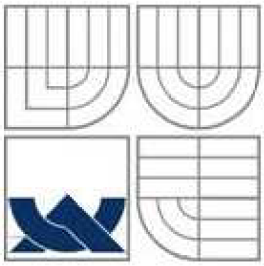
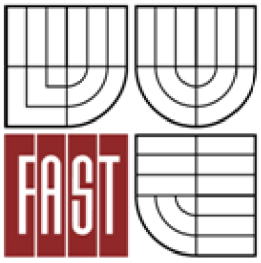


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ HORIZONTÁLNÍCH A VERTIKÁLNÍCH POSUNŮ GABIONOVÉ ZDI

DEFORMATION SURVEYING OF SUPPORTING WALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. JAKUB ZBRÁNEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. OTAKAR ŠVÁBENSKÝ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jakub Zbránek
Název	Měření horizontálních a vertikálních posunů gabionové zdi
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

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

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

Podklady a literatura

1. ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů
2. ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: Inženýrská geodézie I, M01 Základy inženýrské geodézie, VUT Brno, 2006
3. ŠVÁBENSKÝ, O; VITULA, A; BUREŠ, J.: Inženýrská geodézie I, M02 Geodézie ve stavebnictví, VUT Brno, 2006
4. Michalčák O. a kol.: Inžinierska geodézia II. Alfa Bratislava 1990

Zásady pro vypracování

Vyhodnoťte celkem 6 etap měření horizontálních a vertikálních posunů gabionové zdi v lokalitě Smědčice, okres Rokycany, silnice II.třídy č.233. Výsledkem práce bude vyhodnocení posunů. Ty budou uvedeny v přehledných tabulkách a graficky znázorněny.

Předepsané přílohy

.....

prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt
Předmětem diplomové práce je sledování horizontálních a vertikálních posunů gabionové zdi v obci Smědčice. Popsán je celý postup vyhotovení výsledného elaborátu od vybudování vztažné sítě a sítě pozorovaných bodů po závěrečné vyhodnocení. Přiblíženy jsou rovněž teoretické základy, z nichž práce vychází. Výstupem jsou grafická a tabulková znázornění, a to včetně závěrečného slovního shrnutí.

Klíčová slova
posun, pozorovaný bod, vztažná síť, střední chyba, vyrovnání, polární metoda, přesná nivelace

Abstract
The main subject of this diploma thesis is monitoring of horizontal and vertical displacements of the supporting wall in village Smědčice. The thesis describes the whole production process, from construction of the reference net and the net of observed points to the final review. There are also displayed main theoretical basis. Final outputs of the thesis are charts, graphical sketches, tables and final word summary.

Keywords
displacement, observed point, reference net, standard error, adjustment, polar survey, precise leveling
…

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jakub ZBRÁNEK *Měření horizontálních a vertikálních posunů gabionové zdi.* Brno, 2014. 36 s., 25 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc..

Prohlášení:

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

V Brně dne 30. 5. 2014

……

Bc. Jakub Zbránek

Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat prof. Ing. Otakaru Švábenskému, CSc. za odbornou pomoc a cenné rady při vyhotovování mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Brichtovi za zapůjčení měřických pomůcek a možnost použít naměřená data pro tuto práci, dále Ing. Pavle Králíčkové za pomoc při zpracování a také Petru Barvíkovi a Ondřeji Šertlovi za pomoc při měření.

V Brně dne 30. 5. 2014

Obsah

1. Úvod ..... - 9 -
2. Použité pojmy a terminologie ..... - 10 -
3. Lokalizace ..... - 12 -
3.1. Měřená lokalita ..... - 12 -
3.1.1. Obecné informace a stručná historie ..... - 12 -
3.1.2. Rekognoskace měřené lokality ..... - 13 -
4. Přípravné práce ..... - 15 -
4.1. Bodové pole v okolí lokality ..... - 15 -
4.2. Pozorované body ..... - 16 -
4.3. Vztažná síť ..... - 17 -
5. Použité metody měření ..... - 19 -
5.1. Polární metoda ..... - 19 -
5.2. Přesná nivelace ..... - 20 -
5.3. GNSS ..... - 20 -
6. Měřické přístroje a pomůcky ..... - 21 -
6.1. Trimble S6 DR 300+ ..... - 21 -
6.1.1. Přístrojové chyby ..... - 22 -
6.2. Trimble DiNi 03 ..... - 23 -
6.2.1. Přístrojové chyby ..... - 23 -
6.3. Trimble R8 ..... - 24 -
6.4. Příslušenství ..... - 24 -
7. Měřické práce ..... - 25 -
7.1. 0. etapa ..... - 25 -
7.2. Jednotlivé etapy ..... - 26 -
8. Zpracování dat ..... - 27 -
8.1. Rozbory přesnosti ..... - 27 -
8.1.1. Zákony přenášení chyb ..... - 27 -
8.1.2. Nepřímý výpočet matic parciálních derivací ..... - 28 -
8.1.3. Vyhodnocení posunů ..... - 29 -
8.2. Kancelářské práce ..... - 30 -
8.2.1. Rozbory přesnosti ..... - 30 -

8.2.2. 0. etapa ..... - 30 -
8.2.3. Jednotlivé etapy ..... - 31 -
9. Závěr ..... - 33 -
10. Seznam použitých zdrojů ..... - 34 -
11. Seznam zkratek ..... - 35 -
12. Seznam příloh ..... - 36 -

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá měřením posunů gabionové zdi a přilehlé komunikace. Předmětem pozorování jsou posuny jak horizontální, tak i vertikální. Měření posunů obecně je jednou z nejzajímavějších a zároveň nejzodpovědnějších částí inženýrské geodézie. Cílem práce je vyhodnotit, zda dochází k posunům, a pokud ano, tak určit jejich velikost. Závěry této práce budou sloužit jako podklad projektantovi, který na jejich základě navrhne případné stavební úpravy. Zde je důvod, proč je třeba celému zpracování věnovat maximální pozornost. V případě chybných či špatně interpretovaných výsledků měření ze strany geodeta by se chyba šířila dál a případné zrealizované stavební úpravy by mohly celkovou kvalitu konstrukce ještě zhoršit.

Práce je členěna do kapitol, jež se postupně věnují jednotlivým prováděným činnostem. Od úplného začátku, kdy se geodet s lokalitou seznamuje, přes první přípravné práce a výběr měřických pomůcek používaných k vlastnímu měření, až po závěrečné zpracování.

Při vypracovávání byla s maximální snahou dodržována posloupnost kapitol, tj. aby následovaly tak, jak byly práce prováděny. V některých případech je tato posloupnost mírně narušena, jelikož, tak jako v každém oboru, se jednotlivé činnosti často prolínají. Práce je tedy jako celek psána s tím, že by čtenář měl být schopen pochopit stěžejní body zpracování, či zrealizovat podobnou práci a tuto použít jako návod. Je nutné zmínit, že ke každému měření posunů má být na základě požadavků [1] vypracován projekt. Tato práce projektem podle požadavků [1] není, je na to příliš rozsáhlá, ale obsahuje všechny náležitosti projektu. Lze ji tedy brát jako jakousi rozšířenou variantu projektu měření posunů.

2. POUŽITÉ POJMY A TERMINOLOGIE

V této kapitole jsou uvedeny důležité pojmy používané v této práci. Bez jejich vymezení by mohla být práce nesrozumitelná, jelikož užívání pojmů někdy není jasně dáno. Kapitola byla zpracována s využitím [1], [3] a [7] se zdůrazněním případných odlišností v jednotlivých pojmech.

Základní hodnota veličiny je hodnota uvedená v projektové dokumentaci. V případě této práce jde o souřadnice získané v rámci nulté etapy měření či souřadnice z etapy předcházející etapě realizované.

Skutečná hodnota veličiny je hodnota získaná kontrolním zaměřením. Jde o hodnoty získané při měření jednotlivých etap měření.

Odchylka je rozdíl mezi skutečnou a základní hodnotou veličiny. Jde o odchylky mezi realizovanou a nultou etapou či mezi realizovanou a jí předcházející etapou.

Podélná odchylka je odchylka ve směru spojnice bodů.

Příčná odchylka je odchylka v kolmém směru na spojnici bodů.

Polohová odchylka je odchylka vytyčeného bodu ve vodorovné rovině a je vypočtena ze dvou navzájem kolmých odchylek (ve směru souřadnicových os nebo z podélné a příčné odchylky) jako odmocnina ze součtu jejich druhých mocnin.

Základní střední chyba je chyba daná volbou přístroje, metody měření a okolnostmi při měření, prakticky je určena jako střední chyba z rozsáhlého souboru měření.

Střední chyba je charakteristika přesnosti vypočtená z malého souboru měření ze vzorce $m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}-x_i)^2}{n-1}}$, kde $\bar{x}$ je aritmetický průměr, x_i jsou jednotlivá měření a n je počet měření.

Střední chyby jednotlivých souřadnic (m_x , m_y) jsou charakteristiky přesnosti určení polohy bodu ve směru jednotlivých souřadnicových os.

Střední polohová chyba je charakteristika přesnosti určení polohy vypočtená ze vzorce $m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$.

Střední souřadnicová chyba je charakteristika přesnosti polohy bodu vypočtená ze vzorce $m_{xy} = \sqrt{\frac{m_x^2+m_y^2}{2}}$.

Relativní střední chyba je chyba, která zahrnuje vliv pouze měřených veličin za předpokladu bezchybnosti výchozích veličin.

Souhrnná střední chyba je chyba, která zahrnuje vliv chyb výchozích veličin i veličin měřených.

Konfidenční interval je interval, který se zvolenou pravděpodobností (rizikem) obsahuje hodnotu dané veličiny, je dán násobkem součinitele konfidence a základní střední chyby.

Součinitel konfidence je faktor, kterým se volí šířka konfidenčního intervalu. Vzhledem ke zvolené pravděpodobnosti (riziku) se volí zpravidla v rozmezí 2 – 3.

Pozorovaný bod je bod osazený na sledovaném stavebním objektu.

Vztažná soustava (soustava vztažných bodů) je soubor vztažných bodů, které jsou stabilizovány mimo sledovaný stavební objekt a mimo vlivy deformací.

Připojovací bod je bod, který slouží pro polohové a výškové připojení *vztažné sítě*.

Stanovisko je bod *vztažné sítě*, z něhož bylo pomocí měřících přístrojů provedeno měření.

Ověřovací bod je bod, který slouží k ověření stálosti bodů *vztažné sítě*.

Orientace (orientační bod) je bod sloužící k orientaci směrových osnov.

Relativní posun je změna detekovaná v soustavě pozorovaných bodů.

Absolutní posun je změna vzhledem k *vztažné síti*. Předmětem této práce je zkoumání právě těchto druhů posunů.

Sedání, zdvih je svislý posun směrem dolů, nahoru. V textu práce je častěji používáno pojmu *vertikální posun*. Pod pojmem *posun* je chápán pohyb v horizontálním i vertikálním směru.

Etapová měření jsou opakovaná měření pozorovaných bodů ve vztahu k bodům vztažné sítě v pravidelných, předem stanovených intervalech.

3. LOKALIZACE

Důležitou a velmi podstatnou činností před samotným měřením je vyhledání měřené lokality a následné naplánování cesty. K tomuto účelu jsou nejčastěji používány internetové mapové portály. Jejich neustále se rozvíjející funkce a aktualizace dat dovolují poskytnout velmi podrobnou informaci o zájmovém území. Hlavně ve větších městech si lze díky šikmým snímkům a tzv. „StreetView" lokalitu prohlédnout velice podrobně.

Pro vyhledání lokality bylo použito [5]. Výsledkem jsou následující mapy, které byly následně upraveny v grafickém programu FSViewer.

3.1. Měřená lokalita

3.1.1. Obecné informace a stručná historie

Měřená lokalita se nachází v obci Smědčice, přibližně 15 km severovýchodně od centra západočeské metropole Plzně.

Obr.1: Obec Smědčice a její blízké okolí, ve výřezu její poloha vzhledem k městu Plzni (zdroj: Jakub Zbránek, [5])

První zmínky o této nevelké obci pochází z roku 1243. Z památek stojí za povšimnutí kaplička sv. Václava na návsi z roku 1850. Na ní je mj. osazen nivelační bod Bg014-16, který sloužil pro výškové připojení vztažné sítě. Hlavní památkou je ovšem 37 metrů vysoký a 100 metrů dlouhý železniční most, jenž překlenuje hluboké údolí nad řekou Klabavou.

3.1.2. Rekognoskace měřené lokality

Lokalita je situována na západním okraji obce. Konkrétně na příjezdu do obce po silnici II.třídy č.233.

Obr.2: Letecký snímek obce a poloha lokality (zdroj: [5])

V dotyčném místě je rokle. Ta se ze severní strany svažuje od silniční komunikace II/233, z jižní strany od oplocených soukromých pozemků, z východní od místní nezpevněné komunikace a směrem na západ odsud odtéká potok. Tento potok přitéká do rokle propustkem, který ústí z východního svahu.

Jižní svah, jako jediný, není ani z části upraven jakýmikoli pevnými stavebními konstrukcemi. Jelikož není nijak výrazně zatěžován, nejsou vidět žádná poškození ani náznaky sesunů. Jeho stabilitě určitě svědčí kořenový systém na něm vzrostlých stromů a náletový porost.

Na východním svahu jsou již viditelné známky sesuvu půdy. Tento svah není nijak výrazně zpevněn, jen u jeho paty je kolem ústícího propustku provedeno obetonování. Sesuv v této části rokle je spíše než provozem na přilehlé místní komunikaci způsoben podzemní vodou. V místě sesuvu není na rozdíl od zbylé části východního svahu žádný porost, který by mohl vylepšit stabilitu. Tento svah ovšem není předmětem měření.

Předmětem měření je severní svah, který přiléhá ke komunikaci II/233. Konkrétně se jedná o tu část svahu, kde je vybudována gabionová zeď. Ta má sloužit k vyztužení tohoto svahu a bránit jejímu sesuvu. Tuto funkci však neplní dostatečně. Ve vozovce jsou patrné praskliny a ve svahu jsou viditelné známky pohybu půdy od komunikace.

Gabionová zeď se skládá z několika částí, jež jsou uspořádány v různých směrech a výškových úrovních. Výškový rozdíl mezi korunou vozovky a hlavou zdi je přibližně stále stejný, a to okolo 5 metrů. Obdobně vysoká je rovněž zeď samotná. Stav lokality si lze prohlédnout na následujících fotografiích pořízených dne 19. 4. 2013. Další fotografie ze stejného dne jsou z důvodu přehlednosti práce řazeny v příloze (Příloha č.1).

Obr.3: Pohled východním směrem, od silnice do rokle

Obr.4: Pohled SZ směrem, sesuv východního svahu a gabionová zeď

4. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Součástí této kapitoly je popis prací, které bylo nutné provést před zahájením vlastního měření posunů. Každý projekt je individuální, a proto není nikdy jednoznačně dán přesný a určující postup prací. Některé z následujících úkolů (např. vyhledání bodů bodových polí) byly provedeny již před samotnou rekognoskací lokality v terénu. Jelikož však tyto práce nemají v případě této zakázky vliv na výsledek rekognoskace, jsou pro větší souvislost začleněny v této kapitole.

4.1. Bodové pole v okolí lokality

Vyhledání bodů bodových polí je v dnešní době otázkou několika vteřin, maximálně minut, a to díky rozvoji výpočetní techniky a dostupnosti internetu.

Správu a údržbu databáze bodových polí má na starosti *Zeměměřický úřad* (ZÚ). Body jsou vedeny v příslušných technických jednotkách a informace o nich jsou veřejně přístupné na stránkách *Českého úřadu zeměměřického a katastrálního* (ČÚZK) [6]. Nalezené geodetické údaje (GÚ) lze okamžitě vytisknout (viz příloha č.12), což velice usnadňuje a především zrychluje práci.

Postupů jak získat potřebné údaje je mnoho. Za nejjednodušší považuji možnost vyhledání přes Geoprohlížeč ČÚZK. Lokalitu lze nalézt „scrollováním“ myší a jako vedlejší výstup je zároveň vytvořena i přehledka bodů (Obr.5). Další možnosti vyhledávání již vyžadují znalosti o lokalitě (např. název k.ú., číslo TL, střed v souřadnicích S-JTSK apod.).

Obr.5: Bodové pole v okolí lokality (zdroj: Jakub Zbránek, [6])

4.2. Pozorované body

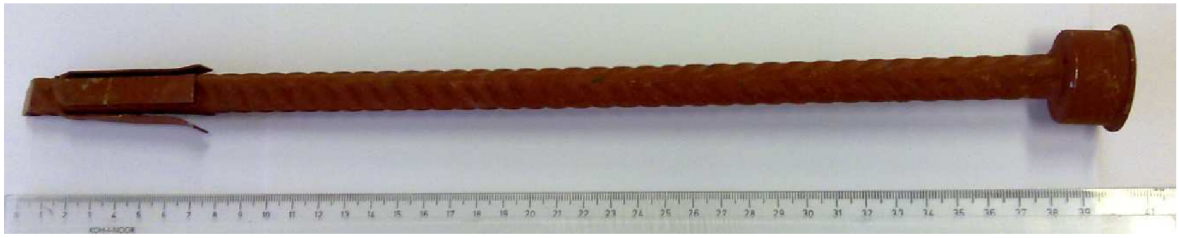
Mezi nejdůležitější úlohy při měření posunů objektů patří správná volba a stabilizace bodů, a to jak bodů, které budou pozorovány, tak i bodů vztažné sítě. Nejdříve budou popsány pozorované body. Ty mohou být osazeny mnoha různými způsoby. Ať je to z pohledu použité stabilizace (např. pomocí hřebů, nalepovacích odrazných značek), či z pohledu rozmístění vůči očekávaným nebo již probíhajícím deformacím (rovnoměrně pokrývající celou pozorovanou lokalitu, nerovnoměrně v místech deformací).

Na základě poznatků získaných během rekognoskace bylo přikročeno ke stabilizaci pozorovaných bodů ve vozovce a na hlavě zdi. Vzhledem k rozdílným typům povrchů musely být zvoleny různé typy stabilizací.

Pro body na vozovce byly vybrány měřické hřeby délky 50 mm se zakulacenou hlavou s důlkem (Obr.6). Celkem bylo takto osazeno 10 bodů, a to ve dvou řadách po pěti. Jedna řada hřebů je na okraji vozovky u pozorovaného svahu. Druhá řada je umístěna přibližně ve středu vozovky, 3 metry od první řady. Vzdálenosti mezi body v jednotlivých řadách jsou 6 metrové. Rozmístění těchto bodů je provedeno tak, že pokrývají oblast deformací asfaltového krytu vozovky a její okolí.

Obr.6: Měřický hřeb, stabilizace bodů ve vozovce

Body na hlavě zdi byly stabilizovány odlišným způsobem. Konstrukce gabionové zdi, která spočívá v ovázání určitého množství na sebe volně naskládaných kamenů, vyžaduje důkladnější způsob. Proto byly zvoleny větší a masivnější „hřeby“. Jedná se o 40 cm dlouhé roxory mající na jedné straně seříznutou špičku a na druhé zakulacenou hlavu (Obr.7). V plánovaných místech osazení byl nejdříve na povrch kamenů položen



Obr.7: Stabilizace bodů na hlavě gabionové zdi

beton a okamžitě poté, před jeho zatuhnutím, zatlučeny tyto roxory. Obetonování bylo zvoleno právě kvůli konstrukci gabionové zdi. Bez něho by totiž nemusela být zajištěna dostatečná stabilizace vzhledem ke zdi jako celku, roxor by se mohl hýbat mezi kameny v jeho okolí. Celkem bylo tímto způsobem do hlavy gabionové zdi osazeno 10 bodů. Uspořádány jsou v jedné řadě, vzdálenosti mezi sousedními body se pohybují v rozmezí od 1,2 do 3 metrů v závislosti na konstrukčním uspořádání zdi. Svým rozmístěním body pokrývají celou délku pozorované zdi.

Alespoň částečnou představu o rozložení bodů v terénu si lze udělat na základě fotografií, které jsou součástí přílohy č.2.

4.3. Vztažná síť

Základním předpokladem pro získání reprezentativních výsledků měření posunů je realizace stabilní vztažné sítě. Pokud není zaručena její stabilita, tak je i to nejkvalitnější měření od počátku znehodnoceno. Proto je nutné u každého bodu vztažné sítě dbát na jeho dostatečnou stabilitu a zvážit vlivy, které mohou na body působit. Body vztažné sítě je tedy žádoucí volit v bezpečné vzdálenosti od pozorovaných objektů, aby nebyly ovlivněny samotnými posuny.

Při volbě bodů vztažné sítě je samozřejmě nutné vycházet z možností, které jsou dány poměry v dotčené lokalitě. Jde především o bodové pole v blízkém okolí lokality a jeho posouzení z hlediska využitelnosti pro zamýšlený úkol. V případě této práce bylo nutné stabilizovat vlastní body poblíž lokality.

V okolí nejsou vhodné body především pro polohové připojení. V širším okolí (viz Obr.5) jsou jen body podrobného polohového pole (BPPP), čísla 526, 527 a 530 – 532. Ty jsou však jednak příliš vzdálené a díky poloze lokality z horizontu přístroje neviditelné, ale také jejich přesnost není příliš ideální. A to jak z technického hlediska (m_{xy} = 0,06 m), tak i praktického. Jsou totiž ve většině stabilizovány rohy budov, což v době zateplování budov a nedostatečné údržby směřuje k jejich zániku. Tyto body tedy nebyly brány v úvahu. Pro výškové připojení již v okolí jsou vhodné body. Jak lze vidět na Obr.5, ve vzdálenosti okolo 250 metrů od lokality se nachází nivelační bod Bg014-16, jde tedy o bod IV.řádu. Tento bod byl použit jako ověřovací a také pro výškové připojení lokality, nikoliv jako bod vlastní vztažné sítě. Jeho značná vzdálenost od lokality by bezdůvodně prodlužovala jednotlivá etapová měření, která by se tím stala ekonomicky nevýhodnými.

Jednotlivé body vztažné sítě byly v závislosti na účelu a místních podmínkách stabilizovány různými způsoby. Jelikož se lokalita nachází ve svahu nad roklí (viz Obr.3, Obr.4 a příloha č.1), jsou zde omezené prostorové možnosti. Nebylo tedy možné vytvořit „ideální“ síť, kde by byly body rovnoměrně rozloženy.

Síť byla pro zjednodušení a urychlení měřických prací při jednotlivých etapových měřeních navržena tak, aby mohly být všechny pozorované body zaměřeny z jednoho volného stanoviska s orientacemi na všechny body vztažné sítě. Stabilizováno bylo celkem 5 bodů, a to 2 body pomocí měřických hřebů délky 60 mm (Obr.8), 1 bod pomocí odrazného terče o rozměrech 40 x 40 mm (Obr.9) a pro poslední 2 body bylo využito betonových zdí, na nichž byl bod vyznačen křížkem pomocí fixu (Obr.10).

Obr.10: Měřický hřeb

Obr.9: Odrazný terč

Obr.8: Stabilizace na zdech

Jak bylo již zmíněno, odlišná stabilizace byla zvolena s ohledem na zamýšlenou funkci každého bodu. Zatímco body stabilizované pomocí rohů zdí a odrazného terče slouží jen pro polohové určení, tak body realizované měřickými hřeby slouží i jako výškové fixy pro měření vertikálních posunů.

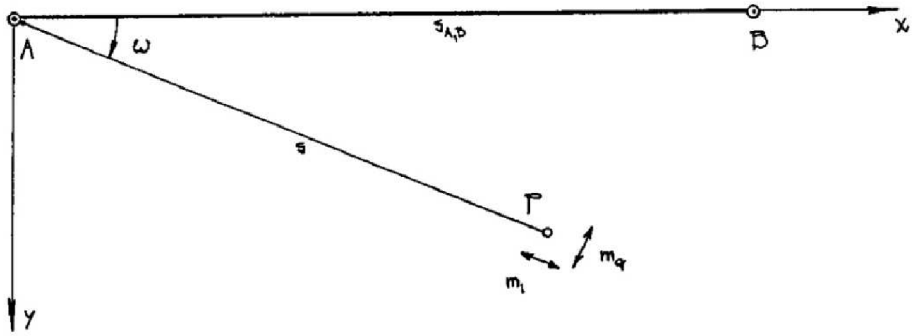
5. POUŽITÉ METODY MĚŘENÍ

Tato kapitola se věnuje stručnému popisu metod měření, které byly použity pro zaměření vztažné sítě a při vlastním měření posunů. Tyto metody byly voleny s ohledem na místní podmínky, na jejich praktičnost, která silně souvisí s ekonomičností prací, dále z pohledu dostupných měřických pomůcek, ale především podle přesnosti, které jednotlivé metody nabízejí.

5.1. Polární metoda

Polární metoda je v současnosti nejpoužívanější metodou měření. Souvisí to s vysokou rychlostí měření, nenáročností na personál a také univerzálností této metody. Oproti všem ostatním metodám totiž nabízí řešení za jakékoli konfigurace bodů.

Jak již bylo uvedeno, polární metoda je hojně rozšířena a její znalost je základem pro každého geodeta. Proto je popsána ve velkém množství literatury, namátkou [7], [8]. Souřadnice měřených bodů jsou vypočteny ze souřadnic známých bodů s pomocí měřených veličin, jimiž jsou délka s a příslušný vodorovný úhel ω. Ten je měřen od spojnice výchozích bodů AB (viz Obr.11).



Obr.11: Schéma zjednodušené polární metody s vyznačením přesností ovlivňujících měření (zdroj: [7])

Výpočetní vztahy pro jednotlivé souřadnice jsou následující:

$$Y_P = Y_A + s * sin\omega$$
$$X_P = X_A + s * cos\omega$$

Výpočetní vztahy jsou velice důležité, jelikož mohou být jedním ze způsobů, jak získat charakteristiky přesnosti metody. Dalším způsobem, jenž je naznačen i v Obr.11, je vyjádření přesnosti ve dvou kolmých složkách m_q a m_l. Složky se vypočítají pomocí vztahů

$$m_q = s * m_\omega$$
$$m_l = m_s ,$$

kde hodnoty m_ω a m_s získáme z parametrů přístroje. Jde o nejjednodušší způsob zjištění přesnosti, ale získáváme tím jen relativní charakteristiky přesnosti. Poslední postup řešení charakteristik přesnosti je řešen v kapitole věnující se zpracování měření.

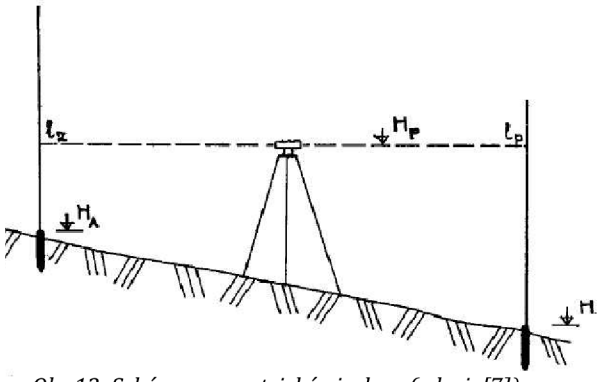
5.2. Přesná nivelace

Pro měření vertikálních posunů lze využít mnoha různých metod. Jejich výběr je stejně jako u polohových měření závislý na přesnosti, kterou očekáváme či chceme dosáhnout. Proto se často volí metoda geometrické nivelace, ze které je metoda přesné nivelace odvozena. Oproti dalším metodám totiž poskytuje velmi dobrou přesnost (oproti trigonometrické nivelaci nebo GNSS měřením) i rozsah použití v terénu (oproti hydrostatické nivelaci) a zároveň není příliš náročná na vybavení.

Postup při měření geometrickou nivelací je patrný z Obr.12. Výšku měřeného bodu H získáme použitím vzorce

$$H = H_A + (l_z - l_p),$$

kde H_A je výška výchozího bodu a hodnoty l_z, l_p hodnoty čtení na lati. Tento výraz je znovu velice důležitý při zpracování pro získání charakteristik přesnosti (kapitola 8.).



Obr.12: Schéma geometrické nivelace (zdroj: [7])

Přesná nivelace, jak už bylo zmíněno, je odvozena z geometrické nivelace. Liší se použitím přesnějších přístrojů a příslušenství, což klade větší důraz na pracovníky. Ti musí zacházet s vybavením s větší ohleduplností a důsledně dodržovat zásady měření, jinak by naměřená data neměla potřebnou přesnost.

5.3. GNSS

Metoda měření pomocí globálních navigačních systémů (GNSS) je v současné době rovněž velmi hojně využívána. Metoda poskytuje prostorové souřadnice přijímače, které jsou určeny pomocí družic jednotlivých systémů (Tab.1). Jejich přesnost se v závislosti na typu přijímače a způsobu měření liší. Od desítek metrů u běžných turistických a autonavigací až do jednotek cm, případně mm u geodetických přijímačů.

Název systému	Provozovatel	Počet družic
NAVSTAR GPS	Min.obr. USA	31
GLONASS	Min.obr. Ruska	29

Tab.1: Současné plně funkční GNSS (údaje dle [10] a [11] ke dni 30.4.2014)

K dosažení vyšších přesností je v geodézii užíváno přijímačů, které kromě příjmu signálu z družic zároveň přijímají data z referenčních stanic, či dokonce z celých sítí těchto stanic. Na základě délky měření a tedy i délky příjmu dat z permanentních stanic se rozlišuje několik typů měření. Dnes se užívá v podstatě jen 2 metod, a to:

- *Statická metoda* – dlouhodobá měření (hodiny či dny), kdy lze dosáhnout až mm přesnosti
- *RTK (Real Time Kinematic)* – krátká měření (sekundy či minuty), kdy je dosahováno cm přesnosti

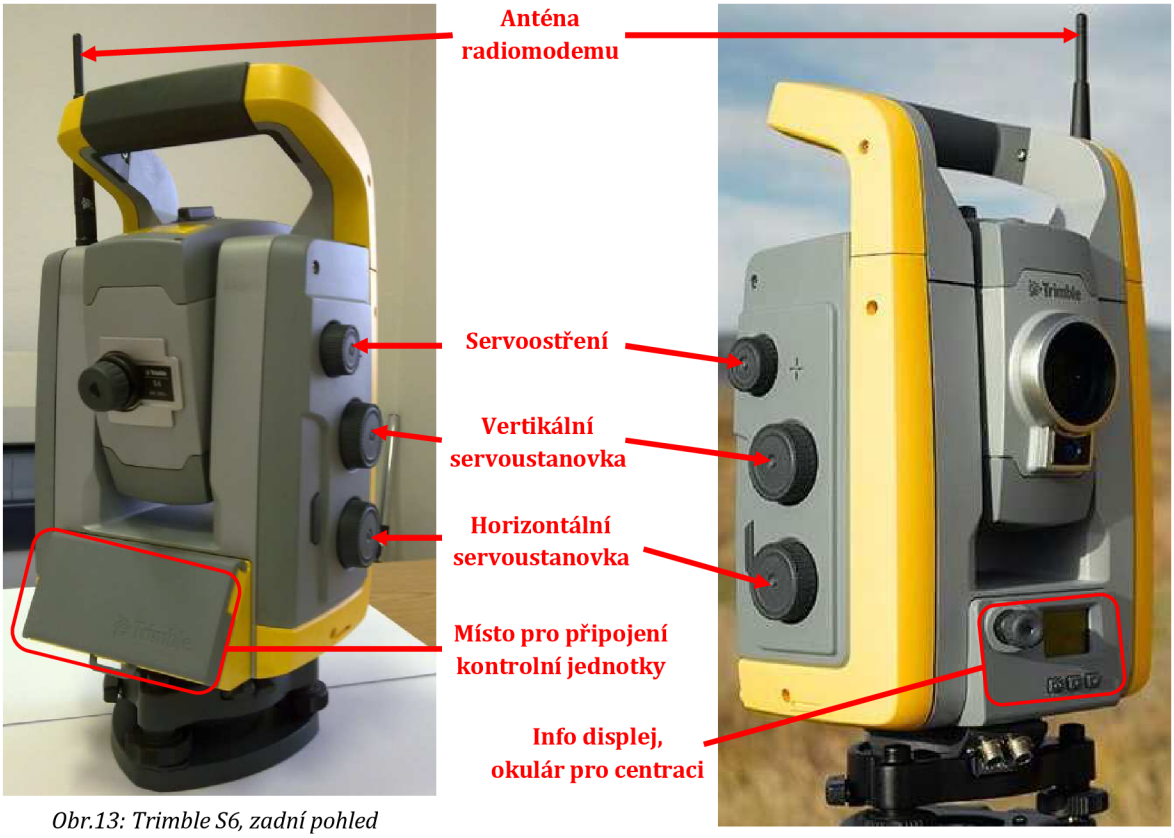
Obecně lze tedy říci, že delší doba měření zaručuje přesnější výsledky. Samozřejmě za dodržování podmínek metody (nezastíněný obzor, stabilita přístroje atp.).

6. MĚŘICKÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY

V rámci této kapitoly jsou představeny přístroje, které byly zvoleny k měření. Výběr proběhl s ohledem na jejich přesnost a vlastnosti, kterými usnadňují a urychlují průběh měření. Zároveň jsou popsány přístrojové chyby, na které je nutné dávat pozor.

6.1. Trimble S6 DR 300+

Tato totální stanice od firmy Trimble (dříve Geodimeter) je na trhu již od roku 2005. Přestože je to již dlouhá doba, technologie, které nabízí, jsou stále na takové úrovni, že tento přístroj plně vyhovuje naprosté většině praktických úloh.



Obr.13: Trimble S6, zadní pohled

Obr.14:Trimble S6, přední pohled

Jedná se o tzv. modulární systém. K totální stanici lze pořídit velké množství příslušenství (odrazné hranoly, kontrolní jednotky) či ji propojit s ostatními přístroji (např. GNSS rovery), které umožní „poskládat“ měřící systém přesně podle individuálních požadavků a získat tak kontrolu nad celým měřením v jednom zařízení.

Jak bylo již zmíněno, totální stanice nabízí velké množství technologií. Uveden je přehled nejpodstatnějších získaný z technického popisu totální stanice a [13].

- *MagDrive™* - elektromagnetický servopohon s nekonečnými ustanovkami
  - rychlost rotace kolem své osy => 3,1 s
- *MultiTrack™* - samostatné vyhledávání a pozorování hranolu

Díky těmto technologiím nabízí totální stanice tzv. robotické měření, kdy je přístroj ovládán od hranolu. Přístroj pomocí funkce *AUTOLOCK* automaticky cílí a komunikuje s kontrolní jednotkou přes radiomodem o frekvenci 2,4 GHz. Geodet tedy měření zvládne naprosto sám. Pro snadnější práci je příznivá i její hmotnost, ta se pohybuje lehce nad 5kg.

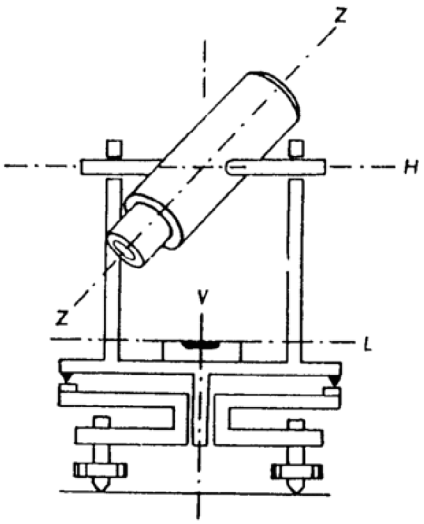
Totální stanice se vyrábí v několika specifikacích, které se liší podle přesnosti měřených úhlů a délek. Tyto údaje se musí pravidelně kontrolovat, aby chyby nezatěžovaly vlastní měření více, než je deklarováno výrobcem. Za tímto účelem je prováděna kalibrace přístrojů ve specializovaných laboratořích. Ty vystavením kalibračního listu (KL) osvědčí splnění nároků na přístroj a zároveň do něj uvedou i hodnoty nejistot měřených veličin. Příkladem je KL použitého přístroje v příloze č.3.

Další důležité technické údaje o přístroji z technického popisu:

- Dalekohled – optika Carl Zeiss, zvětšení 30x, ostření od 1,5 metru do ∞
- Přesnost horizontce přístroje – krabicová libela 8´/2mm
  – elektronická libela 0,3´´(1^{cc})
- Robotické měření – v závislosti na atmosférických podmínkách dosah až 700 metrů
- Dálkoměr – pulsní laser třídy I
  – dosah – na hranol 2-5500 metrů, bez hranolu 5-300 metrů

6.1.1. Přístrojové chyby

Každá totální stanice je ve svém základu teodolitem. Proto je nutné zde zmínit chyby při měření úhlů, na které je potřeba si dávat veliký pozor u každého měření. I když se postupným vývojem technologií velké množství chyb způsobených přístroji podařilo odstranit, některé z nich stále zůstávají. Chyby jsou sice velmi malé, ale u přesných prací v oblasti inženýrské geodézie, čímž je například měření posunů, by mohly nepříznivě ovlivnit výsledky. Chyby, které nejčastěji ovlivňují měření, vycházejí z osových podmínek teodolitu, viz Obr.13, a jsou nejčastěji způsobeny používáním či nesprávným zacházením s přístroji, výjimečně se může jednat o zbytkové chyby při výrobě.



Obr.15: Osové podmínky teodolitu (zdroj:[12])

Stručný přehled 3 hlavních chyb při měření horizontálních úhlů, které vycházejí z osových podmínek teodolitu (Obr.13):

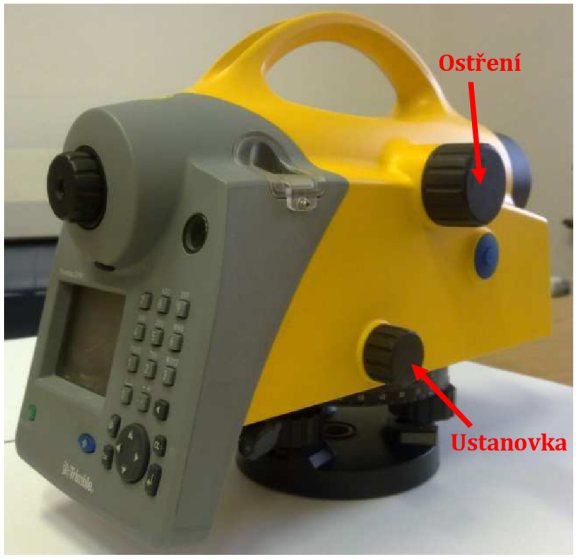
- *Kolimační chyba (nesplněno Z ⊥ H)*
  - záměrná přímka není kolmá na klopnou osu dalekohledu
  - velikost vzrůstá se sklonem záměry
  - lze vyloučit měřením ve 2 polohách dalekohledu

- *Úklonná chyba (nesplněno $V \perp H$)*
  - točná (vertikální) osa přístroje není kolmá na klopnou osu dalekohledu
  - velikost vzrůstá se sklonem záměry
  - lze vyloučit měřením ve 2 polohách dalekohledu
- *Chyba z nesvislé osy alhidády (nesplněno $V \perp L$)*
  - točná (vertikální) osa přístroje není kolmá na osu alhidádové libely
  - nelze vyloučit měřením ve dvou polohách dalekohledu
  - nejčastěji vzniká nesprávným (nedostatečným) urovnáním přístroje

6.2. Trimble DiNi 03

Přístroj Trimble DiNi 03 je nejpřesnější nivelační přístroj od této americké firmy. Jedná se o digitální přístroj, umožňuje tedy, kromě klasického optického čtení, i digitální čtení stupnice latě. To ve spojení se záznamem do interní paměti vede k výraznému zrychlení měření a zároveň k eliminaci náhodných chyb při čtení a záznamu, které bývají nejčastějšími a největšími chybami při měření.

Přístroj je vybaven optikou Carl Zeiss, která v případě tohoto modelu nabízí 32x zvětšení a stabilním kompenzátorem. Nabízí rovněž velké množství funkcí, kromě běžného měření také výškové vytyčování a dokonce i vyrovnání nivelačního pořadu přímo v přístroji. Z praktického hlediska je významná dlouhá výdrž baterie (dny stálého měření) a velikost paměti, kde je uváděna velikost až pro 30 000 měření.



Obr.16: Trimble DiNi 03

Stejně jako u totálních stanic je i u nivelačních přístrojů důležité pozorovat, zda přístroj stále nabízí technické parametry udávané výrobcem. Kontrolu lze provést buď vlastními prostředky zkouškou nivelačního přístroje, nebo dát přístroj kalibrovat v laboratoři. Kalibrační list k použitému přístroji je znovu součástí přílohy (příloha č.3).

6.2.1. Přístrojové chyby

Obdobně jako totální stanice, i nivelační přístroje mají osové (geometrické) podmínky, které musí být dodrženy. Jedná se o tyto 3 podmínky:

- $L' \perp V$ – osa krabicové libely má být kolmá na točnou (vertikální) osu
- $H \perp V$ – vodorovné vlákno nitkového kříže má být kolmé k vertikální ose
- $L \parallel Z$ – osa nivelační libely má být rovnoběžná se záměrnou přímkou
  – tato podmínka bývá označována jako *hlavní podmínka*

Podmínky vycházejí ze starých optických přístrojů, kde bylo nutné před čtením urovnávat nivelační libelu. V současné době jsou již používány přístroje s kompenzátorem. Poslední podmínka je splňována právě působením kompenzátoru přístroje.

6.3. Trimble R8

Tato GNSS aparatura poskytuje společně s kontrolní jednotkou rychlé a spolehlivé výsledky měření. Výhodou je, že má kromě GNSS přijímače, zabudovaný i GSM/radio modem, pomocí něhož jsou získávány online korekce. Přijímač s kontrolní jednotkou komunikuje přes rozhraní Bluetooth, takže nejsou zapotřebí žádné propojovací kabely.

Obr.17: Trimble R8

Aparatura přijímá všechny dostupné signály (GPS i Glonass) a je připravena na nové signály i systémy (Galileo, Compass).

6.4. Příslušenství

Měřicí přístroje by samy o sobě nemohly být bez příslušenství použity. Pro jednotlivé metody byly tedy použity odpovídající pomůcky.

Při zaměření vztažné sítě bylo použito dřevěných stativů se zasouvacími nohami, dvou otočných hranolů včetně trojnožek a pro odměření výšek svinovacího metru.

Jeden z dřevěných stativů byl poté používán i při měření horizontálních posunů. Pro maximální možnou přesnost stabilizace při zaměřování pozorovaných bodů sloužil malý odrazný hranol výšky 12 cm s montáží 0 mm (Obr.18). Měření bylo ukládáno a spravováno v kontrolní jednotce Trimble CU (viz [13]).

Obr.18: Malý odrazný hranol

Výškové zaměření vztažné sítě a následně vertikální posuny byly zaměřovány s pomocí nedělené nivelační latě se stupnicí s čárovým kódem, která byla zajišťována opěrnými tyčemi a při přestavách stavěna na nivelační podložku. Přístroj byl osazen na těžkém nivelačním stativu s celistvými nohami.

7. MĚŘICKÉ PRÁCE

Tato kapitola je věnována popisu měřických prací, které byly provedeny v rámci této práce. Jelikož bylo prováděno etapové měření, tj. opakovaná měření, tak se opakovaly i měřické práce. Případné rozdíly mezi etapami jsou samozřejmě zdůrazněny. Jednotlivé etapy jsou uvedeny v Tab.2 s uvedením teploty vzduchu při měření.

Etapa	Datum měření	Teplota vzduchu [°C]
nultá	13.5.2013	18
první	31.5.2013	10
druhá	1.7.2013	22
třetí	5.9.2013	25
čtvrtá	1.11.2013	4
pátá	8.5.2014	21

Tab.2: Přehled etap měření

7.1. 0. etapa

Zaměření nulté (výchozí) etapy je velice důležité a je třeba mu věnovat o to více pozornosti. Jak již název napovídá, jedná se o etapu, která předchází jednotlivým etapám, a proto by případné nepřesnosti ovlivnily celý průběh prací a práci jako celek znehodnotily.

V rámci 0. etapy bylo po zkoušce nivelačního přístroje provedeno ověření výšky nivelačního bodu Bg014-16 (GÚ v příloze č.12), který byl vybrán pro výškové připojení vztažné sítě. Metodou přesné nivelace byl oběma směry (TAM i ZPĚT) zaměřen pořad mezi tímto bodem a bodem předcházejícím, tj. Bg014-15 (GÚ rovněž v příloze č.12). Výpočet provedený přístrojem přímo na místě poskytl vyhovující výsledky (viz příloha č.5) a tím byl bod Bg014-16 prohlášen za vyhovující.

Po ověření nivelačního bodu Bg014-16 byla zaměřena vztažná síť. Bylo zvoleno volné stanovisko 4101, na které byla postavena totální stanice. Dále byly postaveny na stativy na bodech 5002 a 5003 odrazné hranoly a svinovacím metrem změřena jejich výška. Poté byly na malý odrazný hranol zaměřeny orientace na body 4001 a 4002, a to v jedné skupině. Protože body 4001 a 4002 slouží pro určení přibližných souřadnic bodů vztažné sítě, je toto postačující. Následně byly ze stanoviska 4101 ve dvou skupinách zaměřeny orientace na body 5001 – 5005. Poté byl přístroj přemístěn na bod 5002 a ve dvou skupinách zaměřeny viditelné orientace (body 4101, 5003 a 5004). Totéž bylo provedeno i na bodě 5003, výsledkem bylo zaměření orientací na body 4101, 5002 a 5004.

Směrové skupiny, stejně jako etapová měření sítě pozorovaných bodů, byly zaměřovány polární metodou ve dvou polohách dalekohledu pro eliminaci možných přístrojových chyb (kolimační a úklonná chyba). Přístroj byl navíc pomocí elektronické libely urovnáván s maximální přesností, aby byla potlačena chyba z nesvislosti alhidády.

Po dokončení měření vztažné sítě bylo polární metodou provedeno prvotní polohové zaměření sítě pozorovaných bodů. Body byly zaměřeny z volného

stanoviska postupně podle jejich čísla, pro lepší orientaci ve zpracování s předčíslím 1 (čísla bodů 10001 – 10020).

Poslední měřickou prací v rámci 0.etapy bylo výškové zaměření vybraných bodů vztažné sítě a sítě pozorovaných bodů. Nejdříve byly metodou přesné nivelace z bodu Bg014-16 zaměřeny body 5003 a 5002, kde byl každý z těchto bodů určen ze dvou bočních záměr z různých postavení přístroje. Následně byla pořadem přesné nivelace z bodu 5003 zaměřena síť pozorovaných bodů. Pořad byl ověřen kontrolním měřením na bod 5002 před a po měření sítě pozorovaných bodů.

7.2. Jednotlivé etapy

Měření jednotlivých etap se od sebe nijak výrazně neodlišovala. Vždy bylo provedeno zaměření horizontálních posunů polární metodou z volného stanoviska s orientacemi na všechny body vztažné sítě. Pouze při první a páté etapě bylo z důvodu nemožnosti zajištění viditelnosti na bod 5005 určeno volné stanovisko z bodů 5001-5004. To ovšem nijak výrazně neovlivnilo jeho přesnost (viz 8.2.3.). Vertikální posuny byly měřeny metodou přesné nivelace vycházející z bodu 5003 a s ověřením na bod 5002 před a po měření těchto posunů. Před každou etapou byla provedena zkouška nivelačního přístroje pro kontrolu jeho vlastností. Nivelační měření jednotlivých etap jsou uvedeny zápisnících (příloha č.5).

Po zaměření poslední (páté) etapy byl navíc zaměřen kontrolní pořad přesné nivelace vycházející z bodu Bg014-16. Jeho zaměření proběhlo z důvodu ověření stálosti bodů vztažné sítě (5002 a 5003) a vyloučení velice nepravděpodobné, ale přesto možné teorie shodného vertikálního posunu těchto bodů.

Při číslování bodů bylo navázáno na nultou etapu, tzn., že stanoviskům byla přiřazena čísla od 4102 u první etapy až po 4106 u páté, obdobně u předčíslí pozorovaných bodů –> 2 u první a 6 u páté etapy.

8. ZPRACOVÁNÍ DAT

Zpracování naměřených dat a jejich správná interpretace je tou nejdůležitější částí každého měření, u měření posunů nevyjímaje. Proto je důležité data a poté i výsledky přehledně zobrazit tak, aby je pochopil pokud možno každý. V této kapitole je tedy přiblížen celý proces vyhodnocení a tvorby všech příloh.

8.1. Rozbory přesnosti

Jak už bylo částečně nastíněno v kapitolách 5. a 6., u každého měření je nutné posuzovat jeho přesnost, zda je vyhovující či ne. Nikdy nelze počítat s tím, že naměřená hodnota je ta správná a že tu samou hodnotu získáme stejným postupem se stejnými pomůckami. Proto se provádí rozbory přesnosti, které se snaží zachytit vlivy vstupující do měření.

Rozbory přesnosti lze provést

- *Analyticky*
  - nejčastěji používaný způsob
  - založený na zákonech přenášení chyb
- *Empiricky*
  - méně častý způsob, např. simulační metody
  - používá se u složitých funkčních vztahů, nebo když je analytický způsob komplikovaný

8.1.1. Zákony přenášení chyb

Výsledkem každého měření je hodnota (parametr) a, která je z měřených hodnot (veličin) x_1 , x_2,..., x_n získána na základě nějakého funkčního vztahu. Obecně

$$a = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

V případě polární metody jsou souřadnice získány z měřených délek a úhlů, u nivelace je výška získána z měřeného převýšení, což ostatně bylo zmíněno již v kapitole 5.

Pro výpočet charakteristik přesnosti existují tzv. *zákony přenášení chyb*. Jsou to

- *zákon přenášení skutečných chyb*

$$\varepsilon_a = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial a}{\partial x_i} \varepsilon_{x_i}$$

- *zákon přenášení středních chyb*

$$m_a^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial a}{\partial x_i}\right)^2 m_{x_i}^2$$

kde ε_a, m_a jsou příslušné chyby, ε_{xi}, m_{xi} příslušné chyby jednotlivých měřených veličin a zbývající členy vyjadřují parciální derivace funkce podle jednotlivých veličin. Ty

jsou získány přímo, což je i způsob, jak byl odvozen vztah pro výpočet přesnosti výšky pozorovaného bodu ve tvaru

$$m_H = \sqrt{m_{H_A}^2 + n * m_{sestavy}^2},$$

při přesnosti výchozího bodu m_{HA}, počtu nivelačních sestav n a přesnosti 1 sestavy $m_{sestavy}$. Plný rozbor přesnosti včetně komentáře a zdůvodnění volby hodnot jednotlivých parametrů je uveden v příloze č.4.

V praxi je používáno pro výpočty konkrétních hodnot v rozborech přesnosti středních chyb. Je to z toho důvodu, že skutečné chyby ε neznáme, naměřené hodnoty totiž nejsou přesná a bezchybná čísla, od kterých by se daly skutečné chyby vypočítat. Naměřené hodnoty jsou chápány jako přibližné, a proto je tedy užíváno středních chyb.

8.1.2. Nepřímý výpočet matic parciálních derivací

Jedná se o způsob využívající poznatku, že jednotlivé měřené veličiny l_i lze vyjádřit jako analytické funkce výchozích $x_{A1}, x_{A2}, \ldots, x_{An}$ a určovaných $x_1, x_2, \ldots, x_n$ parametrů. Obecně

$$l_i = g_i(x_{A1}, x_{A2}, \ldots, x_{An}, x_1, x_2, \ldots, x_n).$$

Z nich pak lze na základě zákona hromadění skutečných chyb získat obecný tvar pro výpočet skutečných chyb měření, v maticovém zápisu

$$E_L = AE_A + BE_x,$$

kde se matice A skládá z parciálních derivací analytické funkce podle jednotlivých výchozích parametrů a matice B z parciálních derivací podle jednotlivých určovaných parametrů, matice E_L, E_A a E_x jsou maticemi obsahující skutečné chyby měřených veličin, výchozích a určovaných parametrů. Tímto způsobem lze získat základní zprostředkující vztahy mezi skutečnými chybami měřených veličin a skutečnými chybami výchozích a určovaných parametrů. Tyto vztahy jsou následující (dle [14])

- *pro délku*

$$\varepsilon_s = -cos\alpha * \varepsilon_{xA} - sin\alpha * \varepsilon_{yA} + cos\alpha * \varepsilon_x + sin\alpha * \varepsilon_y$$

- *pro směr*

$$\varepsilon_\alpha = \frac{sin\alpha}{s}\varepsilon_{xA} - \frac{cos\alpha}{s}\varepsilon_{yA} - \frac{sin\alpha}{s}\varepsilon_x + \frac{cos\alpha}{s}\varepsilon_y$$

- *pro úhel*

$$\varepsilon_\omega = \left(\frac{sin\alpha}{s} - \frac{sin\alpha_{AB}}{s_{AB}}\right)\varepsilon_{xA} - \left(\frac{cos\alpha}{s} - \frac{cos\alpha_{AB}}{s_{AB}}\right)\varepsilon_{yA} + \\ + \frac{sin\alpha_{AB}}{s_{AB}}\varepsilon_{xB} - \frac{cos\alpha_{AB}}{s_{AB}}\varepsilon_{yB} - \frac{sin\alpha}{s}\varepsilon_x + \frac{cos\alpha}{s}\varepsilon_y$$

Výhodou těchto vztahů je, že charakteristiky přesnosti metody lze získat i bez znalosti funkčních vztahů metody. Stačí jen vědět, kterými prvky (délka, směr či úhel) jsou získány výsledky. Jelikož je cílem celého rozboru určit chyby určených

parametrů, je maticový zápis podle základů počítání s maticemi upraven na konečný tvar

$$E_x = -B^{-1}AE_A + B^{-1}E_L,$$

případně

$$E_x = H_A E_A + H_L E_L.$$

Pro střední chyby určovaných veličin M_x pak s použitím středních chyb výchozích veličin M_A a středních chyb měřených veličin M_L platí maticový zápis

$$M_x^2 = H_A M_A^2 H_A^T + H_L M_L^2 H_L^T.$$

Takto byly získány charakteristiky přesnosti pro polární metodu, které jsou uvedeny v příloze č.4 a doplněny komentářem. Ten zároveň zdůvodňuje volbu velikosti jednotlivých vstupních parametrů.

8.1.3. Vyhodnocení posunů

Celý proces vyhodnocování posunů je přehledně uveden znovu v příloze č.4. Ve všech případech jde střední chyby jednorozměrných veličin, protože střední polohová chyba byla rozdělena do středních chyb jednotlivých souřadnic Y a X místního souřadnicového systému. Z jednotlivých středních chyb byly na základě zákona přenášení středních chyb vypočteny střední chyby posunů. Posun je totiž určen jako rozdíl dvou etap. Ze středních chyb posunů byly nakonec pomocí součinitele konfidence (koeficientu spolehlivosti) vypočteny příslušné mezní chyby. Součinitel konfidence t byl na základě poznatků volen s odpovídající pravděpodobností P a rizikem dle Tab.3.

Jednorozměrné veličiny		**Dvourozměrné veličiny**		**Zásady volby**
t	P (riziko)	t	P (riziko)	
2	95% (5%)	2,5	95% (5%)	U jednoduchých, snadno kontrolovatelných měření, kde je předpoklad přiměřeného potlačení systematických chyb (např. měření úhlů, nivelace, periodická měření)
2,5	98,8% (1,2%)	3	98,9 (1,1%)	U složitějších, hůře kontrolovatelných měření (např. nepřímé měření délek), u významných a ekonomicky nákladných měření.
3	99,7% (0,3%)	3,5	99,8% (0,2%)	U měření ovlivněných systematickými chybami, které lze jen obtížně vyloučit, u měření v nepříznivých podmínkách či měření bez nezávislé kontroly.
více	více	více	více	Jen zcela výjimečně u extrémně důležitých a závažných prací (např. s ohledem na bezpečnost a ochranu zdraví).

Tab.3: Koeficient spolehlivosti (zpracováno s využitím [9])

V Tab.3 je velice podstatné si povšimnout, jak se liší velikost koeficientu s ohledem na rozměr veličiny. Je patrné, že stejnou pravděpodobnost získáme u dvourozměrné veličiny s daleko větší hodnotou koeficientu. Proto je při měření posunů vždy dobré volit souřadnicový systém tak, aby jedna souřadnicová osa byla pokud možno

orientována ve směru předpokládané deformace. Poté lze rozdělit i střední chyby do jednotlivých souřadnic a vzhledem k jednorozměrnosti volit při stejné pravděpodobnosti nižší koeficient spolehlivosti, což poskytuje prokazatelnější výsledky při následném posuzování posunů.

8.2. Kancelářské práce

8.2.1. Rozbory přesnosti

Základem a výchozím bodem pro celé zpracování je správný rozbor přesnosti. Ten byl zpracován v programu *Mathcad* podle zásad uvedených v předcházející části 8.1. a konečný výstup je součástí přílohy pod číslem 4. Poslední poznatek, který považuji za důležitý, a není dostatečně viditelný v rozboru přesnosti, je fakt, že na výslednou přesnost v jednotlivých souřadnicích mají vliv především členy s m_{xyA} a m_s. Z toho vyplývá, že při měření je důležité věnovat pozornost především správnému postavení přístroje a hranolu a také měření délek.

8.2.2. 0. etapa

Další důležitou položkou ke zpracování je síť vztažných bodů. Hlavní část výpočtu byla zpracována v programu *Groma v.8*. Nejprve byla stažená data nahrána do prostředí programu, kde byl tento zápisník zpracován pomocí nástroje *Zpracování zápisníku*. Tím byly získány měřené veličiny v takové podobě, aby bylo možné je použít k výpočtům v programu, tj. z množství měření v několika skupinách a ve dvou polohách byla získána jedna hodnota s odpovídajícími vahami. Poté byly nástrojem *Polární metoda dávkou* vypočteny přibližné souřadnice bodů vztažné sítě. Výpočet byl proveden ze souřadnic bodů 4001 a 4002, které byly určeny metodou GNSS RTK v síti permanentních stanic *Trimble VRS NOW CZ* při předchozím měření v lokalitě dne 4.9.2012.

Dále bylo nutné zpracovat data z nivelačního měření. Ta byla importována do programu *Microsoft EXCEL* a následně upravena do konečné podoby (viz příloha č.5). Kromě zlepšení grafické stránky zápisníku byl proveden rovněž výpočet měřeného převýšení a zpracováno posouzení odchylek. K žádnému z nivelačních měření nebyla zaváděna oprava z nevodorovnosti záměrné přímky. Z přílohy č.3 je patrné, že hodnota při elektronickém měření je pouhých -0,0011 mm/1m. Tato chyba by měla na prováděné měření vliv až v případě, že by rozdíl v délkách záměr byl okolo 100 metrů, což samozřejmě nenastalo. Naměřená převýšení v základním pořadu, kdy byly určovány výšky bodů vztažné sítě 5003 a 5002, byla následně zadána do programu *DLL_MNČ*. V tomto programu, který vznikl v rámci diplomových prací v letech 2000 a 2002 na ústavu geodézie VUT Brno, bylo realizováno vyrovnání nivelačního pořadu. Výsledné vyrovnané výšky jsou rovněž uvedeny v příloze č.5.

Vyrovnané výšky bodů byly poté použity při celkovém vyrovnání vztažné sítě, k čemuž byl použit znovu program *Groma v.8* a jeho nástroj *Vyrovnání sítě*. Po nastavení parametrů sítě, kdy bylo využito známých údajů o přesnosti, byla vlastní síť nahrána a definovány pevné body. Jako pevné body v poloze byly zvoleny body 4001

a 4002 určené metodou GNSS RTK, ostatním bodům byl přiřazen atribut volného bodu v poloze. Pevnými body ve výšce byly ve vyrovnání body 5002 a 5003 určené metodou přesné nivelace, zbylým bodům byl přiřazen atribut volné výšky. S těmito parametry proběhlo vyrovnání sítě MNČ. Vyrovnání lze považovat za úspěšné, jelikož výsledné parametry jsou vyhovující. Důležitý je především poměr aposteriorní a apriorní střední chyby, který je v intervalu spolehlivosti. Polohové vyrovnání je charakterizováno střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 1{,}58\ mm$.

Celé vyrovnání a výpočet vztažné sítě byl proveden v souřadnicovém systému JTSK s měřítkovým faktorem 1,00000. Tento systém ale není vhodný, jelikož je obecně natočený. Pro lepší vyhodnocení posunů je vhodnější zvolit si místní souřadnicový systém, jak bylo zmíněno již v 8.1.3. Proto byla provedena ještě transformace vztažné sítě do souřadnicového systému, jehož osa Y je rovnoběžná se spojnicí bodů 5003 a 5002, na ni je kolmá osa X, která má totožný směr jako předpokládané posuny pozorované zdi.

Pro dokonalý přehled o situaci byl v programu *Microstation V8i Selectseries1* vytvořen náčrt sítě (příloha č.6) doplněný ortofotosnímkem. Ortofotosnímek byl získán pomocí služby WMS, kterou program nabízí. Potřebné odkazy na služby zdarma poskytuje ČÚZK na svých www stránkách [6].

Posledním úkolem v rámci zpracování 0.etapy byl výpočet souřadnic a výšek pozorovaných bodů. Výpočet souřadnic byl proveden v programu *Groma v.8* úlohou *Polární metoda dávkou*. Vypočtené souřadnice byly exportovány do textového souboru. Nivelační měření bylo stejně jako u základního pořadu importováno do programu *Microsoft EXCEL* a graficky upraveno (viz příloha č.5). Na závěr bylo provedeno vyrovnání výškového pořadu v programu *DLL_MNČ*.

Výsledné souřadnice a výšky bodů vztažné sítě i sítě pozorovaných bodů byly seřazeny do přehledné tabulky (viz příloha č.7). Dále byl vyhotoven přehledný náčrt, ve kterém jsou zároveň detailně vyznačeny body na gabionové zdi i na vozovce a zakresleny jejich spojnice (viz příloha č.8). Náčrt byl doplněn prvky polohopisu, které byly převzaty ze zaměření ze dne 4.9.2012. V průběhu celého výpočtu byl ukládán protokol, který je z důvodu šetření papírem přiložen jen v elektronické podobě (příloha č.13).

8.2.3. Jednotlivé etapy

Zpracování jednotlivých etap si je podobně jako jejich měření velmi podobné. Z každé etapy byly nejprve po zpracování zápisníku vypočteny úlohou *Polární metoda dávkou* polohové souřadnice bodů. Tento výpočet byl vždy proveden programem *Groma v.8*. Při výpočtech bylo respektováno číslování bodů a stanovisek, které bylo již uvedeno v části 7.2. Pro úplnost byla sestavena Tab.4, která podává informaci o středních souřadnicových chybách jednotlivých volných stanovisek.

Etapa	č.stanoviska	m_{xyA} [m]
první	4102	0,002
druhá	4103	0,002
třetí	4104	0,001
čtvrtá	4105	0,002
pátá	4106	0,001

Tab.4: Přehled volných stanovisek a jejich střední souřadnicové chyby

Nivelační měření jednotlivých etap i ověření bodů vztažné sítě bylo vyhodnoceno obdobným způsobem jako u nulté etapy. Měření bylo importováno do programu *Microsoft EXCEL* a zpřehledněno (viz příloha č.5). Nakonec bylo provedeno vyrovnání pořadů v programu *DLL_MNČ*. Výpočetní protokoly jednotlivých etap jsou taktéž jako u nulté etapy součástí elektronické přílohy č.13.

Vypočtené hodnoty souřadnic a výšek z jednotlivých etap byly uspořádány v přehledných tabulkách v programu *Microsoft EXCEL*. Z hodnot byly následně vypočteny hodnoty rozdílů, a to oproti 0.etapě a od 2.etapy i oproti předcházející etapě a ještě vypočtena střední polohová chyba. Pro zvýraznění možných a jistých posunů bylo použito funkce podmíněného formátování, kterou program nabízí. Vyznačení rizikových hodnot je v souladu s uvedenou legendou (viz příloha č.9). Poslední činností zrealizovanou v programu bylo vytvoření přehledných grafů, které ukazují vývoj odchylek vzhledem k 0.etapě. Pro každý pozorovaný bod byly vytvořeny 3 samostatné grafy, jež postupně zachycují vývoj odchylek ve směrech souřadnicových os a také ve výšce. Grafy jsou doplněny o vývoj teploty vzduchu během měření a úrovně možných a jistých posunů. Vliv teploty je nejvíce patrný u změn výšek bodů na vozovce, kdy si lze povšimnout závislosti (viz příloha č.10).

Z každé jednotlivé etapy byl rovněž v programu *Microstation V8i Selectseries1* vytvořen přehledný měřický náčrt. Obsahuje jednak náčrt celkové situace se zákresem vztažné sítě, uvedením výšek pozorovaných bodů a výškových odchylek oproti 0.etapě, ale i detailní zákres pozorovaných bodů na vozovce a na gabionové zdi. V detailních zákresech jsou znázorněny spojnice původních a také aktuálních poloh pozorovaných bodů. Ty byly získány vynesením odchylek v měřítku 1:1 (viz příloha č.11). Jisté posuny jsou v náčrtech zvýrazněny dle uvedené legendy.

9. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo za pomoci geodetických měření stanovit, zda dochází k posunům předmětné konstrukce a vyčíslit hodnoty jednotlivých posunů. Na základě vyhotovených příloh lze jednoznačně konstatovat, že pozorovaná konstrukce není zcela v pořádku a k posunům dochází. Práce jako celek poskytuje komplexní informace o všech druzích posunů a vlivů, kterými mohou být způsobeny v několika variantách. Každý, bez ohledu na vzdělání, si tedy může udělat představu o deformacích zkoumané konstrukce, tím spíše projektant.

Z vlastního pohledu považuji za podstatné upozornit na jednoznačný vliv teploty a tím i ročního období na vozovku. Jak plyne z přílohy č.10, při vyšší teplotě v letních měsících dochází k poklesu pozorovaných bodů na vozovce, naopak na podzim a v zimě dochází k jejich opětovnému zdvihu. Lze předpokládat, že to je způsobeno vodou, která se do konstrukce dostává a v průběhu roku se její množství v závislosti na teplotě mění. U samotné gabionové zdi je důležité upozornit na její posun směrem od silnice, jak je vidět v příloze č.11. Pohyb pozorovaných bodů je nezávislý na teplotě, nedochází k výkyvům, body a tedy i celá konstrukce se pohybují stále stejným směrem. Způsobeno je to s největší pravděpodobností zátěží vozovky, kde zatím není nijak omezen provoz. Jelikož je však hlavní funkcí zdi zajištění svahu, bude nutné zvážit, zda nenavrhnout nějaké stavební úpravy, které by svah lépe zpevnily.

Práce měla také jednoznačný osobní přínos. V praxi jsem si mohl vyzkoušet poznatky o rozborech přesnosti, pracoval jsem s moderními přístroji a rovněž jsem si ještě více prohloubil znalost a funkce programů, které byly použity ke zpracování.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů

[2] Švábenský, O. - Vitula, A. - Bureš, J.: Inženýrská geodézie I, M01 Základy inženýrské geodézie, VUT Brno, 2006

[3] Švábenský, O. - Vitula, A. - Bureš, J.: Inženýrská geodézie I, M02 Geodézie ve stavebnictví, VUT Brno, 2006

[4] Michalčák, O. a kol.: Inžinierska geodézia II. Alfa Bratislava 1990

[5] Mapy.cz. www.mapy.cz

[6] Oficiální stránka ČÚZK. www.cuzk.cz

[7] Švábenský, O. - Vitula, A. - Bureš, J.: Inženýrská geodézie I, M03 Návody ke cvičením, VUT Brno, 2006

[8] Ratiborský, J.: Geodézie 10, ČVUT Praha, 2007

[9] IngGeo - portál inženýrské geodézie. http://inggeo.fsv.cvut.cz

[10] Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. www.gps.gov

[11] Information analytical centre of GLONASS and GPS controlling. http://glonass-iac.ru

[12] Čada, V.: Přednáškové texty z Geodézie. http://gis.zcu.cz/

[13] Geotronics Praha. www.geotronics.cz

[14] Švábenský, O. - Vitula, A. - Bureš, J.: Inženýrská geodézie II, M01 Analýza přesnosti vytyčení polohy, VUT Brno, 2007

Poznámka: Fotografie, obrázky a tabulky, u nichž není uveden zdroj, jsou plně autorským dílem.

11. SEZNAM ZKRATEK

ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ZÚ	Zeměměřický úřad
GÚ	Geodetické údaje
k.ú.	Katastrální území
TL	Triangulační list
S – JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Systém baltský po vyrovnání
BPPP	Bod podrobného polohového pole
ČSN	Česká státní norma
GNSS	Global Navigation Satellite System (Globální navigační satelitní systém)
RTK	Real Time Kinematic (metoda měření GNSS)
Trimble VRS NOW CZ	Síť permanentních stanic GNSS společnosti Trimble
KL	Kalibrační list
MNČ	Metoda nejmenších čtverců

12. SEZNAM PŘÍLOH

1. Fotografie zájmové oblasti (elektronicky, tisk)
2. Fotografie rozložení pozorovaných bodů (elektronicky, tisk)
3. Kalibrační listy (elektronicky, tisk)
4. Rozbory přesnosti a postupy vyhodnocování posunů (elektronicky, tisk)
5. Nivelační zápisníky (elektronicky, tisk – ukázka prvních 3 listů z celkových 8)
6. Náčrt vztažné sítě (elektronicky, tisk)
7. Seznam souřadnic 0.etapa (elektronicky, tisk)
8. Měřický náčrt 0.etapa (elektronicky, tisk)
9. Seznam souřadnic a výpočet odchylek jednotlivých etap (elektronicky, tisk – ukázka prvních 3 listů z celkových 9)
10. Grafy vývoje odchylek vzhledem k 0.etapě (elektronicky, tisk – ukázka 3 listů z celkových 15)
11. Měřické náčrty jednotlivých etap (elektronicky, tisk)
12. Geodetické údaje o nivelačních bodech (elektronicky, tisk)
13. Výpočetní protokoly (elektronicky)