.



Obrázky č. 22 a 23: Lokalizace a detail pilíře P3 – URAD.

Pilíř č. 4 – Kaple Nejsvětější Trojice (P4 – TROJ)

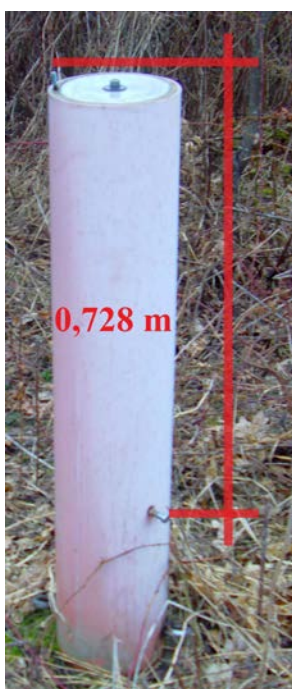
Jedná se o nejzápadnější pilíř celé sítě, je postaven v blízkosti kaple Nejsvětější Trojice na jižním návrší města Rosice, do jehož katastrálního území také spadá. Od kaple je umožněn výhled na celé zájmové území. Obzor pilíře je částečně zastíněn stromy a budovou kaple v severozápadním směru, tudíž zde může docházet ke ztrátám signálů některých družic.



Obrázky č. 24 a 25: Lokalizace a detail pilíře P4 – TROJ.

Pilíř č. 5 – Bučín (P5 – BUCI)

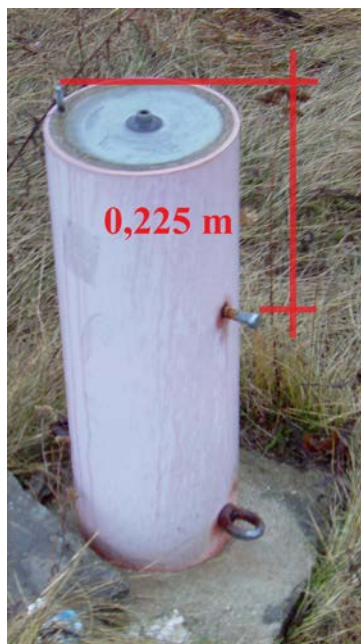
Pilíř č. 5 je ze všech pilířů v nejvyšší nadmořské výšce, je stabilizován v oboře lesní školky v Přírodním parku Bobrava, přibližně 300 metrů jihovýchodním směrem od vrcholu kopce Bučín a 1,5 kilometru od návsi obce v témže směru. Před každou observací je nutné vysekat v porostu dostatečný prostor, aby byla zajištěna dobrá viditelnost, a taktéž asi 25 metrů dlouhou přístupovou cestu, která je potřebná pro přístup z lesní cesty vedoucí kolem školky.



Obrázky č. 26 a 27: Lokalizace a detail pilíře P5 – BUCI.

Pilíř č. 6 – U vodojemu (P6 – VODJ)

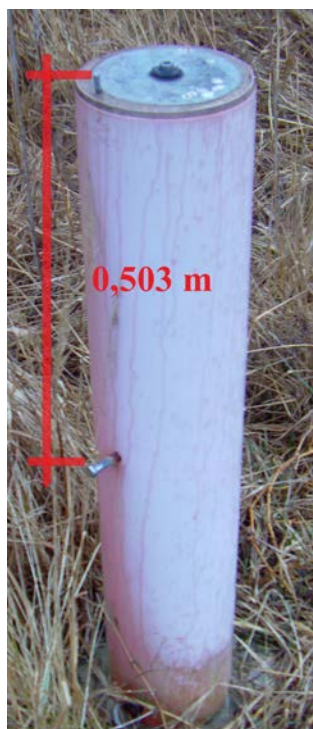
Šestý pilíř byl vybudován na kopci, přibližně 1 kilometr severně od návsi Tetčic, nedaleko vodárenského objektu. V jeho blízkosti prochází silnice druhé třídy s hustým provozem, tudíž zde dochází k otřesům díky projíždějícím automobilům. Další obtíže při observaci mohou způsobovat vysoké stromy, které zakrývají část obzoru.



Obrázky č. 28 a 29: Lokalizace a detail pilíře P6 – VODJ.

Pilíř č. 7 – Rybářská bašta (P7 – RYBA)

Poslední pilíř tetčické sítě se nachází na východním kraji lokality, poblíž restaurace Rybářská bašta. Byl vybudován na pomezí pole a plevelného porostu přiléhajícího k malému potoku. Poskytuje poměrně kvalitní obzor, pouze jeho severovýchodní část je místy zakryta stromy a vysokými travinami.



Obrázky č. 30 a 31: Lokalizace a detail pilíře P7 – RYBA.

4.2 Realizace 4. etapy GNSS měření

Po potřebné úpravě okolí pilířů a sehnání dostatečného počtu pomocníků na hlídání měřicích aparatur mohlo být provedeno vlastní měření, které proběhlo ve dnech 24. 6. 2016 (pátek) a 25. 6. 2016 (sobota) pod odborným vedením prof. Ing. Otakara Švábenského, CSc.

4.2.1 Přístrojové vybavení

Observace byla uskutečněna s využitím přístrojů od švýcarské firmy *Leica Geosystems AG*, které byly zapůjčeny od Ústavu geodézie a kartografie Fakulty stavební, VUT v Brně. Na dvou pilířích byly nainstalovány přijímače řady GX 1200, které podporují satelitní systémy GPS i GLONASS, na zbylých dvou byly použity přijímače staršího typu, a sice řady SR 500, jež umožňují přijímat signály pouze od systému GPS.

Tabulka č. 3: Použité přijímače a antény na jednotlivých pilířích.

Číslo pilíře	Kód pilíře	Přijímač	Anténa
P2	UPOT	Leica GX1230 GG, v. č.: 471631	Leica AT504 GG, v. č.: 200265
P4	TROJ	Leica SR520, v. č.: 0020733	Leica AX1202 GG, v. č.: 07300005
P5	BUCI	Leica GX1230 GG, v. č.: 466813	Leica AT504 GG, v. č.: 102517
P6	VODJ	Leica SR530, v. č.: 0020736	Leica AX1202 GG, v. č.: 08330014

GG znamená, že je umožněn příjem signálů z GPS i GLONASS.

Přijímače Leica GX1230 GG umožňují příjem všech běžně dostupných GNSS signálů, pracují na 72 kanálech, z čehož je pro příjem signálů GPS vyhrazeno 14 + 14 kanálů (14 pro frekvenci L1 a 14 pro frekvenci L2) a pro GLONASS 12 + 12 kanálů. Interval záznamu měřených dat je možný od 0,05 do 300 vteřin. Výrobce uváděná přesnost statické metody pro dlouhé vektory je, při použití postprocessingového zpracování a choke – ring antény, 3 mm + 0,5 ppm v horizontální poloze a pro výškovou složku 6 mm + 0,5 ppm. Naměřená data se ukládají do interní paměti zařízení nebo na CompactFlash kartu. [27]



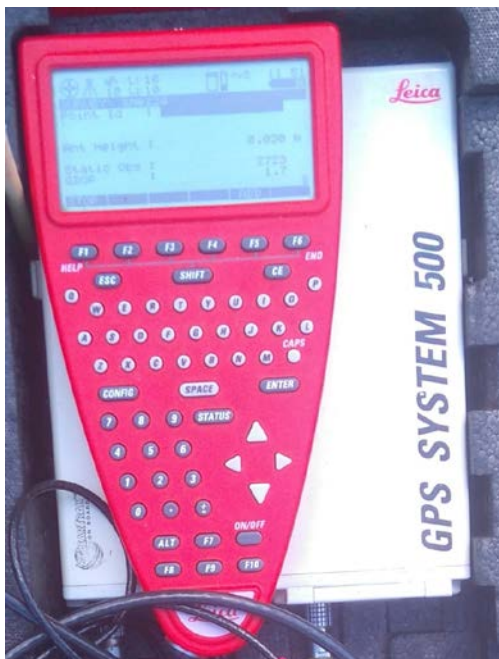
Obrázek č. 32: Přijímač Leica GX1230 GG.

Anténa Leica AT504 GG je konstrukčního typu Dorne & Margolin se zlatým eloxovaným choke ringem, jenž slouží pro potlačování multipath efektu. Stabilita fázových center antény je lepší než 1 mm. Je využívána pro přesné práce, pro sledování tektonických posunů, a také v sítích referenčních stanic (například síť CZEPOS – bod TUBO). [27], [28]



Obrázek č. 33: Anténa Leica AT504 GG.

Přijímače Leica SR530 a Leica SR520 jsou odlišné pouze tím, že první jmenovaný podporuje technologii RTK, jinak jsou totožné. Umožňují příjem signálů pouze od družic systému GPS, a to na 24 kanálech (12 + 12). Interval záznamu měřených dat je možný od 0,1 do 60 vteřin. Udávaná přesnost statické metody pro dlouhé vektory je, při použití postprocessingového zpracování a standardní antény, 5 mm + 0,5 ppm v horizontální poloze a pro výškovou složku 10 mm + 0,5 ppm. Naměření data se ukládají do interní paměti zařízení nebo na PCMCIA ATA Flash RAM kartu. [29]



Obrázek č. 34: Přijímač Leica řady SR500.

Leica AX1202 GG je standardní anténa, vybavená konstrukčními prvky typu ground plates, které snižují vliv multipath efektu. Stabilita fázových center antény je taktéž lepší než 1 mm. Díky své nižší hmotnosti je využívána pro běžnější GNSS aplikace. [29]



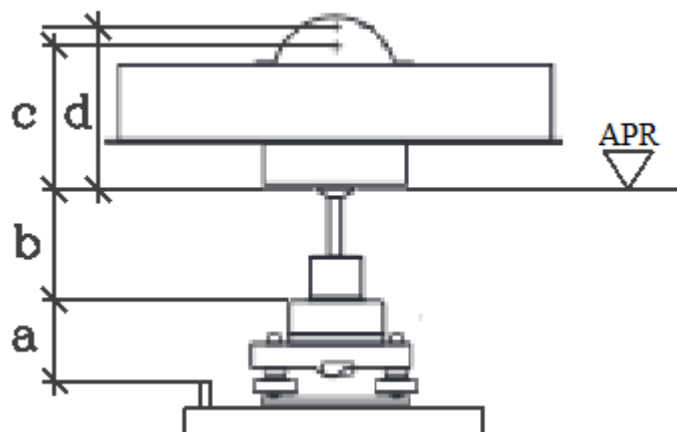
Obrázek č. 35: Anténa Leica AX1202 GG.

4.2.2 Průběh observace

Začátek měření byl stanoven na 14 hodinu v pátek 24. 6. 2016. Sraz byl kvůli instalaci aparatur a nezbytnému zaškolení měřických posádek již ve 12 hodin. Vzhledem k poměrně velkým vzdálenostem mezi pilíři a k množství měřického vybavení, byly přesuny mezi jednotlivými stanovisky uskutečňovány osobním automobilem. Každá posádka měla k dispozici stan nebo auto, pro případ, že by bylo špatné počasí. K tomu naštěstí nedošlo, celé dva dny vál převážně mírný vítr, obloha byla bez mráčku a teplota vyloženě letní. Kontrolu ostatních posádek jsem prováděl každou hodinu s využitím vysílaček Motorola CP040, zapůjčených ze skladu Ústavu geodézie.

Před spuštěním samotného měření bylo nutné provést na každé aparatuře dva důležité úkony pro zajištění správného postupu při sběru naměřených dat.

První se týkal určení přesné výšky antény, která byla změřena pomocí pravítka tvořícího vodorovnou rovinu a dvoumetru, od roxorů zapuštěného v hlavě pilíře k vrchní vodorovné ploše třínožky (viz. obrázek č. 36 – úsek *a*). Od této plochy je známa vertikální vzdálenost k bodu **APR** – Antenna Reference Point, což je bod, ke kterému jsou vztaženy vertikální vzdálenosti fázových center antény. Lze ji vyčíst z uživatelského manuálu antény, v našem případě je pro oba typy antén její hodnota 109 mm. Do výpočtů vstupuje výška antény jako součet výše popsaných vertikálních vzdáleností (viz. obrázek č. 36 – součet úseků *a* + *b*).



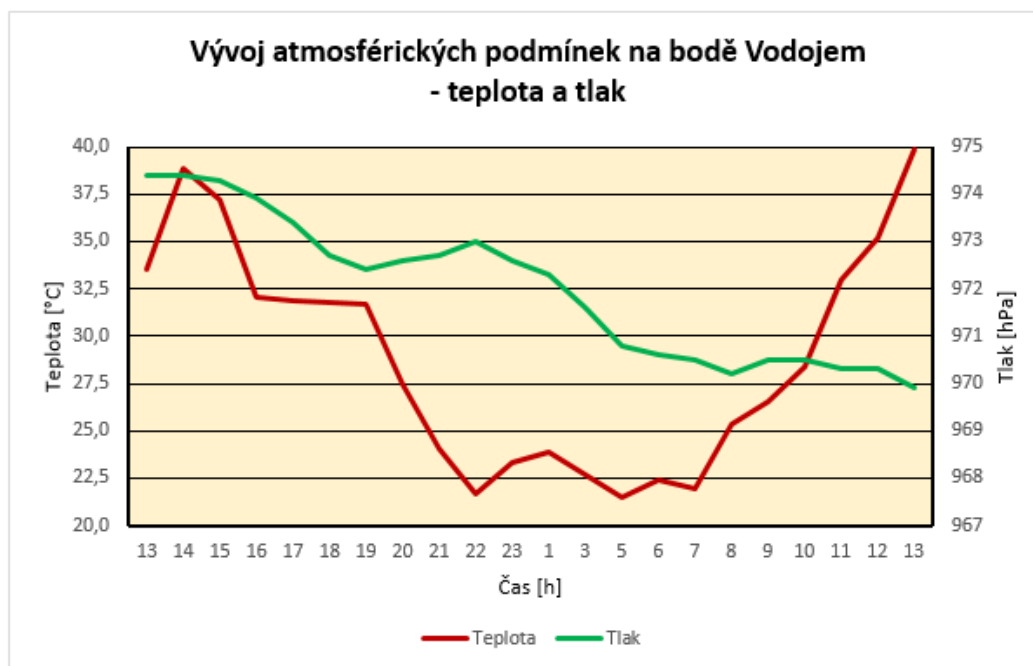
Obrázek č. 36: Schéma vertikálních vzdáleností použité antény.

a – měřená výška od roxorů po vodorovnou plochu třínožky; *b* – známá výška z uživatelského manuálu (109 mm); *c* – vertikální odsazení fázového centra frekvence L1; *d* – vertikální odsazení fázového centra frekvence L2; APR – rovina vedená tímto bodem.

Druhým krokem bylo nastavení parametrů observace v přijímači. Jednalo se o založení nové zakázky, nastavení souřadnicového systému a typu použité antény. Následoval název bodu, výška antény a použitá metoda měření. Nejdůležitějšími prvky, které přímo ovlivňují vlastní záznam měřených dat, bylo nastavení **elevační masky na 10°** a intervalu odečtů dat na **15 vteřin**.

Na většině stanovisek byly vedeny papírové záznamy meteorologických údajů, o stavu baterií, výškách antén a náčrtu zobrazující zákres horizontu. Kopie těchto zápisníků jsou k dispozici v příloze č. 1.

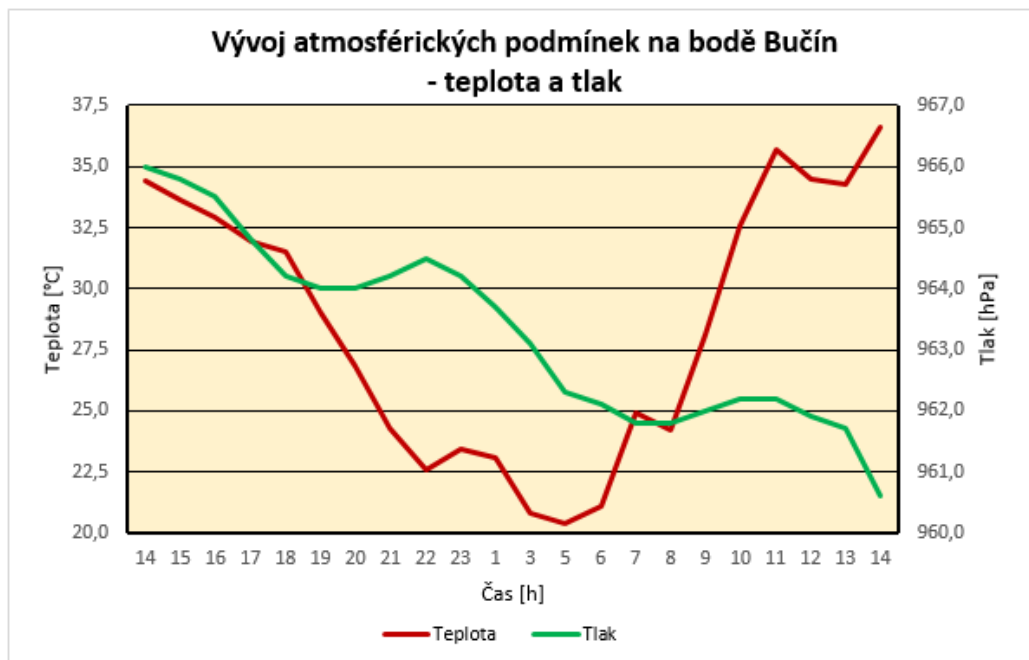
Jako první byla zahájena observace na bodě Vodojem (P6 – VODJ), a sice v 12:53 SELČ. Posádka měla k dispozici přístroje na měření teploty a tlaku vzduchu, jejichž záznam byl prováděn každou hodinu, pouze mezi 1 a 5 hodinou ranní každé dvě hodiny. Výška antény byla 49 mm. Měření proběhlo bez problémů a bylo ukončeno v 14:01 dne 25. 6. 2016.



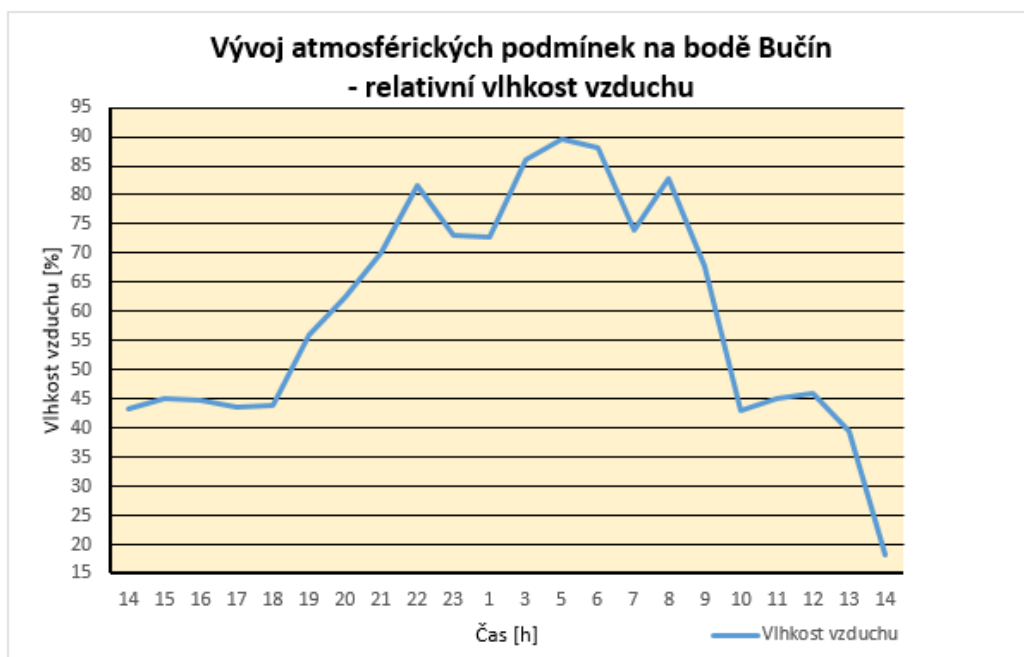
Graf č. 1: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Vodojem.

Aparatura na bodě Bučín (P5 – BUCI) byla spuštěna jako druhá, v čase 13:23. Obsluhu toho pilíře jsem měl na starosti já se dvěma kolegy z ročníku. Disponovali jsme podobnými přístroji pro měření atmosférických podmínek, s tím rozdílem, že byl umožněn i záznam relativní vlhkosti vzduchu. Odečítání jejich hodnot bylo realizováno v obdobných časových intervalech. Ve 12 hodin prvního dne došlo kvůli mé neopatrnosti k dvouminutovému přerušení

observace, nechtěně jsem stiskl tlačítko pro ukončení měření. V 1 hodinu ráno byla vyměněna externí baterie číslo 20 za baterii číslo 5, ale i tato neměla dostatečnou výdrž, tudíž od 6 hodin probíhalo měření s využitím dvou interních baterií A a B přijímače. Ukončení observace bylo v 14:07 druhého dne, ale faktický konec nastal už v 13:19, protože posledních 48 minut zaznamenávala aparatura pouze uplynulý čas a nikoli změřená observační data. Výška antény nad roxorem byla 49,5 mm.

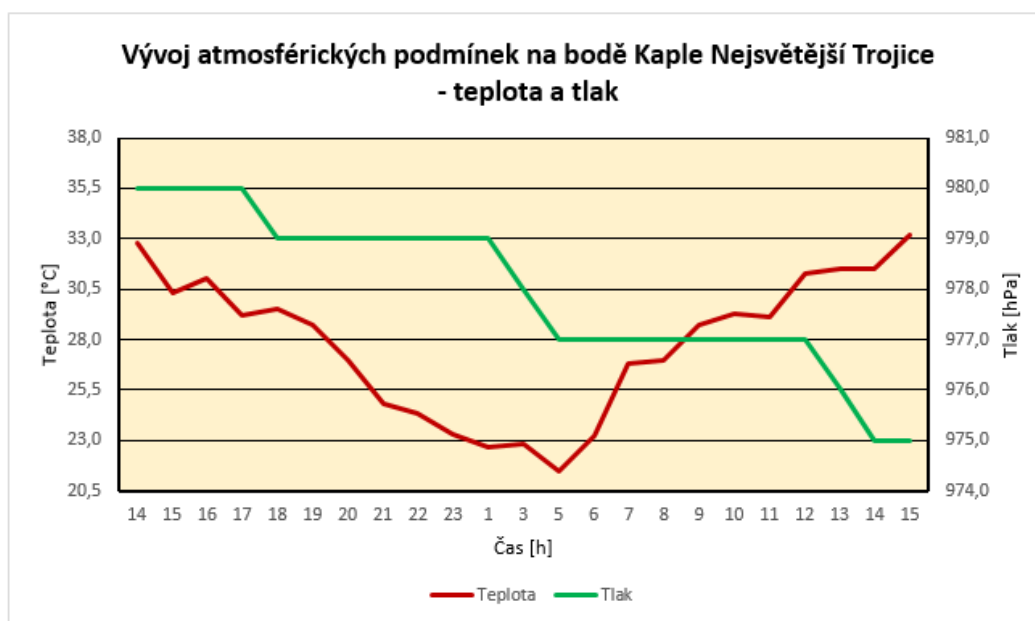


Graf č. 2: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Bučín.

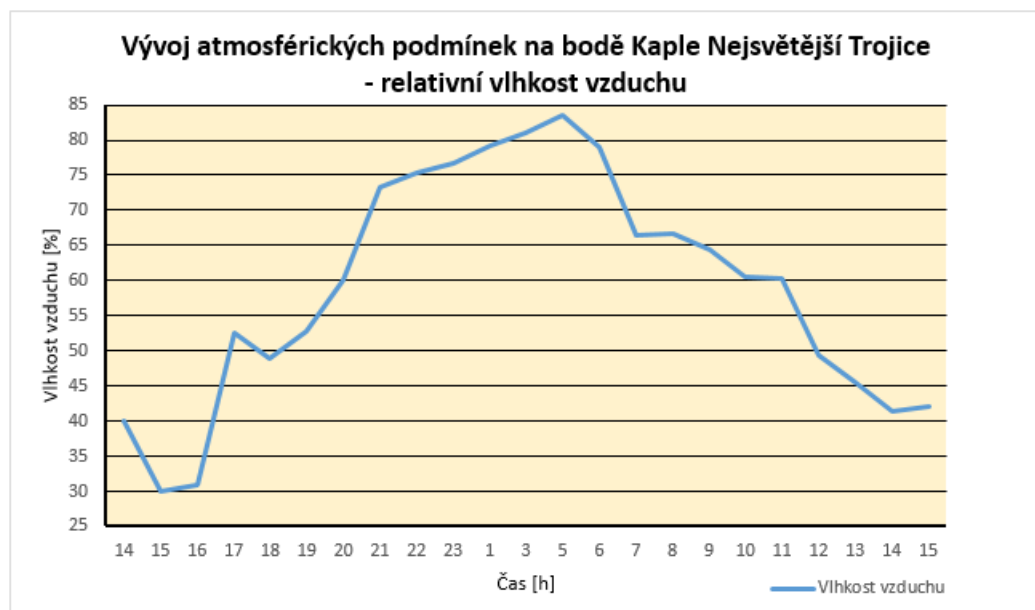


Graf č. 3: Vývoj relativní vlhkosti vzduchu v průběhu observace na bodě Bučín.

V čase 14:03 bylo započato měření na třetím bodě, a sice na pilíři u kaple Nejsvětější Trojice (P4 – TROJ). I přes kulturní akci, konající se večer u kaple, proběhla observace bez větších potíží. Jelikož použitý přijímač neměl k dispozici interní baterie, od půl 7 ráno do 8 hodin bylo měření přerušeno z důvodu vybití externí baterie číslo 18. Po výměně za baterii číslo 10 sběr dat pokračoval do 12:45, kdy se zopakovala stejná situace. Od 12:48, po zapojení poslední baterie číslo 16.1, do konce observace v 14:53 žádné další komplikace nenastaly. Také z tohoto stanoviště jsou k dispozici kompletní meteorologické údaje. Výška antény na tomto bodě byla 56,5 mm.



Graf č. 4: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Kaple Nejsvětější Trojice.



Graf č. 5: Vývoj relativní vlhkosti vzduchu v průběhu observace na bodě Kaple Nejsvětější Trojice.

Poslední sběr dat byl zahájen v čase 14:27 na pilíři u železničního nádraží (P2 – UPOT). Na tomto stanovisku nebyl měřen stav atmosférických podmínek z důvodu nedostatečného počtu potřebných přístrojů. V 6 hodin ráno došla energie v externí baterii, přijímač se bez přerušení automaticky přenastavil do režimu měření s využitím interní baterie A, která vydržela do 13 hodin. Poté, až do konce observace, který byl v 13:48, byla využívána interní baterie B. Za celou dobu nedošlo k žádným výpadkům příjmu signálů. Výška antény nad referenčním bodem pilíře byla 52 mm.

Z dostupných zjištěných meteorologických údajů lze vyčíst několik výsledků. Nejvyšší teplota 39,9 °C byla zaznamenána v sobotu ve 14 hodin na bodě Vodojem, naopak nejnižší 20,4 °C na bodě Bučín, taktéž v sobotu, v 5 hodin ráno. V tutéž dobu u téhož pilíře byla změřena maximální, 89,9 % vlhkost vzduchu, minimální vlhkost byla na stejném místě, a sice ve 14 hodin druhého dne a její hodnota činila 18,2 %. Atmosférický tlak byl na všech stanovicích v průběhu celého měření relativně stálý, největší rozdíl 5,4 hPa byl změřen na Bučíně.

5 KANCELÁŘSKÉ PRÁCE

Poslední kapitola diplomové práce se zabývá komplexním zpracováním naměřených dat ze 4. etapy, a také přepočítáním veškerých dřívějších měření. K tomuto kroku bylo přistoupeno, protože předchozí etapy nebyly vyhodnocovány jednotným způsobem, tudíž je nutné provést výpočty znovu, se stejnými výpočetními parametry, aby výsledky byly *homogenního charakteru* a jejich vypovídající hodnota měla stejnou úroveň. Výsledné mapy jsou vytvořeny z rozdílů dat **3.** a **4.** etapy.

Kvůli přehlednosti je tato část rozdělena do více podkapitol, čímž je zajištěna snadnější orientace v textu.

5.1 Předcházející etapy měření

Jako první v zájmovém území provedl GNSS měření Ing. Michal Witiska v letech 2008 a 2009. Jeho měření ale nebyla uskutečněna na pilířích, nýbrž na vybraných bodech výše zmiňovaných nivelačních pořadů, s využitím stativů. Až na základě výsledků jeho diplomové práce, kde uvádí, že oblast Tetčic je z hlediska pohybových tendencí zajímavá, bylo v lokalitě zřízeno 7 observačních pilířů pro etapová měření, a sice jako společný projekt Ústavu geodézie Fakulty stavební, VUT v Brně a obce Tetčice. [30]

0. etapu na nově vybudovaných pilířích zrealizoval ve dnech 10. 4. a 11. 4. roku 2010 Ing. Radek Dvořák. Observace proběhla na stanoviscích P1 – CIST, P2 – UPOT, P5 – BUCI, P6 – VODJ a P7 – RYBA. Jednalo se prvotní určení souřadnic těchto pilířů. V průběhu měření došlo na bodě P1 k zásahu cizích osob, a proto bylo na tomto bodě ukončeno předčasně. [31]

Další dvě etapy zaměřil pro svou diplomovou práci Ing. Jiří Dvořák. **1. etapa** byla provedena 24. a 25. 9. 2010 na bodech P3 – URAD, P5 – BUCI, P6 – VODJ a P7 – RYBA. Ve **2. etapě**, konající se 16. a 17. dubna 2011, bylo měřeno na P2 – UPOT, P4 – TROJ, P5 – BUCI, P6 – VODJ a P7 – RYBA. [26]

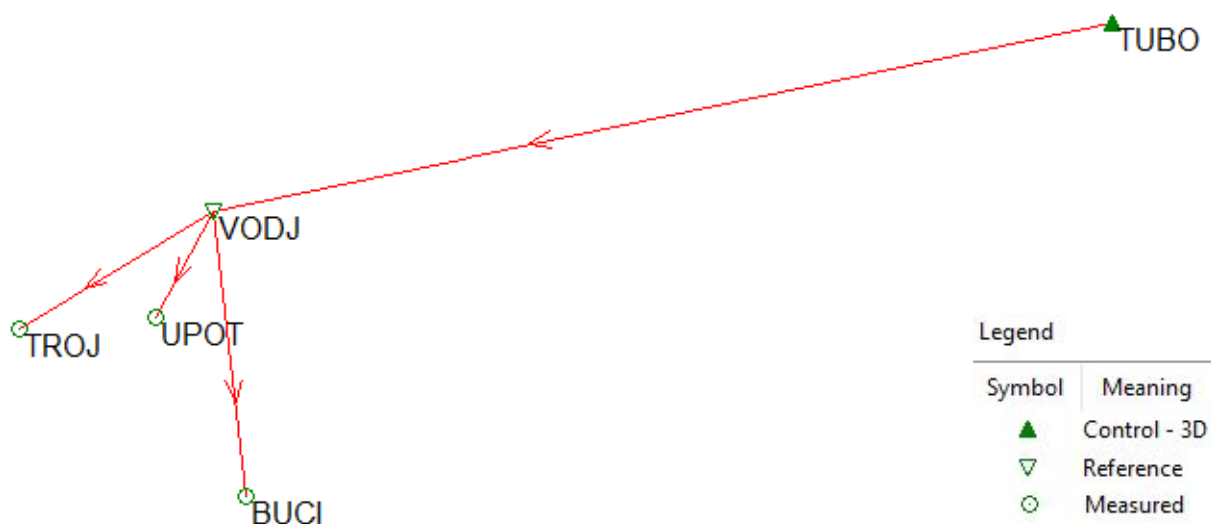
3. etapě GNSS měření se věnovala Ing. Jana Darmopilová, a sice ve dnech 26. 7. a 27. 7. 2013. Observováno bylo na čtyřech vybraných pilířích, P2 – UPOT, P4 – TROJ, P5 – BUCI, a P6 – VODJ. U všech pilířů se jednalo o opakované určení polohy. [32]

Pro všechny etapy byla použita *statická metoda měření*, s minimálně 24 hodinovou dobou observace, s připojením na referenční stanici *TUBO* permanentní sítě CZEPOS, díky níž bylo měření navázáno do souřadnicového systému *ETRS 89*.

5.2 Určení prostorové polohy jednotlivých pilířů

Jelikož v zájmové lokalitě budou i nadále probíhat další etapová GNSS měření, jsou výsledky z praktických důvodů prezentovány v souřadnicovém systému *ETRS 89*. Prostorová poloha pilířů je dána geodetickou šířkou φ , geodetickou délkou λ a elipsoidickou výškou H_{el} . Systém WGS 84, ve kterém pracuje satelitní systém GPS, není pro tyto účely vhodný, jelikož jeho souřadnice se v čase mění, kvůli pohybu euroasijské desky severovýchodním směrem.

Pro zajištění homogenity výsledků jednotlivých etap je nutné počítat všechna měření ke stejné referenci a s totožným nastavením výpočetních parametrů. Přesnost prostorových souřadnic je při relativním určování polohy závislá na délce počítaného vektoru. Aby byla dosažena vyšší **vnitřní přesnost** prostorových souřadnic jednotlivých bodů, spočítal jsem, pomocí bodu *TUBO*, pouze souřadnice bodu *VODJ* (délka vektoru přibližně 13 400 metrů). Tento bod byl následně nastaven jako referenční bod tetčické sítě (jeho souřadnice nastaveny jako pevné) a prostorová poloha zbylých bodů byla určena s využitím kratších vektorů, vztažených k bodu *VODJ*, o maximální délce do 2500 metrů. Pilíř *U* vodojemu jsem zvolil jako referenční z důvodu, že na něm bylo měřeno ve všech dosavadně vykonaných etapách.



Obrázek č. 37: Schéma počítaných vektorů v softwaru Leica Geo Office 8.2.

GNSS měření statickou metodou s dlouhou dobou observace se vyhodnocují postprocessním způsobem (následné zpracování po ukončení měření) ve speciálních výpočetních programech. V současné době výrobci, kteří se vyskytují na trhu, vyvíjí současně s měřicí aparaturou i vlastní software pro práci s nasbíranými daty. Počítačové učebny Ústavu geodézie jsou vybaveny softwarem *Leica Geo Office 8.2* od firmy *Leica Geosystems AG*, jenž jsem použil i já pro zpracování naměřených dat ze všech etap měření.

5.2.1 Výpočty souřadnic a výšek v *Leica Geo Office 8.2 (LGO)*

LGO je kompletním balíkem programů, které umožňují zpracování dat po měření (Postprocessing), podporu měření v reálném čase (RTK), a také správu těchto dat a plánování měření. Software dokáže vyhodnotit naměřená data až do konečné podoby ve formě souřadnic pozorovaných bodů. Výsledky umožňuje doložit podrobnými protokoly jednotlivých výpočetních operací. [33]

Postup výpočtů:

Před provedením samotných výpočtů bylo nutné založit nový projekt s jedinečným názvem a zvolit místo jeho uložení.

Dalším krokem byl import naměřených dat z použitých přijímačů a z referenční stanice TUBO, která byla nahrána ve formátu **RINEX** a připojení importovaných dat do založeného projektu. Obdobným způsobem byl do projektu vložen soubor s **přesnými efemeridami**, stažený z webových stránek <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/products/orbits/>, jimiž se při výpočtech nahradí efemeridy vysílané.

Následně byly vloženy geodetické souřadnice referenční stanice TUBO, dostupné na webových stránkách http://czepos.cuzk.cz/_souradnice.aspx, zkontrolovány hodnoty pro kalibrace antén, které by měly být pro všechny antény Leica v programu přednastavené a jako poslední byly zadány požadované parametry výpočtů.

- Cut – off angle: 10°
– do výpočtů se nezahrnují naměřená data od satelitů nacházejících se pod tímto úhlem
- Ephemeris type: Precise
– používají se pro přesné GNSS aplikace; k dispozici s přibližně 15 denním zpožděním

- Solution type: Automatic
 - automatický výběr nejlepších dostupných fázových dat pro výpočty
- GNSS type: GPS only
 - na všech pilířích nebyla k dispozici aparatura pro příjem signálů GLONASS, proto výpočty pouze s využitím dat od GPS
- Tropospheric model: Saastamoinen
 - pro oblast Evropy je tento model nejvhodnější
- Ionospheric model: Automatic
 - pro výpočty s referencí *TUBO* automaticky zvolen model **Computed** (vypočítaný)
 - pro výpočty s referencí *VODJ* nastaven model **Standard**, v observační síti s krátkými vektory lze považovat vlastnosti ionosféry za homogenní
- Ionospheric activity: Automatic
- Frequency: L1/E1 and L2

Po označení potřebného bodu jako *reference* a ostatních jako *rover*, byly spuštěny vlastní výpočty prostorové polohy pozorovaných bodů. Ve *všech* případech bylo řešení *fixované* a **ambiguity**, jež jsou potřebné pro jednoznačné určení přesné polohy, byly *vyřešeny*.

Řešení byla uložena a výsledky vyexportovány do textových souborů, aby s nimi bylo možné dál pracovat. Protokolární dokumentace o výpočtech všech etap je součástí elektronické přílohy č. 2.

5.2.2 Výsledky jednotlivých etap

Prostorové souřadnice všech bodů v jednotlivých etapách byly, kvůli přehlednosti, sestaveny do tabulek, barevným zvýrazněním je označen bod počítaný s referencí TUBO. Naměřená data z předcházejících etap byla poskytnuta prof. Ing. Otakarem Švábenským, CSc.

Z 0. etapy byla zachována observační data z pilířů P2, P5, P6 a P7, na pilíři P1 došlo k znehodnocení sběru dat zásahem cizí osoby. Na referenční stanici TUBO docházelo bohužel

v dané dny k výpadkům provozu a k dispozici byl záznam naměřených dat pouze o délce 6 – ti hodin. Bod VODJ byl tedy určen ze zkrácené observace.

Tabulka č. 4: Prostorové geodetické souřadnice bodů 0. etapy.

JARO 2010_NULTÁ ETAPA					
Bod		°	'	''	m
BUCI	φ	49	9	33,08516	480,5484
	λ	16	25	1,65947	
	H _{el}				
RYBA	φ	49	10	23,35834	349,5449
	λ	16	25	14,30070	
	H _{el}				
UPOT	φ	49	10	22,98688	340,4471
	λ	16	24	22,82617	
	H _{el}				
VODJ	φ	49	10	52,65779	406,2728
	λ	16	24	47,41016	
	H _{el}				

Určení prostorových souřadnic bodů 1. etapy se týkalo pilířů P5, P6 a P7. Data z pilíře P3 nebyla dodána, pravděpodobně kvůli nedostatečné délce observace.

Tabulka č. 5: Prostorové geodetické souřadnice bodů 1. etapy.

PODZIM 2010_PRVNÍ ETAPA					
Bod		°	'	''	m
BUCI	φ	49	9	33,08512	480,5399
	λ	16	25	1,65939	
	H _{el}				
RYBA	φ	49	10	23,35822	349,5492
	λ	16	25	14,30056	
	H _{el}				
VODJ	φ	49	10	52,65776	406,3120
	λ	16	24	47,41009	
	H _{el}				

Data z 2. etapy měření se nedochovala u žádného pilíře, i přes prohledání veškerých archivů, nalezena nebyla. Nejpravděpodobnějším důvodem jejich ztráty je fakt, že je Ing. Dvořák nepředal, spolu s ostatní dokumentací, vedoucímu práce doc. RNDr. Lubomilu Pospíšilovi, CSc. Jelikož výsledky, které uvádí se své diplomové práci, jsou spočítány s jinými výpočetními parametry, a tudíž *nejsou* homogenní s výsledky mými, 2. etapa měření z jara roku 2011 *nebyla* využita pro další zpracování.

3. etapa, co se týče naměřených dat, se dochovala ke všem pilířům. Poprvé byla spočítána prostorová poloha pilíře TROJ, u ostatních bylo její určení opakované.

Tabulka č. 6: Prostorové geodetické souřadnice bodů 3. etapy.

2013_TŘETÍ ETAPA					
Bod		°	'	''	m
BUCI	φ	49	9	33,08513	480,5477
	λ	16	25	1,65929	
	H _{el}				
TROJ	φ	49	10	20,09736	399,1797
	λ	16	23	24,15866	
	H _{el}				
UPOT	φ	49	10	22,98678	340,4498
	λ	16	24	22,82617	
	H _{el}				
VODJ	φ	49	10	52,65779	406,2727
	λ	16	24	47,40997	
	H _{el}				

Při zpracovávání mnou naměřené 4. etapy byl zpočátku problém s vyřešením ambiguit, při řešení vektoru TUBO – VODJ. U tří družic musel být ručně vyjmut přibližně hodinový úsek záznamu dat, poté byly výpočty zdárně dokončeny.

Tabulka č. 7: Prostorové geodetické souřadnice bodů 4. etapy.

2016_ČTVRTÁ ETAPA					
Bod		°	'	''	m
BUCI	φ	49	9	33,08520	480,5240
	λ	16	25	1,65955	
	H _{el}				
TROJ	φ	49	10	20,09738	399,1594
	λ	16	23	24,15909	
	H _{el}				
UPOT	φ	49	10	22,98696	340,4277
	λ	16	24	22,82659	
	H _{el}				
VODJ	φ	49	10	52,65789	406,2547
	λ	16	24	47,41026	
	H _{el}				

5.3 Porovnání výsledků jednotlivých etap

Hlavním posuzovacím měřítkem, jestli k pohybům pilířů mezi po sobě následujícími etapami měření došlo, je porovnání *délek vypočítaných vektorů* mezi příslušnými body. Jako vedlejší a spíše kontrolní metody byly použity rozdíly prostorových souřadnic a porovnání rozměrů obrazců pomocí transformace souřadnic.

Pro účely transformace byly geodetické souřadnice převedeny do pravoúhlého souřadnicového systému JTSK. Jelikož tento postup byl aplikován na všechny etapy stejným způsobem, bylo možné zanedbat redukci délek do nulového horizontu (vliv sbíhavosti tížnic). Kontrola byla provedena pomocí **shodnostní** transformace v programu **Groma v. 11**. Protokoly o transformacích jsou součástí elektronické přílohy č. 3.

Tabulka č. 8: Rozdíly prostorových souřadnic mezi po sobě následujícími etapami.

Bod	1. etapa - 0. etapa			3. etapa - 1. etapa			4. etapa - 3. etapa		
	$\Delta\varphi$ ["]	$\Delta\lambda$ ["]	ΔH_{el} [m]	$\Delta\varphi$ ["]	$\Delta\lambda$ ["]	ΔH_{el} [m]	$\Delta\varphi$ ["]	$\Delta\lambda$ ["]	ΔH_{el} [m]
BUCI	-0,00004	-0,00008	-0,0085	0,00001	-0,00010	0,0078	0,00007	0,00026	-0,0237
RYBA	-0,00012	-0,00014	0,0043						
TROJ							0,00002	0,00043	-0,0203
UPOT							0,00018	0,00042	-0,0221
VODJ	-0,00003	-0,00007	0,0392	0,00003	-0,00012	-0,0393	0,00010	0,00029	-0,0180

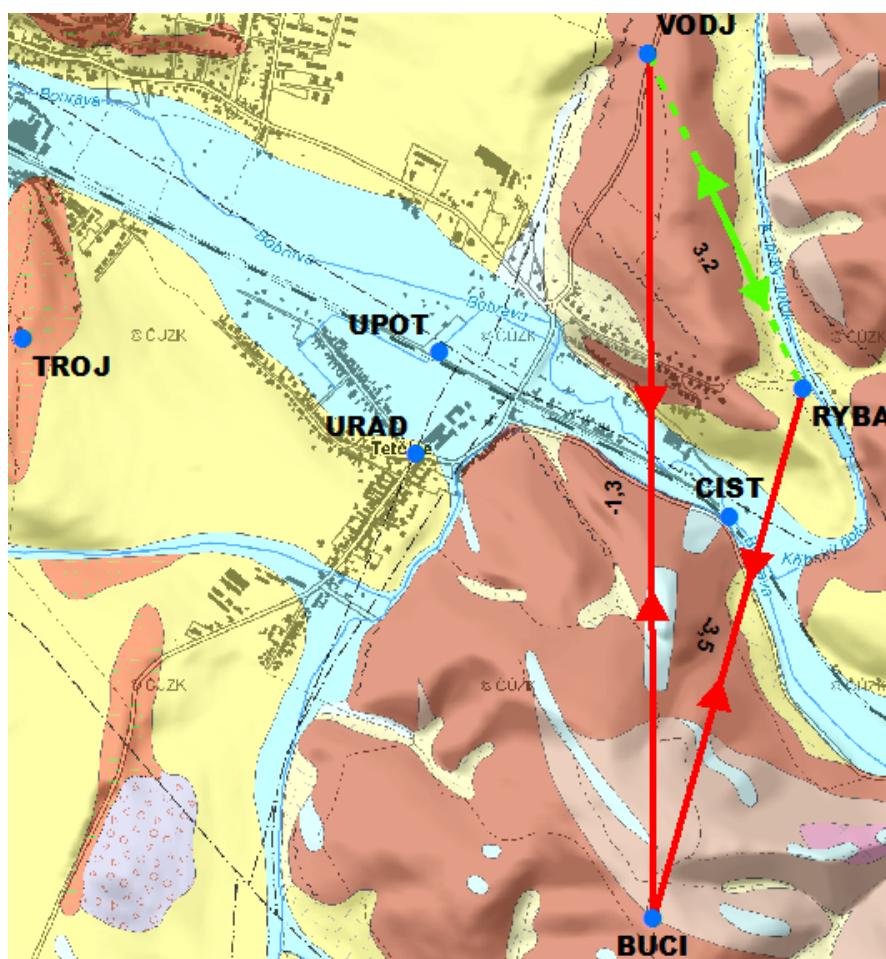
1 mm odpovídá ve stupňové míře přibližně 0,00003". Jedná se pouze o rozdíly souřadnic bodu v čase, pro vyhodnocení pohybů zemského povrchu nemají potřebnou vypovídající hodnotu. Pro posouzení relativních pohybových tendencí mezi pilíři je potřeba pracovat se změnami délek počítaných vektorů v observační síti. V příloze č. 4 na konci práce jsou přiloženy grafy vývoje délek vektorů mezi jednotlivými pilíři, vytvořené v programu **Microsoft Excel 2013**.

Rozdílnosti délek vektorů byly, kvůli lepší orientaci, vyneseny do schématického grafického výstupu. Jako podklad byla využita geologická mapa ČR v měřítku 1:25 000, dostupná online, na webové adrese http://mapy.geology.cz/geocr_25/. Červená barva spojnic bodů znamená přiblížení bodů, zelená oddálení. Hodnoty rozdílů jsou uvedeny v milimetrech.

Tabulka č. 9: Rozdíly délek vektorů mezi jednotlivými etapami.

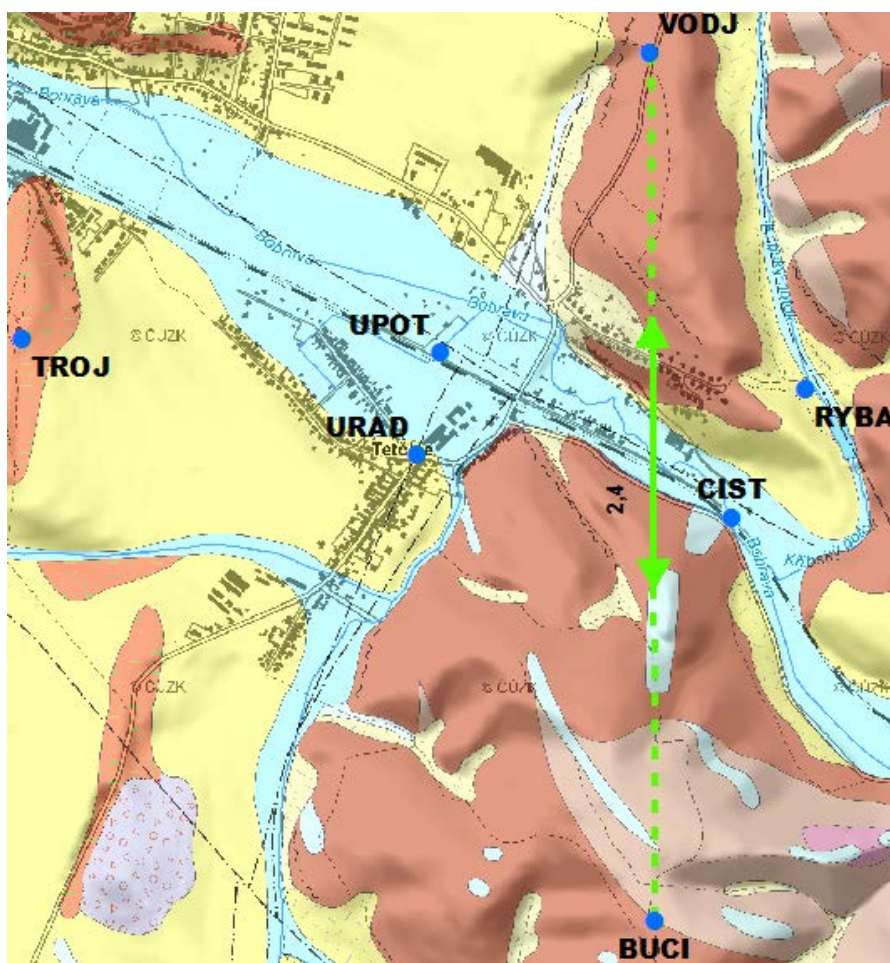
Mezi body	1. etapa - 0. etapa	3. etapa - 1. etapa	4. etapa - 3. etapa	Roční posun 4. - 3. etapa
	[m]	[m]	[m]	[m]
VODJ BUCI	-0,0013	0,0024	0,0006	0,0002
VODJ RYBA	0,0032			
VODJ TROJ			-0,0011	-0,0004
VODJ UPOT			-0,0031	-0,0011
BUCI RYBA	-0,0035			
BUCI TROJ			-0,0039	-0,0013
BUCI UPOT			0,0015	0,0005
TROJ UPOT			0,0002	0,0001

Při porovnání 0. etapy (jaro 2010) a 1. etapy (podzim 2010) bylo zjištěno přiblížení dvojic bodů VODJ – BUCI, BUCI – RYBA a oddálení VODJ – RYBA. Transformace neprokázala markantní změny obrazce, v řádu milimetrů, což odpovídá změnám délek vektorů.



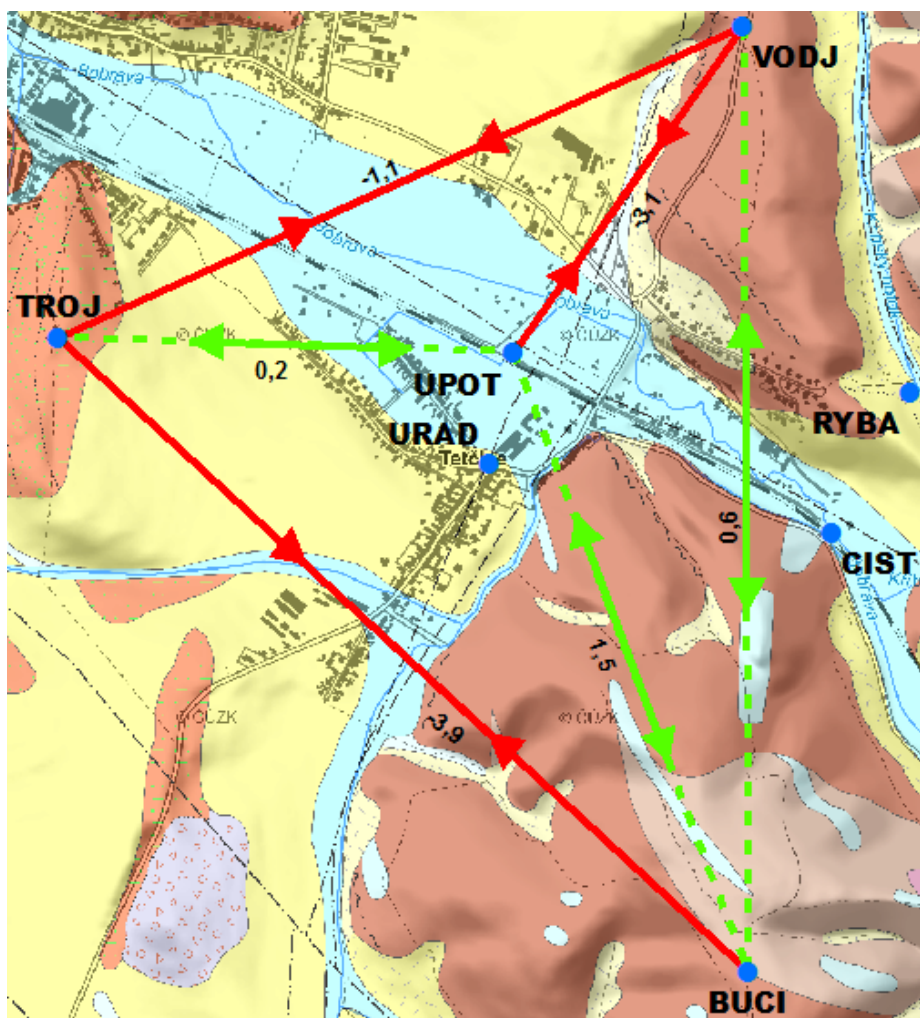
Obrázek č. 38: Porovnání 0. a 1. etapy.

1. a 3. etapa měla společné pouze dva body, VODJ a BUCI. Od podzimu roku 2010 do léta roku 2013 došlo k jejich oddálení. Transformaci souřadnic zde nemělo smysl počítat.



Obrázek č. 39: Porovnání 1. a 3. etapy.

Etapy 3 a 4 z let 2013 a 2016 mají společné všechny pozorované body, proto je jejich vyhodnocení věnován největší prostor a z jejich dat jsou vyhotoveny samostatné mapové elaboráty. Přiblížení bylo zaznamenáno o pilířů VODJ – TROJ, VODJ – UPOT, TROJ – BUCI, k oddálení mezi VODJ – BUCI, BUCI – UPOT a TROJ – UPOT. Transformovaný obrázek opět vykazuje milimetrové změny v rozměru.



Obrázek č. 40: Porovnání 3. a 4. etapy.

5.4 Grafické zpracování

Nedílnou součástí diplomové práce jsou i grafické přílohy, které poskytují komplexnější informaci o dosažených výsledcích. Pro vyjádření horizontálních posunů jsou vhodné 2D mapy, pomocí nichž lze přehledně interpretovat relativní pohybové projevy mezi jednotlivými pilíři.

K jejich vytvoření bylo použito softwarové řešení *ArcGIS for Desktop verze 10.2* od americké firmy **ESRI**, jež slouží pro analýzu a zobrazování GIS dat, popřípadě pro správu datových souborů (geodatabáze a shapefile), a konkrétně centrální program *ArcMap*. Jedná se o aplikaci pro veškeré mapové úlohy včetně kartografie, prostorových analýz nebo editace dat. V jeho prostředí jsou k dispozici nástroje pro pohodlné zpracování vstupních dat a pro vytvoření výsledných mapových výstupů se všemi potřebnými náležitostmi. [34]

Prvním mapovým elaborátem je **přehledka observační sítě**, obsahující všech sedm pilířů. Barevně jsou odlišeny pilíře využitě ve čtvrté etapě. Jako podklad byla zvolena *ortofoto* mapa, převzatá z prohlížečí WMS služby ČÚZK, na které je dobře patrné rozmístění pilířů v zájmové oblasti. Přehledka je k dispozici v příloze č. 5.

Dalším výstupem je **mapa vektorů rychlostí**, vytvořená na podkladu *on – line geologické mapy ČR* v měřítku 1:25 000, dostupné ze serveru *České geologické služby*. Na mapě jsou vyobrazeny tektonické zlomy a vektory rychlostí, na základě kterých lze znázornit vzájemné pohyby jednotlivých bloků zemského povrchu v oblasti Tetčic. Bloky, mající různou pohybovou tendenci, byly barevně rozlišeny. Mapové dílo je obsaženo v příloze č. 7.

Jako poslední byla vyhotovena **topografická mapa**, jejímž základem je opět snímek geologické mapy 1:25 000. Dále byly vykresleny vrstevnice pro lepší vyjádření výškových poměrů zájmové lokality. Neméně důležitý je i zákres sídel a dopravních cest, který mapu doplňuje o polohopisné znázornění situace daného území. Elaborát je součástí přílohy č. 8.

5.5 Zhodnocení dosažených výsledků

Po zpracování dosavadně shromážděných dat z etapových GNSS měření lze konstatovat, že v zájmové lokalitě k určitým posunům geologických celků skutečně dochází.

Bohužel, první tři etapy byly provedeny na různých pilířích, tudíž jejich vyhodnocení nemá dostačující vypovídající hodnotu. Kvalitní porovnání vektorů rychlostí mohlo být provedeno pouze u třetí a čtvrté etapy, ze kterého je možné usoudit, že pohybové tendence zemského povrchu, způsobené stykem tektonických zlomů, jsou patrné. Důkazem jsou například praskliny ve zdech některých domů v Tetčicích nebo trhliny v silničních komunikacích. Dalším možnými vlivy, zapříčiňující pohybové projevy zemské kůry, jsou občasné *seismické jevy*, ke kterým v oblasti Boskovické brázdly dochází nebo i případně *dozvuky důlní činnosti*, spojené s těžbou černého uhlí, která byla v rosicko – oslavanské pánvi prováděna ještě v druhé polovině 20. století.

6 ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo sjednocení a přepočítání dosavadně získaných dat z epochových měření a provedení další (čtvrté) etapy observací s využitím technologie GNSS v síti hloubkově stabilizovaných betonových pilířů s nucenou centrací. Účelem bylo zjištění případných pohybových projevů zemského povrchu v oblasti obce Tetčice v tzv. Diendorfsko – čebínském zlomovém pásmu. Etapová měření v zájmové lokalitě probíhají od roku 2010. DP se zabývá horizontálními zemskými pohyby, zpracováním výškového sledování se souběžně věnuje Bc. Katarína Zajíčková ve své závěrečné práci.

4. etapa, a zároveň 5. té opakované měření v dané oblasti, byla realizována 24. a 25. června roku 2016. Pro určení prostorové polohy čtyř vybraných pilířů byla použita statická metoda s dlouhou dobou observace, přičemž parametry záznamu byly nastaveny stejně, jako tomu bylo u předchozích etap, a sice elevační maska na 10° a interval záznamu dat na 15 vteřin.

Naměřená data ze 4. etapy i ostatní dostupná data z předchozích měření byla zpracována v softwaru Leica Geo Office 8.2. Výpočty všech etap byly provedeny stejným způsobem, aby výsledky byly homogenního charakteru a bylo možné je dále vyhodnocovat. Pro připojení do referenčního systému ETRS 89 bylo využito měření stanice TUBO permanentní sítě CZEPOS.

Z dosavadně vykonaných etap je možné plnohodnotně porovnat pouze třetí a čtvrtou etapu, u předchozích byly zvoleny pozorované body nerovnoměrně, pouze s dvěma společnými pilíři. Z rozdílů délek vypočítaných vektorů lze usoudit, že k určitým pohybům zemského povrchu skutečně dochází a že oblast v okolí tektonických zlomů je geodynamicky aktivní. Výsledky jsou prezentovány v mapových výstupech s vhodnými podkladovými materiály.

Pro potvrzení pohybů geologických celků je potřebné, aby i do budoucna pozorování v oblasti Tetčic pokračovala dalšími etapami GNSS observací. Není nutné měření provádět každým rokem, dvou až tříletý cyklus by měl být dostačující pro získání relevantních výsledků pro posouzení pohybů jednotlivých zemských bloků. Bylo by vhodné, aby další etapy probíhaly pokud možno na všech sedmi pilířích, čímž by bylo umožněno sledování celé sítě a byl by pokryt větší úsek předpokládaných průběhů tektonických zlomů. Dalším možným přínosem by bylo připojení všech pilířů do nivelační sítě pomocí velmi přesné nivelace, využití ostatních geofyzikálních metod pro zjišťování aktivity zemského povrchu, případně zevrubnější propojení tetčické geodynamické sítě s permanentními GNSS sítěmi EPN a CZEPOS.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Švábenský, O., Witiska, M., Ratiborský, J., Blažek, R. and Pospíšil, L., Weigel, J.: 2011, *Preliminary results of repeated measurements in local geodynamic network Morava*. Acta Geodyn. Geomater., 8, 3 (163), 291 – 301.
- [2] Pospíšil, L., Švábenský, O., Weigel, J. and Witiska, M.: 2009, *Geodetic and geophysical analyses of Diendorf – Čebín tectonic zone*. Acta Geodyn. Geomater., 6, No. 3 (155), 309 – 321.
- [3] Pospíšil, L., Švábenský, O., Weigel, J. and Witiska, M.: 2010, *Geological constraints on the GPS and precise levelling measurements along the Diendorf – Čebín tectonic zone*. Acta Geodyn. Geomater., 7, 3 (159), 317 – 333.
- [4] Roštínský, P., Pospíšil, L. and Švábenský, O.: 2013, *Recent geodynamic and geomorphological analyses of the Diendorf – Čebín Tectonic Zone, Czech Republic*. Tectonophysics, 599, 45 – 66. DOI: 10.1016/j.tecto.2013.04.008
- [5] Český úřad zeměměřický a katastrální – oficiální webové stránky. *Geoprohlížeč* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>; upraveno.
- [6] *Tetčice – oficiální webové stránky obce* [online]. 2017 [cit. 2017 – 03 – 11]. Dostupné z: <http://www.tetcice.cz/>
- [7] Boskovická brázda. In: *Wikipedie* [online]. 7. 8. 2016 [cit. 2017 – 02 – 27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Boskovick%C3%A1_br%C3%A1zda
- [8] *Boskovická brázda – oficiální webové stránky* [online]. 2017 [cit. 2017 – 02 – 27]. Dostupné z: <http://www.boskovickabrazda.cz/>
- [9] CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J. a STRÁNÍK Z. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 436 s. ISBN 80 – 200 – 0914 – 0.
- [10] Brunovistulikum. *Moravské Karpaty – oficiální webové stránky* [online]. 2007 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/slovník-pojmu/brunovistulikum/>
- [11] ŠVÁBENSKÝ, O., FIXEL, J., WEIGEL, J.: *Základy GPS a jeho praktické aplikace*, Skriptum VUT v Brně. Brno, 1995, 123 s. ISBN 80 – 214 – 0620 – 8.
- [12] MACHOTKA, R., FIXEL, J.: *Geodetická astronomie a kosmická geodézie: Modul 01: Kosmická geodézie*, Skriptum VUT v Brně. Brno, 2007, 168 s.

- [13] HAŠOVÁ, A., KURUC, M.: *Globální navigační satelitní systémy. Implementace současných technologií GNSS do výuky družicových metod v geodézii*. Brno, 2008.
- [14] ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J., MACHOTKA, R.: *Seminář GPS: Modul 01: Metodika GPS měření a vyhodnocení*. [intranet]. 2007 [cit. 2017 – 03 – 25].
- [15] KRATOCHVÍL, V., FIXEL, J.: *Globální systém určování polohy – GPS*. Skriptum Vojenské akademie v Brně. Brno, 2001, 306 s.
- [16] NATIONAL COORDINATION OFFICE FOR SPACE – BASED POSITIONING, Navigation a Timing. *GPS.gov* [online]. February 13, 2017. [cit. 2015 – 03 – 25].
Dostupné z: <http://www.gps.gov/>
- [17] Permanentní stanice CZEPOS. *Zeměměřický úřad* [online]. [cit. 2017 – 04 – 03].
Dostupné z: <http://czepos.cuzk.cz/index.aspx>
- [18] ČÁBELKA, M.: *Úvod do GPS*, CITT Praha Akademie kosmických technologií, Oblast Galileo, GMES, 73 s.
- [19] NEVOSÁD, Z., VITÁSEK, J.: *Geodézie III, Průvodce 01, Průvodce předmětem Geodézie III*. Brno, 2005, 176 s.
- [20] ŠVÁBENSKÝ, Otakar: *Propojení permanentních a epochových GNSS sítí pro účely výzkumu recentní geodynamiky Moravy* [online]. Příspěvek na semináři Družicové metody v geodézii a katastru. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Brno, 2016. [cit. 2015 – 05 – 04].
Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/ged/GEDASP/GNSS/Prezentace2016/07_Svabensky.pdf
- [21] THE OFFICIAL SOURCE OF GEOLOGICAL HAZARD INFORMATION FOR NEW ZEALAND. *Geonet.org.nz* [online]. 2017 [cit. 2015 – 05 – 04].
Dostupné z: <http://www.geonet.org.nz/>
- [22] BERKELEY SEISMOLOGY LAB. *Bay Area Regional Deformation Network* [online]. 2016. [cit. 2015 – 05 – 04]. Dostupné z: <http://seismo.berkeley.edu/bard/>
- [23] NORTHERN CALIFORNIA EARTHQUAKE DATA CENTER. *USGS GPS data* [online]. 2013. [cit. 2015 – 05 – 04]. Dostupné z: <http://www.ncedc.org/usgs-gps/>
- [24] SCHENK, V., SCHENKOVÁ, Z., CAJTHAMLOVÁ, M., FUČÍK, Z.: *GEONAS – Geodynamic network of permanent GNSS stations within Czech Republic* [online]. 2010 [cit. 2015 – 05 – 04]. Dostupné z:

http://www.epncb.oma.be/documentation/papers/eurefsymposium2010/geonas_geodynamic_network_of_permanent_gnss_stations_Within_the_czech_republic.pdf

- [25] GEODYNAMIC NETWORK OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE CZECH REPUBLIC. *GEONAS GPS stations and observatories* [online]. 2017 [cit. 2015 – 05 – 04]
Dostupné z: <http://www.geonas.irsrm.cas.cz/>
- [26] DVOŘÁK, Jiří. *Opakovaná GPS měření na polygonu Tetčice a jejich interpretace*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Brno, 2011, 95s.
- [27] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica GPS1200: User Manual* [online]. [cit. 2017 – 04 – 23].
Dostupné z: http://www.cropos.hr/files/docs/manuals/leica_gps1200_user_en.pdf
- [28] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica GRX1200 Series: Technical Data* [online].
[cit. 2017 – 04 – 26]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Prospekty/Referencni_stanice/GRX1200/GRX1200_TechData.pdf
- [29] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica GPS Systém 500: Technical Reference Manual* [online].
[cit. 2017 – 04 – 26]. Dostupné z: http://webarchiv.ethz.ch/geometh-data/student/anleitungen/leicaman/gps_leica/e/TechRef.pdf
- [30] WITISKA, Michal. *Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na Diendorfsko – Čebínském zlomu*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Brno, 2009, 63 s.
- [31] DANIEL, Radek. *Opakovaná přesná nivelace a GPS měření na polygonu Tetčice*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Brno, 2010, 95 s.
- [32] DARMOPILOVÁ, Jana. *GPS měření na polygonu Tetčice*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Brno, 2014, 78 s.
- [33] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica Geo Office: Návod pro rychlý start* [online].
[cit. 2017 – 05 – 10]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/GPS/Navody/CZ_Rychlonavody/LGO_rychlonavod.pdf
- [34] ArcGIS for Desktop. *Geografické informační systémy – ARCDATA PRAHA* [online].
[cit. 2017 – 05 – 16]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

APR	Antenna Reference Point
BARD	Bay Area Regional Deformation Network
CZEPOS	Česká síť permanentních stanic
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
EPN	European Permanent Network
ETRS	European Terrestrial Reference System
EUREF	European Reference Frame
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma
GNSS	Global navigation satellite system
GEONAS	Geodynamic Network of the Academy of Sciences of the Czech Republic
GPS	Global positioning system
GPST	GPS Time
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
LGO	Leica Geo Office
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing and Ranging
PPM	Part Per Milion
QZSS	Quasi – Zenith Satellite Systém
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTK	Real Time Kinematic
SLR	Satellite Laser Ranging
S – JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TUBO	Technical University Brno
VESOG	Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VRS	Virtuální referenční stanice
VUT	Vysoké učení technické v Brně
WGS	World Geodetic Systém
WMS	Web Map Service
ZM 10	Základní mapa České republiky 1:10 000

9 SEZNAMY OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

9.1 Seznam obrázků

<i>Obrázek č. 1: Pohled na obec Tetčice. V pravém okraji fotografie se nachází kopec Bučín.</i>	10
<i>Obrázek č. 2: Lokalizace obce Tetčice. [5].</i>	11
<i>Obrázek č. 3: Znak obce Tetčice. [6].</i>	11
<i>Obrázek č. 4: Poloha Boskovické brázdy v ČR. [7].</i>	13
<i>Obrázek č. 5: Příčný profil Boskovickou brázdou v rosicko – oslavanské části. [9].</i>	13
<i>Obrázek č. 6: Geologické složení Boskovické brázdy. [8].</i>	14
<i>Obrázek č. 7: Družice GPS bloku IIR – M. [16].</i>	18
<i>Obrázek č. 8: Mapa rozmístění prvků řídicího segmentu GPS. [16].</i>	19
<i>Obrázek č. 9: Uživatelský segment – GPS aparatura pro přesné geodetické aplikace.</i>	20
<i>Obrázek č. 10: Síť permanentních stanic CZEPOS. [17].</i>	21
<i>Obrázek č. 11: Schéma vertikálních ofsetů aparatury Leica řady 1200.</i>	25
<i>Obrázek č. 12: Anténa Leica AT504 GG, konstrukce typu Choke – ring.</i>	26
<i>Obrázek č. 13: Schéma novozélandské GNSS monitorovací sítě. [21].</i>	27
<i>Obrázek č. 14: Schéma geodynamické sítě GEONAS. [21].</i>	28
<i>Obrázky č. 15 a 16: Úprava okolí observačních pilířů při rekognoskaci terénu.</i>	30
<i>Obrázek č. 17: Rozmístění observačních pilířů sítě Tetčice. Podklad: Prohlížeč služba WMS – ZM 10.</i>	32
<i>Obrázky č. 18 a 19: Lokalizace a detail pilíře P1 – CIST.</i>	33
<i>Obrázky č. 20 a 21: Lokalizace a detail pilíře P2 – UPOT.</i>	34
<i>Obrázky č. 22 a 23: Lokalizace a detail pilíře P3 – URAD.</i>	35
<i>Obrázky č. 24 a 25: Lokalizace a detail pilíře P4 – TROJ.</i>	36
<i>Obrázky č. 26 a 27: Lokalizace a detail pilíře P5 – BUCI.</i>	37
<i>Obrázky č. 28 a 29: Lokalizace a detail pilíře P6 – VODJ.</i>	38
<i>Obrázky č. 30 a 31: Lokalizace a detail pilíře P7 – RYBA.</i>	39
<i>Obrázek č. 32: Přijímač Leica GX1230 GG.</i>	41
<i>Obrázek č. 33: Anténa Leica AT504 GG.</i>	41
<i>Obrázek č. 34: Přijímač Leica řady SR500.</i>	42
<i>Obrázek č. 35: Anténa Leica AX1202 GG.</i>	42
<i>Obrázek č. 36: Schéma vertikálních vzdáleností použité antény.</i>	43
<i>Obrázek č. 37: Schéma počítaných vektorů v softwaru Leica Geo Office 8.2.</i>	49
<i>Obrázek č. 38: Porovnání 0. a 1. etapy.</i>	55
<i>Obrázek č. 39: Porovnání 1. a 3. etapy.</i>	56
<i>Obrázek č. 40: Porovnání 3. a 4. etapy.</i>	57

9.2 Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1: Přibližné souřadnice pilířů v S – JTSK.</i>	31
<i>Tabulka č. 2: Orientační vodorovné vzdálenosti mezi pilíři.</i>	31
<i>Tabulka č. 3: Použité přijímače a antény na jednotlivých pilířích.</i>	40
<i>Tabulka č. 4: Prostorové geodetické souřadnice bodů 0. etapy.</i>	52
<i>Tabulka č. 5: Prostorové geodetické souřadnice bodů 1. etapy.</i>	52
<i>Tabulka č. 6: Prostorové geodetické souřadnice bodů 3. etapy.</i>	53
<i>Tabulka č. 7: Prostorové geodetické souřadnice bodů 4. etapy.</i>	53
<i>Tabulka č. 8: Rozdíly prostorových souřadnic mezi po sobě následujícími etapami.</i>	54
<i>Tabulka č. 9: Rozdíly délek vektorů mezi jednotlivými etapami.</i>	55

9.3 Seznam grafů

<i>Graf č. 1: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Vodojem.</i>	44
<i>Graf č. 2: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Bučín.</i>	45
<i>Graf č. 3: Vývoj relativní vlhkosti vzduchu v průběhu observace na bodě Bučín.</i>	45
<i>Graf č. 4: Vývoj teploty a tlaku v průběhu observace na bodě Kaple Nejsvětější Trojice.</i>	46
<i>Graf č. 5: Vývoj relativní vlhkosti vzduchu v průběhu observace na bodě Kaple Nejsvětější Trojice.</i>	46

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 _Zápisníky z GNSS měření (digitální a tištěná forma)

Příloha č. 2 _Protokoly o výpočtech v LGO (digitální forma)

Příloha č. 3 _Protokoly o transformacích (digitální forma)

Příloha č. 4 _Grafy vývoje délek vektorů (digitální a tištěná forma)

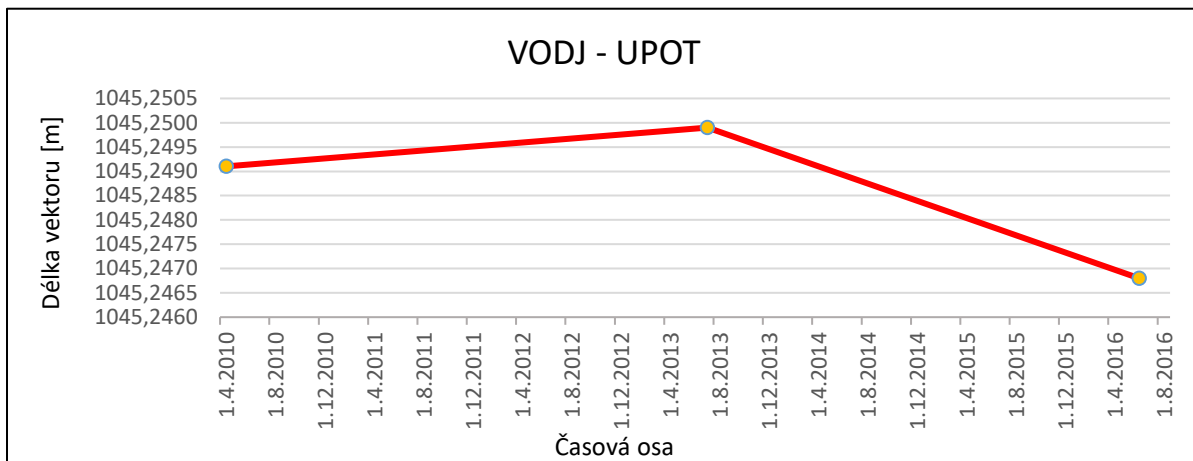
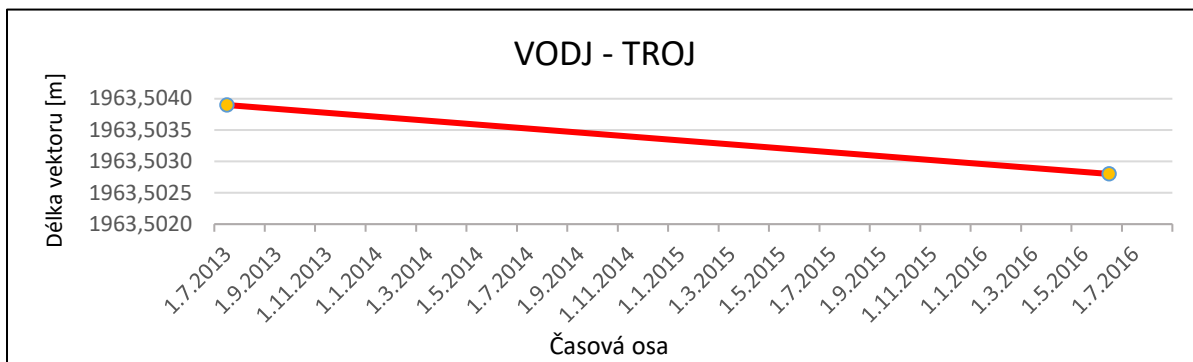
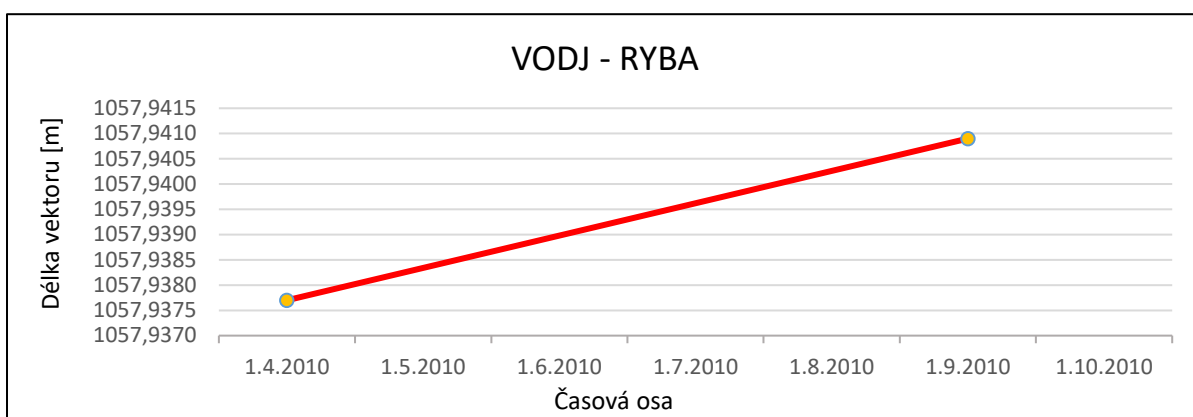
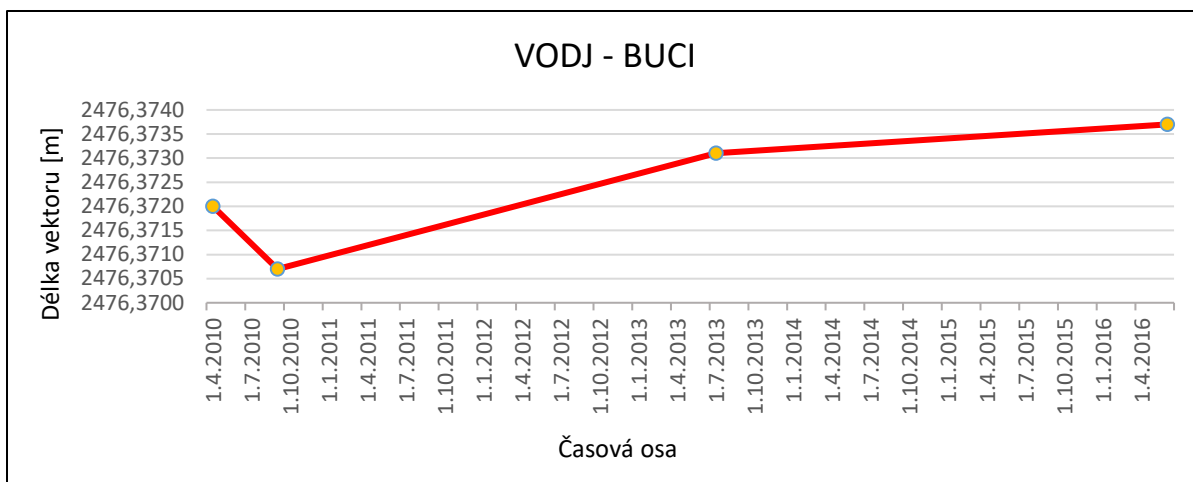
Příloha č. 5 _Přehledka měřické sítě (digitální a tištěná forma)

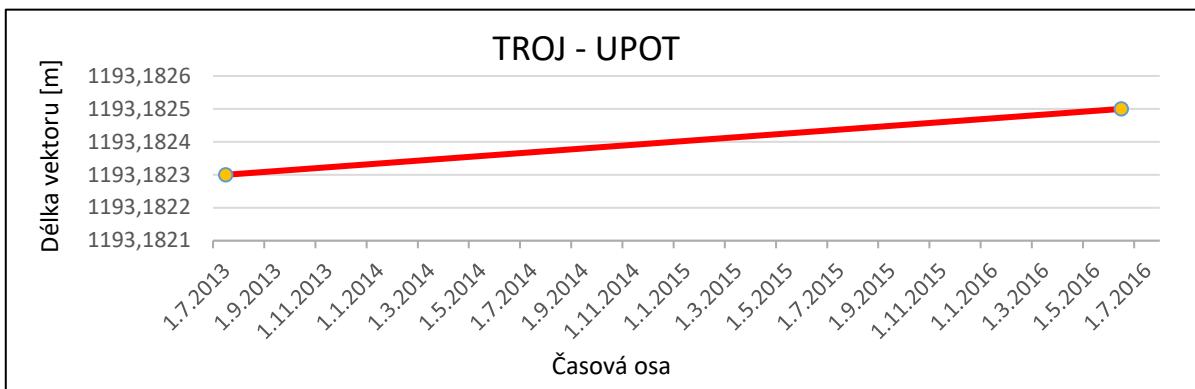
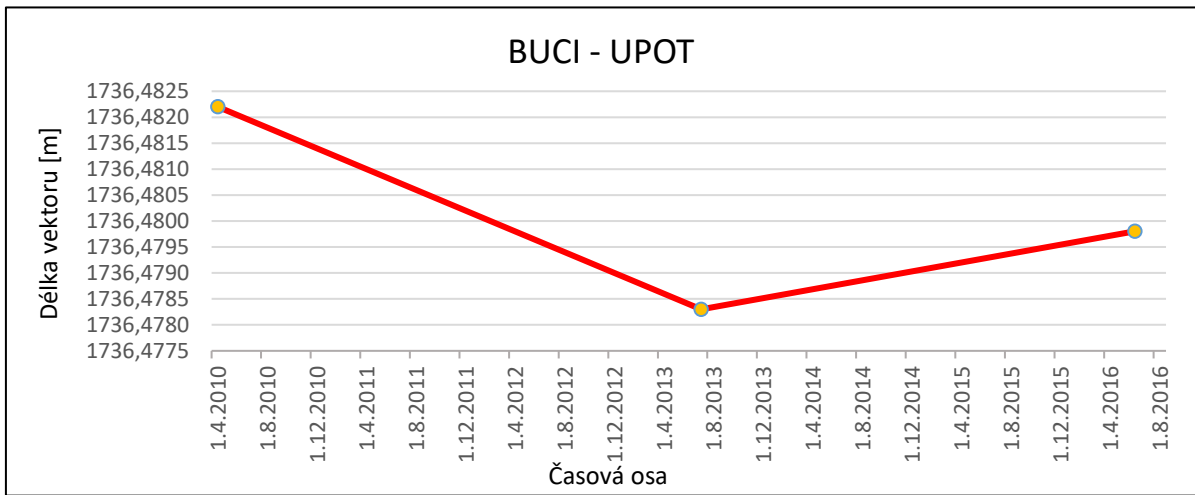
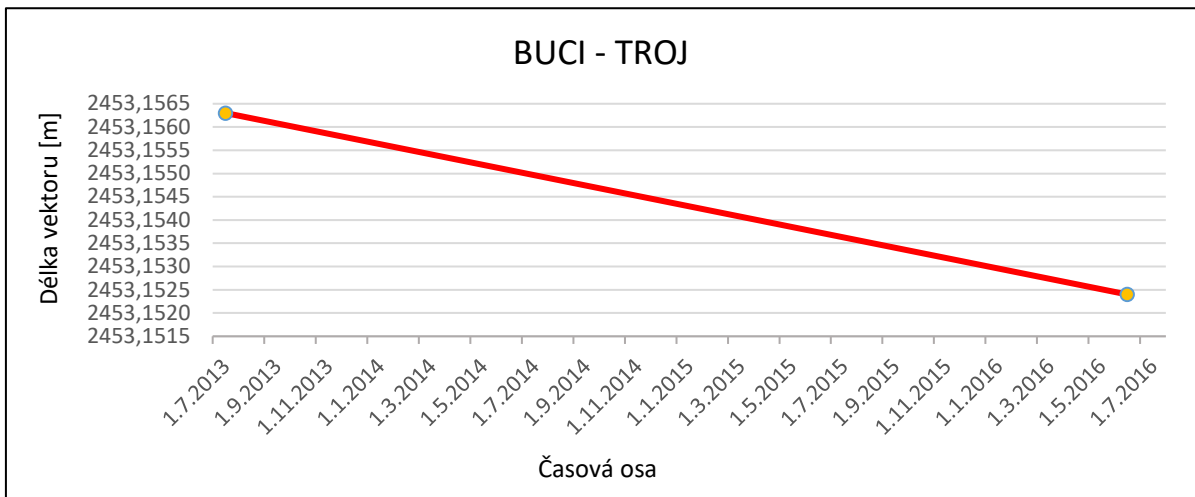
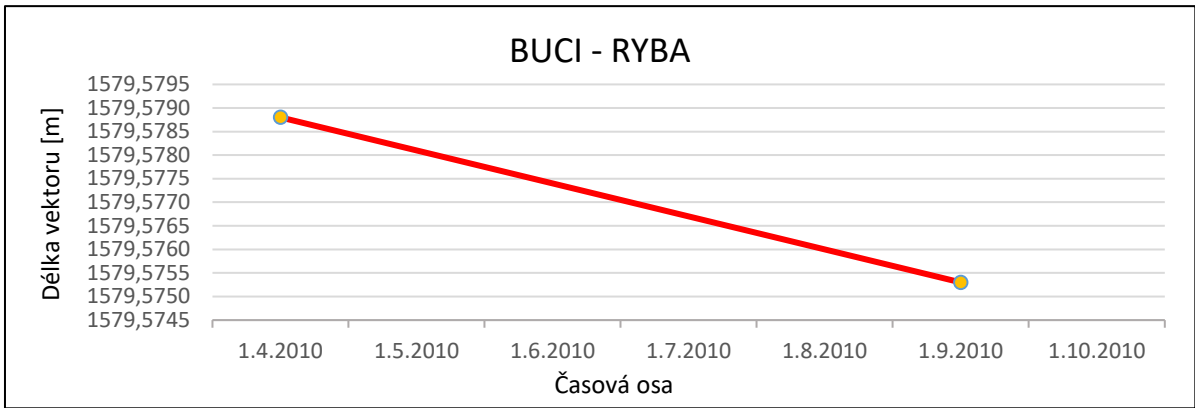
Příloha č. 6 _Geodetické údaje (digitální a tištěná forma)

Příloha č. 7 _Mapa vektorů rychlostí (digitální a tištěná forma)

Příloha č. 8 _Topografická mapa (digitální a tištěná forma)

Grafy vývoju délek jednotlivých vektorů





GEODETICKÉ ÚDAJE O BODECH V SÍTI TETČICE

Kat.území: Tetčice
Obec: Tetčice

Bod P2_UPOT	Bod zřídil (jméno, rok): VUT v Brně, Ing.Wiliska, 2009	B	49°10'22.98696''	SM5 Moravský Krumlov 5-0	
		L	16°24'22.82659''		
Plotnost od:		Místopisný náčrt			
Popis, způsob stabilizace a určení bodu Válcový betonový pilíř s nucenou centrací pro GNSS aparaturu. Typ stabilizace: Hloubková V boku pilíře čepová značka pro nivelační měření. Pilíř se nachází u silničního mostku přes potok, vedle komunikace vedoucí do obce Rosice, asi 230 metrů západně od budovy vlakové zastávky.		Elipsoidická výška H_{el}	340.4277 m		
Poznámka: Elipsoidická výška je vztažena k vršku roxoru, který se nachází v hlavě pilíře.		Nýrs nebo detail 			

Kat.území: Rosice u Brna
Obec: Rosice

Bod P4_TROJ	Bod zřídil (jméno, rok): VUT v Brně, Ing.Wiliska, 2009	B	49°10'20.09738''	SM5 Moravský Krumlov 5-0	
		L	16°23'24.15909''		
Plotnost od:		Místopisný náčrt			
Popis, způsob stabilizace a určení bodu Válcový betonový pilíř s nucenou centrací pro GNSS aparaturu. Typ stabilizace: Hloubková V boku pilíře čepová značka pro nivelační měření. Pilíř se nachází na návrší na okraji jižní části města Rosice, jižně od kaple Nejsvětější Trojice.		Elipsoidická výška H_{el}	399.1594 m		
Poznámka: Elipsoidická výška je vztažena k vršku roxoru, který se nachází v hlavě pilíře.		Nýrs nebo detail 			

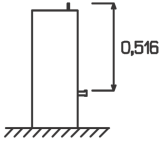
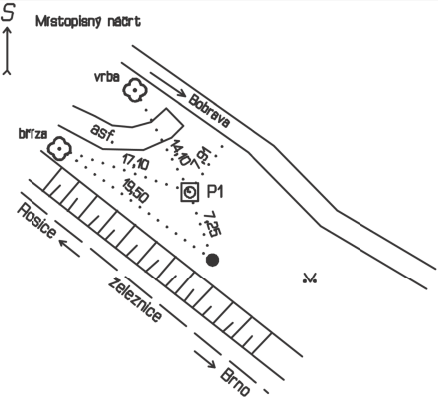
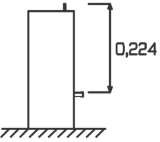
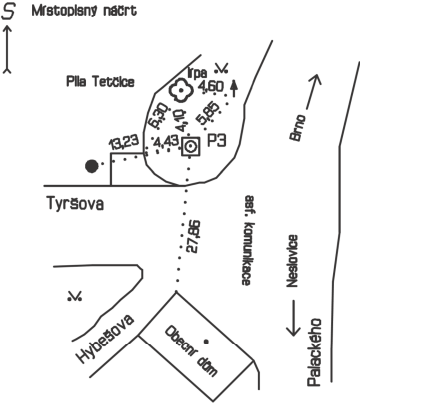
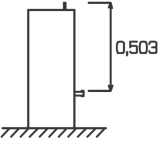
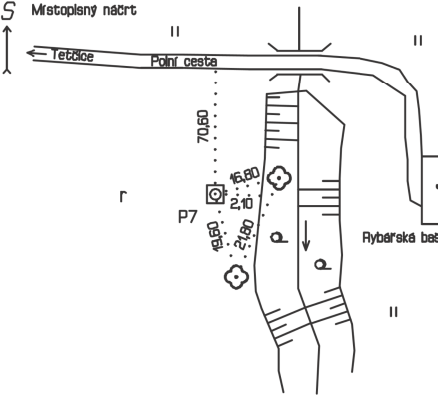
Kat.území: Tetčice
Obec: Tetčice

Bod P5_BUCI	Bod zřídil (jméno, rok): VUT v Brně, Ing.Wiliska, 2009	B	49°09'33.08520''	SM5 Moravský Krumlov 5-0	
		L	16°25'01.65955''		
Plotnost od:		Místopisný náčrt			
Popis, způsob stabilizace a určení bodu Válcový betonový pilíř s nucenou centrací pro GNSS aparaturu. Typ stabilizace: Hloubková V boku pilíře čepová značka pro nivelační měření. Pilíř se nachází v přírodním parku Bobrava, na kopci Bučín, asi 300 m J JV směrem od vrcholu a přibližně 1,5 km J JV směrem od návsi v Tetčicích. Stabilizován je v oboře lesní školky s hustým porostem, přibližně 25 m od lesní cesty.		Elipsoidická výška H_{el}	480.5240 m		
Poznámka: Elipsoidická výška je vztažena k vršku roxoru, který se nachází v hlavě pilíře.		Nýrs nebo detail 			

GEODETICKÉ ÚDAJE O BODECH V SÍTI TETČICE

Kat.území: Tetčice
Obec: Tetčice

Bod P6_VODJ	Bod zřídil (jméno, rok): VUT v Brně, Ing. Wlitska, 2009	B	49°10'52.65789''	SM5 Moravský Krumlov 5-0 Místopisný náčrt
	Platnost od:	L	16°24'47.41026''	
Popis, způsob stabilizace a určení bodu Válcový betonový pilíř s nucenou centrací pro GNSS aparaturu. Typ stabilizace: Hloubková V boku pilíře čepová značka pro nivelační měření. Pilíř se nachází poblíž vodojemu severně od Tetčic, asi 10 m západně od silnice druhé třídy číslo 394, u odbočky na obec Rosice.		Elipsoidická výška H_{el} 406.2547 m		
Poznámka: Elipsoidická výška je vztažena k vršku roxoru, který se nachází v hlavě pilíře.		Nůrys nebo detail 		

Kat. území Tětčice		GEODETIKÉ ÚDAJE O BODECH V SÍTI TĚTČICE				Str. 1
Obec Tětčice						
Bod	Trída	Bod zřídla	Y	612205,1		
P1		VUT Brno	X	1162064,1		
Orientační jízňík na bod	O	/	''	Nadm. výška (Bpv)	288,946	
	g	c	cc			
Popis , způsob stabilizace a určení bodu				Nárys nebo detail		
Betonový plřř s hloubkovou stabilizací Čepová značka pro určení výšky Značka pro postavení GPS antény						
Místoplný náčrt 						
Poznámky						
Bod	Trída	Bod zřídla	Y	613099,6		
P3		VUT Brno	X	1161881,2		
Orientační jízňík na bod	O	/	''	Nadm. výška (Bpv)	297,593	
	g	c	cc			
Popis , způsob stabilizace a určení bodu				Nárys nebo detail		
Betonový plřř s hloubkovou stabilizací Čepová značka pro určení výšky Značka pro postavení GPS antény						
Místoplný náčrt 						
Poznámky						
Bod	Trída	Bod zřídla	Y	612003,2		
P7		VUT Brno	X	1161694,6		
Orientační jízňík na bod	O	/	''	Nadm. výška (Bpv)	303,961	
	g	c	cc			
Popis , způsob stabilizace a určení bodu				Nárys nebo detail		
Betonový plřř s hloubkovou stabilizací Čepová značka pro určení výšky Značka pro postavení GPS antény						
Místoplný náčrt 						
Poznámky Nadmořská výška určena metodou GPS.						