

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PRAHA 2016

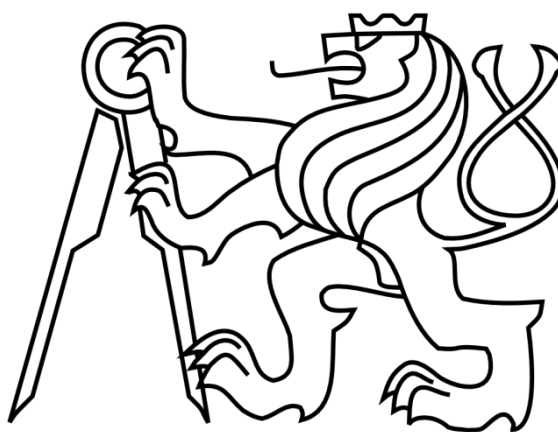
Petra Klimánková

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**SLEDOVÁNÍ SVISLÝCH POSUNŮ
PŘI VÝSTAVBĚ BYTOVÉHO DOMU**

Vedoucí práce: Ing. Bronislav Koska, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

Květen 2016

Petra Klimánková





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Klimánková	Jméno: Petra	Osobní číslo: 423986
Zadávací katedra: K154 - Katedra speciální geodézie		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Sledování svislých posunů při výstavbě bytového domu	
Název bakalářské práce anglicky: Vertical Deformation Monitoring during Housing Development	
Pokyny pro vypracování: - Praktické měření v několika etapách. - Vyhodnocení jednotlivých etap vzhledem k základní etapě.	
Seznam doporučené literatury: Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. České vysoké učení technické v Praze, 2015.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Bronislav Koska, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2016	Termín odevzdání bakalářské práce: 22. 5. 2016
	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

18.2.2016	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje etapovému měření svislých posunů. Cílem je sledovat tyto posuny během výstavby bytového domu, který je součástí rezidenčního projektu Zelené město etapa 2.

KLÍČOVÁ SLOVA

svislý posun, etapové měření, volné stanovisko, výstavba bytového domu, Zelené město

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with stage measurement of vertical shifts. The aim is monitoring these shifts during housing development, which is part of the residential project Green city phase 2.

KEY WORDS

vertical shift, stage measurement, free standing position, housing development, Green city

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Petra Klimánková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Bronislavu Koskovi, Ph.D. za jeho čas, rady a pomoc při vypracování této bakalářské práce. Děkuji také kolektivu zaměstnanců společnosti Angermeier Engineers, s.r.o. za poskytnutá data a ochotu vždy se vším pomoci.

OBSAH

1.	ÚVOD	8
2.	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	9
2.1	Teoretický úvod sledování posunů a přetvoření	9
2.2	Základní pojmy	10
2.3	Metody měření svislých posunů a přetvoření	11
2.3.1	Metoda geometrické nivelace	11
2.3.2	Metoda hydrostatické nivelace	11
2.3.3	Trigonometrické určování výškových rozdílů	12
2.3.4	Metoda fotogrammetrická	12
2.3.5	Metoda GNSS	13
2.3.6	DPZ	13
2.3.7	Negeodetické metody	13
3.	MĚŘENÍ	15
3.1	Sledovaný objekt	15
3.1.1	Technické parametry objektu	15
3.1.2	Lokalita	16
3.2	Přístroje a pomůcky použité při měření	16
3.2.1	Totální stanice Leica TCRA 1201 + R400	16
3.3	Vztažná síť	17
3.4	Pozorovaný bod	18
3.5	Etapové měření:	19
4.	ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ	20
4.1	Zpracování naměřených dat	20
4.2	Vyrovnání výšky volného stanoviska	20
4.2.1	Výpočet převýšení	20
4.2.2	Směrodatná odchylka převýšení	21
4.2.3	Vyrovnání MNČ	21
4.3	Určení výšky pozorovaného bodu 6901	23
4.3.1	Výpočet výšky pozorovaného bodu 6901	23
4.3.2	Směrodatná odchylka výšky pozorovaného bodu 6901	23
4.4	Určení svislého posunu	23
4.4.1	Výpočet svislého posunu	23
4.4.2	Směrodatná odchylka svislého posunu	23
5.	VÝSLEDKY	24
5.1	Výšky stanoviska v jednotlivých etapách	24
5.2	Výška pozorovaného bodu 6901 v jednotlivých etapách	26
5.3	Svislé posuny vzhledem k základní etapě	27
5.3.1	Statistické testování	27
6.	ZÁVĚR	29
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ	30
8.	SEZNAM TABULEK	31
9.	SEZNAM ZDROJŮ	32
10.	SEZNAM PŘÍLOH	33

1. ÚVOD

Projekt Zelené město etapa 2 je pokračováním již existujícího projektu Zelené město etapa 1, který zvítězil v roce 2010 v kategorii nových rezidenčních projektů v soutěži Nejlepší z realit – Best of reality. Autorem architektonického návrhu jsou architekti z ateliéru Casua. Předností projektu je spojení občanské vybavenosti a dopravní dostupnosti v blízkosti zeleně.

V rámci etapy 2 je navrženo 13 bytových domů s celkem 344 byty. Jedná se o šesti až sedmi podlažní budovy a jeden jedenáctipodlažní objekt. Právě tento objekt je předmětem mého měření svislých posunů. Na obrázku (Obr. 1.1) znázorňujícím vizualizaci projektu je zobrazen úplně vpravo.



Obr. 1.1: Vizualizace projektu Zelené město etapa 2 (obrázek převzat z [6])

Předložená bakalářská práce se zabývá sledováním svislých posunů při výstavbě tohoto bytového domu. Důvodem pro sledování je skutečnost, že objekt stejného typu a velikosti byl již realizován v rámci projektu Zelené město etapa 1. Při jeho výstavbě došlo ke svislým posunům (cca 2 cm), což vedlo ke komplikacím při výstavbě. Cílem této práce je svislé posuny sledovat, a pokud svislý posun překročí 5 mm, oznámit tuto skutečnost odpovědné osobě.

První část bakalářské práce obsahuje stručný úvod do problematiky měření svislých posunů. Druhá část se zaměřuje na samotný objekt, použité pomůcky, měření a vyhodnocení jednotlivých etap.

2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

2.1 Teoretický úvod sledování posunů a přetvoření

Jednou z mnoha oblastí, kterými se geodézie zabývá, jsou geodetické práce při měření posunů a přetvoření. Stavební nebo také přírodní objekty mohou na základě působení vnějších sil vykazovat změnu prostorové polohy. Každá taková nevíтанá změna může představovat bezpečnostní riziko. Účelem měření je tyto změny sledovat, získat údaje o velikosti a rychlosti změn a navrhnout příslušná opatření pro snížení bezpečnostního rizika.

Stabilitu objektu může narušit mnoho vlivů. Mezi nejčastější příčiny patří změny zatížení základové půdy, dynamické provozní účinky, kolísání hladiny spodní vody atd. Posuny a přetvoření jsou stanoveny na základě opakovaných (etapových měření). Velký důraz na přesnost je dán při měření základní (nulté) etapy, vůči které jsou posuny a přetvoření pozorovaných bodů počítány. Etapy měření se volí v intervalech, aby byl plynule zachycen průběh změn.

Přesnost měření posunů a přetvoření udává technická norma [10], která zohledňuje, zda se jedná o nový nebo již existující objekt.

Požadovaná přesnost měření nových stavebních objektů je dána mezní odchylkou danou vztahem:

$$\delta_1 = \frac{2}{15} \cdot p \quad (2.1)$$

kde p označuje očekávaný celkový posun nebo jeho složku v mm.

Pro užívané stavební objekty platí vztah:

$$\delta_2 = \frac{2}{5} \cdot p_k \quad (2.2)$$

kde p_k je kritická hodnota posunu v mm.

Předpokladem pro získání hodnověrných výsledků je ověření stability vztažné sítě. Pro jednoduché stavby menšího rozsahu postačuje pro ověření stálosti měřit minimálně dva nadbytečné prvky ve vztažné soustavě. U rozsáhlejších objektů nebo u staveb mimořádného významu se stabilita vztažné soustavy ověřuje testováním výsledků vyrovnání sítě vztažné soustavy.

2.2 Základní pojmy

Pojmy uvedené v této kapitole jsou převzaty z [1].

Posun je definován jako prostorová změna v poloze stavebního objektu nebo jeho části oproti poloze v základní nebo předcházející etapě měření vztažené na pevné body, které jsou nezávislé na sledovaném objektu.

Přetvoření (deformace) vyjadřuje změnu tvaru stavební konstrukce objektu oproti tvaru při základní nebo předcházející etapě měření. Důležité je, že při posunu objektu nemusí nutně nastat deformace.

Sedání (pokles) – svislá složka posunu směrem dolů, která je vyvolána stlačením základové půdy.

Zdvih – svislá složka posunu směrem vzhůru.

Náklon – odchýlení svislé osy objektu od svislice.

Otočení – úhlová odchylka objektu od jeho původní polohy (osa otáčení je obecná).

Průhyb (ohyb) – deformace konstrukce objektu v kolmém směru na převládající směr.

Sesuv – jev vznikající účinkem zemské tíže při porušení stability svahů.

Absolutní posun – posun vyjádřený v absolutní soustavě, která je nezávislá k objektu.

Relativní posun – posun vyjádřený vzhledem relativní vztažné soustavě či na vztažný bod. (udává vzájemné změny v poloze jednotlivých konstrukční části objektu).

Vztažný bod – polohově nebo výškově určený bod, ke kterému se určují projektové parametry nebo měřené posuny.

Vztažná soustava – soubor vybraných pevných bodů, které jsou ve vzájemném matematickém vztahu a vyjadřují se k nim prostorové změny měřených bodů.

Pevný bod (vztažný bod) – trvale stabilizovaný bod v přírodě mimo měřený objekt a jeho vlivy, u kterého se nemění prostorová poloha během všech etap měření.

Pozorovaný (sledovaný) bod – bod na objektu, který slouží pro určení posunů a deformací.

Ověřovací (zajišťovací bod) – pevný bod, který slouží pro ověření stálosti jiných pevných bodů.

Připojovací bod – pevný bod, ze kterého se vychází při určování směrů, délky nebo výšky.

2.3 Metody měření svislých posunů a přetvoření

Metod měření svislých posunů je hned několik, zde v krátkosti uvádím u některých z nich jejich princip. Každá metoda má svá specifika a používá se pro různé účely. Z tohoto důvodu je důležité ke každé úloze přistupovat samostatně a zvolit takovou metodu, která bude splňovat požadavky na přesnost a zároveň bude z hlediska ekonomiky a náročnosti co nejméně nákladná.

2.3.1 Metoda geometrické nivelace

Jedním z nejvíce aplikovaných způsobů pro určování svislých posunů a přetvoření je geometrická nivelace. Používá se metoda přesné nivelace (PN), velmi přesné nivelace (VPN) a také např. pro vědecké účely metoda zvlášť přesné nivelace (ZPN).

Při použití této metody je důležité, zachovávat zásady měření geometrické nivelace, zejména dodržovat stejně dlouhé záměry. Při nedodržení této zásady, je nutné zavádět opravu ze sklonu horizontu přístroje. Ten se ověřuje pomocí polního testu kvality nejlépe před a po měření posunů.

Chceme-li zvýšit spolehlivost a přesnost výsledků doporučuje se měřit nadbytečný počet měření, výsledek je pak určen jako vyrovnání.

2.3.2 Metoda hydrostatické nivelace

Metoda hydrostatické nivelace vychází z fyzikálního zákona o spojitých nádobách, které jsou naplněny vhodnou kapalinou. Jedná se o přesnou hadicovou vodováhu. Pozorované body je třeba pro měření zajistit speciálními čepy, čepy jsou pak osazeny měřicími válci spojenými hadicí. Pro eliminaci chyb je zapotřebí měřit ve dvou polohách tzn. zaměnit měřicí válce a v každé poloze pak měřit dvakrát, podruhé po vypuštění malého množství kapalin.

Předností této metody je možnost měřit změny výšek v těžko přístupných prostorách s velmi vysokou přesností od 0.1 mm do 0.01 mm. Využívá se pro pravidelná i nepřetržitá měření. Naopak nevýhodou může být malý rozsah měřených převýšení cca 100 mm (± 50 mm), délka hadic cca 30 m a nutnost zajistit stejnou teplotu po celé délce trasy spojovací hadice.

V dnešní době se stále častěji používá automatizovaných souprav pro hydrostatickou nivelaci, které umožňují měřit posuny v potřebných intervalech zcela automaticky.

2.3.3 Trigonometrické určování výškových rozdílů

Trigonometrické měření nedosahuje takové přesnosti jako geometrická nivelace, přesto je využívána zejména tam, kde situace nedovoluje použít nivelaci.

Metoda je založena na měření změn zenitových úhlů při známé vodorovné délce záměry. Předpokládá se neměnnost výšky stanoviska, měří se z pevných stanovisek (pilířů se zařízením pro nucenou centraci).

Přesnost metody je ovlivněna mnoha faktory. Oprava ze zakřivení má systematický charakter a při etapovém měření není třeba ji zavádět. Naopak oprava z refrakce se mění spolu s atmosférickými podmínkami. Z tohoto důvodu je příhodné měřit jednotlivé etapy za stejných podmínek a volit je v období, kdy je vliv teplotního gradientu minimální.

Posun se pak vypočte dle vzorce:

$$p = d \cdot (\cotg \zeta_0 - \cotg \zeta_i) \quad (2.3)$$

V rovnici (2.3) index 0 označuje základní (nultou) etapu, index i označuje symbolicky následující etapu.

2.3.4 Metoda fotogrammetrická

Základním předností fotogrammetrických metod je možnost zaznamenat stav měřeného objektu v krátkém časovém okamžiku a dále možnost zachytit libovolné množství bodů najednou. Na druhou stranu neumožňuje zhodnotit výsledky ihned na místě, ale je nutné zpracování v rámci laboratoře na speciálních vyhodnocovacích přístrojích. Přesnost metody klesá se vzdáleností od objektu.

Fotogrammetrické metody pro určování svislých posunů jsou dvě a to:

- **Jednosnímková metoda s časovou základnou**

Snímkuje se z jednoho stanoviska za každou etapu měření jeden snímek. Metoda určuje posuny a deformace pouze v rámci snímku (tedy pouze souřadnice x a z). Při měření svislých posunů je zapotřebí pořizovat snímek kolmo na svislé posuny.

Měření se vyhodnocuje stereoskopicky pro dvojici snímků. Ze získaných deformačních paralax se vypočítají složky posunu dx, dz ze vzorce:

$$dx_{i,j} = (x'_j - x'_i) \cdot m_s = p_{i,j} \cdot m_s \quad (2.4)$$

$$dz_{i,j} = (z'_j - z'_i) \cdot m_s = q_{i,j} \cdot m_s \quad (2.5)$$

kde x' a z' jsou snímkové souřadnice
 m_s je měřítko snímku
 p , q jsou horizontální a vertikální paralaxa

- **Pozemní fotogrammetrie s reálnou základnou**

Snímkuje se minimálně ze dvou stanovisek, přičemž při snímkování více snímků se přesnost metody zvyšuje. Kladem této metody je možnost zjišťovat posuny a přetvoření ve třech složkách (souřadnice x, y, z). Vyhodnocuje se pomocí standardního postupu stereofotogrammetrie.

2.3.5 Metoda GNSS

Metoda globálních navigačních satelitních systémů se v posledních letech začala využívat také pro měření posunů a přetvoření. Metoda umožňuje měřit rozsáhlá území až do 10 km. Přesnost se u statické metody pohybuje mezi 1 – 3 mm, přesnost u metody RTK je v mezích 10 – 15 mm.

2.3.6 DPZ

Jedná se o metodu používanou pro měření poklesů poddolovaných území, kdy pokles může dosáhnout až několik metrů za rok.

2.3.7 Negeodetické metody

K měření relativních posunů se aplikují i jiné než geodetické metody. Takové metody se označují jako negeodetické či fyzikální. Jejich předností je vysoká přesnost.

- **Tenzometr**

Pracuje na mechanickém, optickém, elektrickém, akustickém, pneumatickém nebo kombinovaném principu. Jedná se o měřidlo umožňující měřit velmi malé délkové změny.

- **Dilatometr**

Je mechanický přístroj umožňující měřit relativní měření posunů a to ve třech osách. Rozsah bývá 15 mm s přesností 0.2 mm.

- **Přesné libely**

Měří se sklon (respektive jeho změna), ten je poté převeden na svislý posun pomocí známé délky základny. Rozsah je cca ± 20 mm, citlivost 0.01 mm/m. V dnešní době se převážně používají elektronické metody.

- **Laserová interference**

Mezi nejpřesnější metodu měření posunů patří laserová interference. Dosahuje přesnosti při měření v atmosféře 10^{-7} m.

3. MĚŘENÍ

3.1 Sledovaný objekt

3.1.1 Technické parametry objektu

Sledovaný objekt má 11 nadzemních a 2 podzemní podlaží. Konstrukce objektu je navržena jako železobetonový bezprůvlakový skelet s obvodovými monolitickými stěnami. Výtahové jádro je řešeno pomocí monolitických železobetonových stěn zakončených nahoře a dole dojezdem. Schodiště jsou tvořena monolitickými podestami a prefabrikovanými rameny. Základovou desku tlustou 300 mm podpírá celkem 69 pilotů.



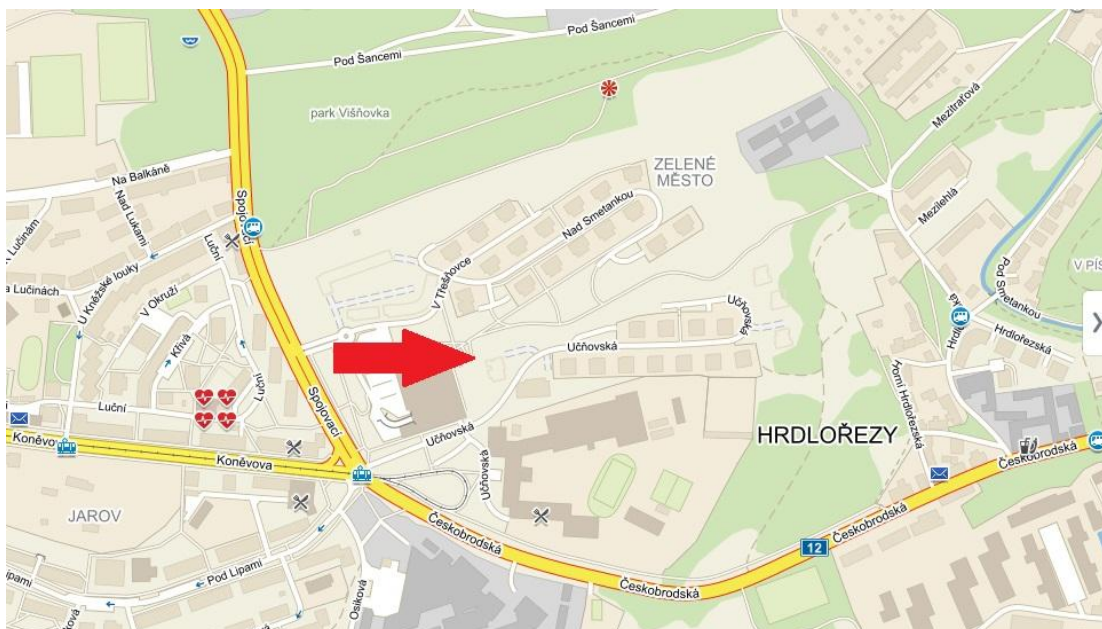
Obr. 3.1: Výstavba 2NP



Obr. 3.2: Celkový pohled při výstavbě (fotografie převzata z [5])

3.1.2 Lokalita

Projekt Zelené město je situován v Praze 9 v městské části Hrdlořezy. V těsné blízkosti se nachází vrch Třešňovka, kde byl krátce po druhé světové válce vysazen třešňový sad. Sledovaný objekt se nachází v ulici Učňovská, na obrázku (Obr. 3.3) je označen červenou šipkou.



Obr. 3.3: Lokalita objektu [7]

3.2 Přístroje a pomůcky použité při měření

3.2.1 Totální stanice Leica TCRA 1201 + R400

Pro měření byla použita totální stanice Leica TCRA 1201 + R400 v.č. 241183. Výrobce udává směrodatnou odchylku svislého úhlu měřeného v obou polohách rovnu 0.3 mgon. Avšak na základě analýzy výsledků měření bylo zjištěno, že tato totální stanice tuto přesnost pro použité cíle a konfiguraci nesplňuje a pro výpočet byla použita hodnota směrodatné odchylky svislého úhlu měřeného v obou polohách rovna 0.5 mgon. Směrodatná odchylka délky zůstala nezměněna a byla použita v hodnotě dané výrobcem. Směrodatná odchylka vodorovného směru se ve výpočtech neuplatnila. Přesnost použitá pro výpočet je uvedena v Tabulce (Tab. 3.1).

Přesnost totální stanice:	
Směrodatná odchylka délky	1 mm + 1.5 ppm
Směrodatná odchylka vodorovného směru měřeného v obou polohách	0.3 mgon
Směrodatná odchylka svislého úhlu měřeného v obou polohách	0.5 mgon

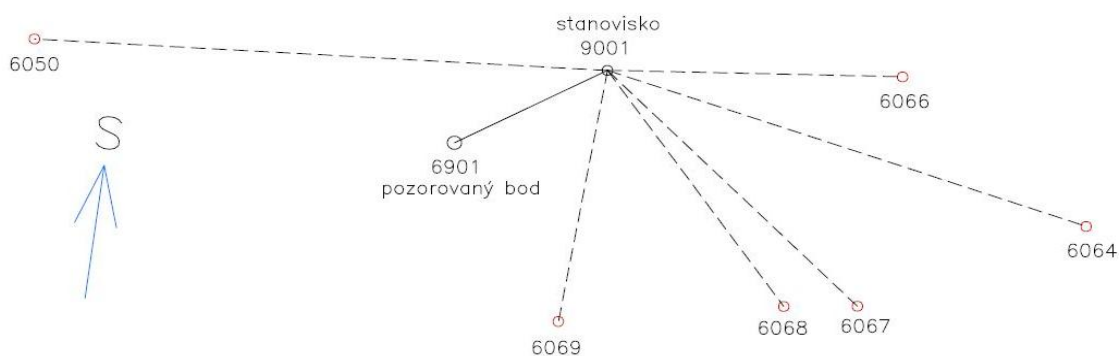
Tab. 3.1: Přesnost totální stanice



Obr. 3.4: Totální stanice Leica TCRA 1201+ R400

3.3 Vztažná síť

Pro měření byla použita již vybudovaná měřičská síť, která slouží nejen pro měření posunů, ale také pro vytyčování a další geodetické práce na stavbě. Body vztažné sítě byly stabilizovány pomocí odrazných terčů, které umožňují měřit vodorovné směry, zenitové úhly a délky prostorovou polární metodou. Z důvodu užití odrazných terčů, u kterých není zaručeno, že jejich plocha je kolmá na záměru, bylo nutné měřit délky v obou polohách dalekohledu. Na obrázku (Obr. 3.5) je zobrazen náčrt situace v terénu.



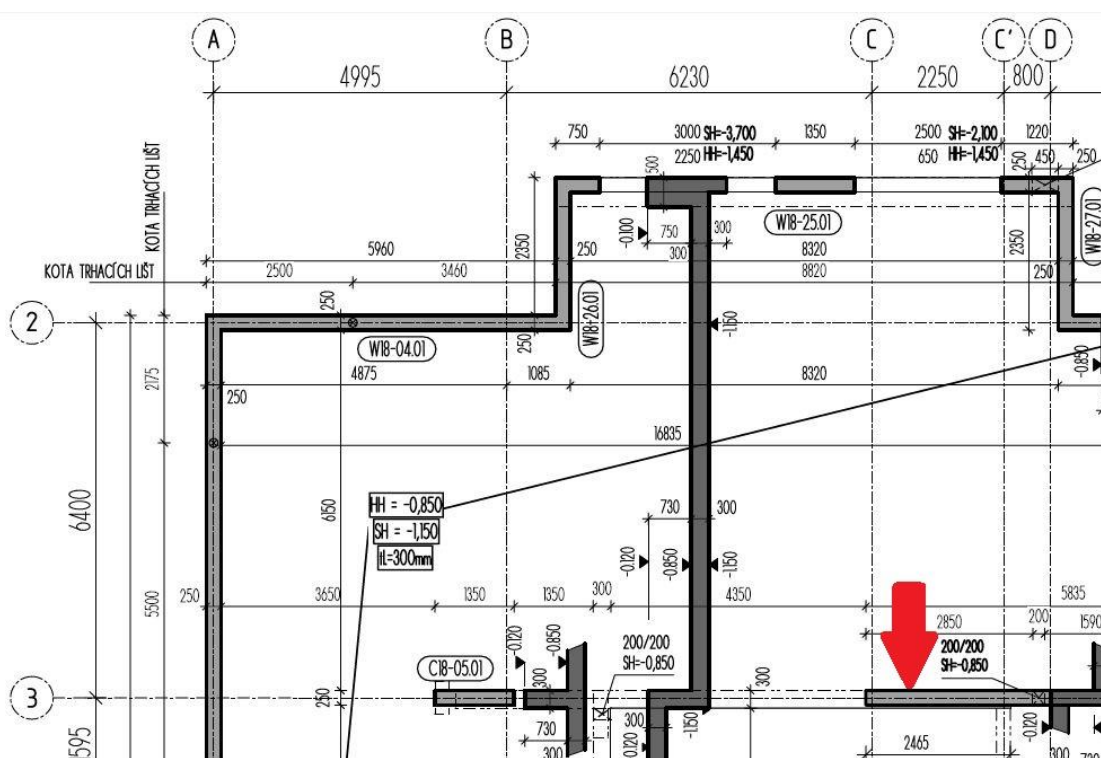
Obr. 3.5: Náčrt situace v terénu

	Y (S-JTSK)	X (S-JTSK)	Z (Bpv)
6066	737026.1333	1043153.0395	243.8311
6064	737000.1623	1043175.3524	262.3839
6067	737032.5332	1043187.2222	257.7982
6068	737042.9244	1043187.2528	265.0669
6069	737074.8466	1043189.5144	248.2652
6050	737148.9424	1043147.3327	250.2088

Tab. 3.2: Souřadnice vztážných bodů

3.4 Pozorovaný bod

Pro určení svislých posunů byl stabilizován pozorovaný bod na zdi v prvním podzemním podlaží. Opět byl použit odrazný terč. Ukázka stabilizace pozorovaného bodu je zobrazena na obrázku (Obr. 3.7).



Obr. 3.6: Umístění pozorovaného bodu [8]



Obr. 3.7: Stabilizace pozorovaného bodu

3.5 Etapové měření:

V rámci bakalářské práce probíhalo měření v období mezi 26. únorem a 15. dubnem, měření probíhalo v přibližně týdenních intervalech. V tomto krátkém časovém úseku nebylo možné zaznamenat vývoj svislých posunů při celé výstavbě, jedná se pouze o část zachycující výstavbu 2NP až 5NP. Celkem bylo změřeno a zpracováno 8 etap, z toho jedna základní etapa a 7 dalších etap. Svislé posuny byly určeny vzhledem k základní etapě. Přesná data jsou společně s teplotou atmosféry uvedena v tabulce (Tab. 3.3).

Pro určení svislých změn byla využita metoda tzv. volného stanoviska, kdy výška stanoviska byla určena z okolních stabilizovaných bodů. Předností této metody je její rychlost a flexibilita. Podrobnější popis zpracování dat a samotných výpočtů je uveden v kapitole 4.

V každé etapě bylo měřeno v jedné skupině na všech 6 bodů vztažné sítě, pouze ve 3. etapě nebylo možné měřit na bod 6068 z důvodu oslunění.

Etapa	Datum	Teplota atmosféry [°C]
0. etapa	26. 2. 2016	4
1. etapa	4. 3. 2016	4
2. etapa	11. 3. 2016	5
3. etapa	18. 3. 2016	7
4. etapa	27. 3. 2016	7
5. etapa	1. 4. 2016	5
6. etapa	8. 4. 2016	11
7. etapa	15. 4. 2016	13

Tab. 3.3: Přehled etap

4. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

4.1 Zpracování naměřených dat

V terénu byly měřeny zenitové úhly a šikmé vzdálenosti v obou polohách dalekohledu, které byly opraveny o vliv atmosférické korekce. Naměřená data byla exportována z přístroje, ale před samotným výpočtem bylo nutné data zpracovat. Šikmé délky byly zprůměrovány a zenitové úhly byly opraveny o hodnotu indexové chyby.

Indexová chyba byla určena ze vzorce:

$$i = \frac{400 - (\zeta_1 + \zeta_2)}{2} \quad (4.1)$$

Výsledný zenitový úhel se stanoví jako:

$$\zeta = \zeta_1 + i \quad (4.2)$$

kde ζ_1, ζ_2 jsou hodnoty zenitového úhlu v první a druhé poloze dalekohledu.

Směrodatná odchylka výsledné šikmé délky byla určena jako:

$$\sigma_{d_{s_i}} = \frac{1 + \frac{d_{s_i} \cdot 1.5}{1000}}{\sqrt{2}} \quad (4.3)$$

kde: d_{s_i} je šikmá délka zprůměrovaná z měření v obou polohách dalekohledu

4.2 Vyrovnání výšky volného stanoviště

Pro výpočet výšky stanoviště pomocí MNČ byl použit program MATLAB R2014a. Stanoviště bylo v rámci každé etapy připojeno na 6 bodů vztažné sítě s výjimkou 3. etapy, ve které bylo stanoviště připojeno pouze na 5 bodů vztažné sítě. Byly měřeny šikmé délky a zenitové úhly, pomocí nichž byla vypočtena neznámá převýšení.

4.2.1 Výpočet převýšení

Převýšení dh_i byla v rámci jednotlivých etap vypočtena následujícím způsobem:

$$dh_i = d_{s_i} \cdot \cos(\zeta_i) \quad (4.4)$$

kde: d_{s_i} je šikmá vzdálenost na bod

ζ_i je zenitový úhel

4.2.2 Směrodatná odchylka převýšení

Vztah pro skutečné chyby byl stanoven dle zákona o hromadění skutečných chyb, přičemž byl uvažován pouze vliv měřených veličin:

$$\varepsilon_{dh_i} = 1 \cdot \cos(\zeta_i) \cdot \varepsilon_{d_{s_i}} - d_{s_i} \cdot \sin(\zeta_i) \cdot \varepsilon_{\zeta_i} \quad (4.5)$$

Ze zákona hromadění směrodatných odchylek byl určen vztah pro směrodatné odchylky převýšení:

$$\sigma_{dh_i} = \sqrt{\cos(\zeta_i)^2 \cdot \sigma_{d_{s_i}}^2 + d_{s_i}^2 \cdot \sin(\zeta_i)^2 \frac{\sigma_{\zeta_i}^2}{\left(\frac{200}{\pi}\right)^2}} \quad (4.6)$$

Předtím než byla vypočtená převýšení aplikována do vyrovnání, bylo třeba je opravit o vliv zakřivení Země. Vztah pro výpočet vlivu zakřivení Země pro jednotlivá převýšení je dán vzorcem:

$$o_{z_i} = \frac{d_i^2}{2 \cdot R} \quad (4.7)$$

V Rovnici (4.7) vyjadřuje R poloměr Země (v tomto případě byla použita přibližná hodnota $R = 6\,380\,000$ m). Proměnná d_i označuje vodorovnou vzdálenost stanovenou ze vzorce:

$$d_i = d_{s_i} \cdot \sin(\zeta_i) \quad (4.8)$$

4.2.3 Vyrovnání MNČ

Prvním krokem bylo sestavení vektoru měření L , který v tomto případě tvoří n převýšení vypočtených dle rovnice (4.4).

$$L = \begin{pmatrix} dh_1 \\ \vdots \\ dh_n \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

Pro další výpočet bylo nutné nejprve stanovit přibližnou výšku stanoviska H_0 :

$$H_0 = H_1 - L_1 \quad (4.10)$$

kde H_1 je výška vztažného bodu 6066.

Přibližný vektor měření L_{H_0} byl vypočten pomocí následujícího vztahu:

$$L_{H_0} = \begin{pmatrix} H_1 - H_0 \\ \vdots \\ H_n - H_0 \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

V rovnici (4.11) označují H_i výšky vztažných bodů.

Ze zvýše zmíněných vztahů lze sestavit vektor redukováných měření l :

$$l = L - L_{H_0} \quad (4.12)$$

Pro sestavení vah p_{dh_i} bylo třeba stanovit jednotkovou střední chybu $\bar{\sigma}_0$, která byla v tomto případě zvolena rovna jedné. Váhy jednotlivých převýšení jsou dány vzorcem:

$$p_{dh_i} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{dh_i}^2} \quad (4.13)$$

Tyto váhy pak tvoří diagonální $n \times n$ matici vah P .

Následně je možné sestavit matici plánu A , dimenze matice A odpovídá dimenzi matice L_{H_0} .

$$A = \begin{pmatrix} -1 \\ \vdots \\ -1 \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

Dalším krokem bylo řešení normálních rovnic, výsledkem byl vyrovnaný vektor přírůstků dH :

$$N = A^T \cdot P \cdot A \quad (4.15)$$

$$dH = N^{-1} \cdot (A^T \cdot P \cdot l) \quad (4.16)$$

Z něj bylo možné určit vyrovnanou neznámou výšku stanoviska H jako:

$$H = H_0 + dH \quad (4.17)$$

Pro kontrolu výpočtu byly sestaveny rovnice oprav, při správném řešení by se měl rozdíl oprav v_1 a v_2 blížit 0.

$$v_1 = A \cdot dH - l \quad (4.18)$$

$$v_2 = L_{H_0} - L \quad (4.19)$$

Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka byla vypočtena pomocí vztahu:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{v_1 \cdot P \cdot v_1}{n'}} \quad (4.20)$$

kde n' je počet nadbytečných měření.

Směrodatná odchylka výšky stanoviska:

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_0^2 \cdot N^{-1}} \quad (4.21)$$

Dalším krokem bylo také určení vyrovnaných převýšení a jejich směrodatných odchylek:

$$L_{vyr} = \begin{pmatrix} H_1 - H \\ \vdots \\ H_n - H \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

$$\sigma_{L_{vyr}} = \sqrt{\text{diag}(A \cdot (\sigma_0 \cdot N^{-1}) \cdot A^T)} \quad (4.23)$$

4.3 Určení výšky pozorovaného bodu 6901

4.3.1 Výpočet výšky pozorovaného bodu 6901

Výška pozorovaného bodu v jednotlivých etapách byla určena ze vzorce:

$$H_{6901_j} = H_{9001_j} + d_{s_j} \cdot \cos(\zeta_j) + o_{z_j} \quad (4.24)$$

kde: H_{9001_j} je výška stanoviska v jednotlivých etapách určená vyrovnáním.

4.3.2 Směrodatná odchylka výšky pozorovaného bodu 6901

Vztah pro skutečné chyby při uvážení pouze měřených veličin:

$$\varepsilon_{H_{6901_j}} = \varepsilon_{H_{9001_j}} + 1 \cdot \cos(\zeta_j) \cdot \varepsilon_{d_{s_j}} - d_{s_j} \cdot \sin(\zeta_j) \cdot \varepsilon_{\zeta_j} \quad (4.25)$$

Ze zákona hromadění směrodatných odchylek byla vypočtena směrodatná odchylka výšky pozorovaného bodu 6901 v milimetrech při uvážení vlivu měřených veličin:

$$\sigma_{H_{6901_j}} = \sqrt{\sigma_{H_{9001_j}}^2 + \cos(\zeta_j)^2 \cdot \sigma_{d_{s_j}}^2 + d_{s_j}^2 \cdot \sin(\zeta_j)^2 \cdot \frac{\sigma_{\zeta_j}^2}{\left(\frac{200}{\pi}\right)^2}} \quad (4.26)$$

V rovnici (4.26) označuje $\sigma_{H_{9001_j}}$ směrodatnou odchylku výšky stanoviska určenou z vyrovnání v jednotlivých etapách.

4.4 Určení svislého posunu

4.4.1 Výpočet svislého posunu

Posun byl určen jako rozdíl výšky pozorovaného bodu 6901 mezi základní a j-tou etapou pomocí následujícího vztahu, posun je počítán v mm:

$$p_j = (H_{6901_0} - H_{6901_j}) \cdot 1000 \quad (4.27)$$

4.4.2 Směrodatná odchylka svislého posunu

Vztah pro skutečné chyby:

$$\varepsilon_{p_j} = (\varepsilon_{H_{6901_0}} - \varepsilon_{H_{6901_j}}) \cdot 1000 \quad (4.28)$$

Směrodatná odchylka svislého posunu byla určena ze zákona hromadění směrodatných odchylek následným způsobem, výsledná hodnota je v milimetrech:

$$\sigma_{p_j} = \sqrt{\sigma_{H_{6901_0}}^2 + \sigma_{H_{6901_j}}^2} \quad (4.29)$$

kde $\sigma_{H_{6901_0}}$ je směrodatná odchylka výšky pozorovaného bodu v základní etapě.

5. VÝSLEDKY

5.1 Výšky stanoviska v jednotlivých etapách

Výška stanoviska v jednotlivých etapách byla spočtena ve vlastním skriptu v programu MATLAB R2014a, tento skript je součástí bakalářské práce a je zde uveden jako příloha.

Pro kontrolu byla výška stanoviska v jednotlivých etapách nezávisle vypočtena v programu GNU Gama 1.15. Jako vektor měření byly použity hodnoty převýšení opravené o zakřivení Země společně se směrodatnými odchylkami určenými v kapitole 4.2.1 a 4.2.2.

Ukázkový vstupní soubor do programu GNU Gama 1.15 (pro 2. etapu) je zobrazen na obrázku (Obr. 5.1):

```
<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE gama-local SYSTEM "gama-local.dtd">

<gama-local>
<network axes-xy="sw" angles="left-handed">

<description>
Vais
</description>

<parameters
  sigma-act='aposteriori'
  sigma-apr='1'
  conf-pr='0.95'
/>

<points-observations>

<point id="6066" x="1043153.0395" y="737026.1333" z="243.8311" fix="XYZ"/>
<point id="6064" x="1043175.3524" y="737000.1623" z="262.3839" fix="XYZ"/>
<point id="6067" x="1043187.2222" y="737032.5332" z="257.7982" fix="XYZ"/>
<point id="6068" x="1043187.2528" y="737042.9244" z="265.0669" fix="XYZ"/>
<point id="6069" x="1043189.5144" y="737074.8466" z="248.2652" fix="XYZ"/>
<point id="6050" x="1043147.3327" y="737148.9424" z="250.2088" fix="XYZ"/>
<point id="9001" adj="z"/>

<height-differences>
<dh from="9001" to="6066" val="1.26465576994152" stdev="0.3" />
<dh from="9001" to="6064" val="19.8173524875854" stdev="0.6" />
<dh from="9001" to="6067" val="15.2304250959286" stdev="0.5" />
<dh from="9001" to="6068" val="22.5003321279193" stdev="0.5" />
<dh from="9001" to="6069" val="5.69885940151200" stdev="0.3" />
<dh from="9001" to="6050" val="7.64125928937019" stdev="0.6" />
</height-differences>

</points-observations>

</network>
</gama-local>
```

Obr. 5.1: Ukázkový vstupní soubor do programu GNU Gama 1.15

Porovnání výsledných hodnot z obou programů je uvedeno v tabulce (Tab. 5.1). Bylo ověřeno, že hodnoty získané z vyrovnání v programu MATLAB R2014a jsou v podstatě shodné s hodnotami získanými v programu GNU gama 1.15. Nesourodost vzniká při porovnání směrodatných odchylek, které GNU gama zaokrouhluje na desetiny milimetru. Jediný prokazatelný rozdíl je patrný v základní etapě, a i tento pravděpodobně vznikl ze zaokrouhlování.

Etapa	MATLAB R2012a		GNU Gama 1.15	
	H ₉₀₀₁ [m]	σ _{H₉₀₀₁} [mm]	H ₉₀₀₁ [m]	σ _{H₉₀₀₁} [mm]
0. etapa	243.1634	0.18	243.1635	0.20
1. etapa	243.1629	0.20	243.1629	0.20
2. etapa	242.5667	0.24	242.5667	0.20
3. etapa	242.4416	0.27	242.4416	0.30
4. etapa	242.5398	0.20	242.5398	0.20
5. etapa	242.4233	0.20	242.4233	0.20
6. etapa	242.6281	0.20	242.6281	0.20
7. etapa	242.9559	0.27	242.9559	0.30

Tab. 5.1: Porovnání výsledných hodnot

Pro další práci bylo důležité stanovit, zda výsledky vyrovnání odpovídají předpokládaným přesnostem. To bylo posuzováno na základě poměru aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky σ_0 a apriorní jednotkové směrodatné odchylky $\bar{\sigma}_0$. Apriorní jednotková směrodatná odchylka byla standardně volena rovna jedné. Vztah pro výpočet poměru β je uveden v rovnici

$$\beta = \frac{\sigma_0}{\bar{\sigma}_0} \quad (5.1)$$

V ideálním případě je aposteriorní jednotková směrodatná odchylka přibližně rovna jedné, avšak za vyhovující je považováno, pokud poměr vypočtený z rovnice (5.1), je menší než mezní odchylka směrodatné odchylky, pro kterou platí vztah:

$$\Delta_{\sigma_0} = \bar{\sigma}_0 \cdot \left(1 + \frac{u_\alpha}{\sqrt{2n'}}\right) \quad (5.2)$$

kde: u_α je koeficient spolehlivosti, v tomto případě byl zvolen roven 2

n' je počet nadbytečných měření

$\bar{\sigma}_0$ je apriorní jednotková směrodatná odchylka

V tabulce (Tab. 5.2) jsou uvedeny hodnoty aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky společně s příslušnou mezní odchylkou směrodatné odchylky, které byly vypočteny v programu MATLAB R2014a. Ve všech případech platí $\beta < \Delta_{\sigma_0}$.

Etapa	Poměr β	Mezní odchylka směrodatné odchylky Δ_{σ_0}
0. etapa	1.06	1.63
1. etapa	1.15	1.63
2. etapa	1.37	1.63
3. etapa	1.45	1.71
4. etapa	1.19	1.63
5. etapa	1.13	1.63
6. etapa	1.15	1.63
7. etapa	1.59	1.63

Tab. 5.2: Zhodnocení přesnosti

5.2 Výška pozorovaného bodu 6901 v jednotlivých etapách

V tabulce (Tab. 5.3) jsou uvedeny výšky pozorovaného bodu v jednotlivých etapách společně s příslušnými směrodatnými odchylkami. Podrobný postup výpočtu je uveden v kapitole 4.3

Etapa	H_{6901} [m]	$\sigma_{H_{6901}}$ [mm]
0. etapa	238.7997	0.29
1. etapa	238.7991	0.30
2. etapa	238.7990	0.32
3. etapa	238.7984	0.34
4. etapa	238.7983	0.30
5. etapa	238.7978	0.29
6. etapa	238.7974	0.30
7. etapa	238.7974	0.36

Tab. 5.3: Výška pozorovaného bodu společně se směrodatnou odchylkou

5.3 Svislé posuny vzhledem k základní etapě

Hodnoty svislých posunů a jejich směrodatné odchylky byly vypočteny v programu Microsoft Excel, způsob výpočtu je vysvětlen v kapitole 4.4. Veškeré posuny jsou vztaženy vzhledem k základní etapě a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5.4).

5.3.1 Statistické testování

U takto malých posunů bylo třeba posoudit, zda posun skutečně nastal, nebo zda hodnoty vznikly následkem náhodných chyb. Pro toto posouzení bylo užito statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti. Za předpokladu, že výsledky měření jsou zatíženy pouze náhodnými chybami se směrodatnou odchylkou σ_p , pak platí následující vztahy:

$$\begin{aligned} p < \sigma_p & \quad \text{Posun není prokazatelný.} & (5.3) \\ \sigma_p \leq p \leq 2\sigma_p & \quad \text{Bod je podezřelý z posunu.} \\ 2\sigma_p < p & \quad \text{Posun je prokázán s rizikem 5\%.} \end{aligned}$$

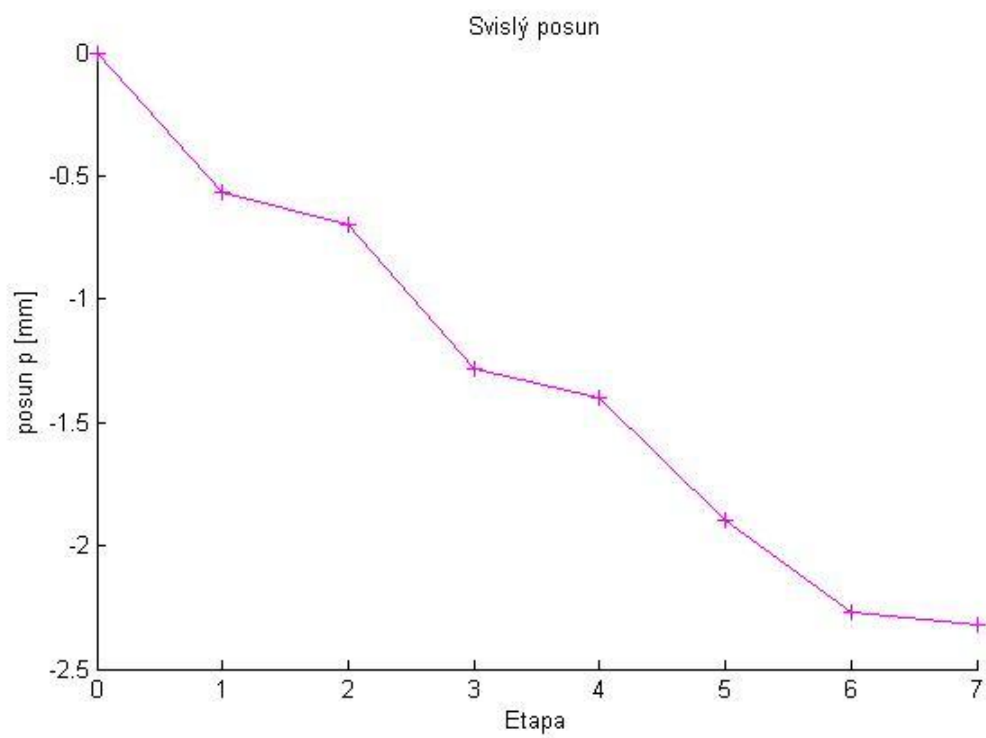
kde p je posun a σ_p je jeho směrodatná odchylka.

Výsledky statistického testování jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5.4).

Etapa	Svislý posun p [mm]	Směrodatná odchylka svislého posunu σ_p [mm]	Mezní hodnota pro prokázání posunu $2\sigma_p$ [mm]	Byl posun prokázán?
0. etapa	0.00	0.41	0.83	NE
1. etapa	0.57	0.42	0.84	NE
2. etapa	0.70	0.44	0.87	NE
3. etapa	1.28	0.45	0.90	ANO
4. etapa	1.40	0.42	0.84	ANO
5. etapa	1.90	0.41	0.82	ANO
6. etapa	2.27	0.42	0.83	ANO
7. etapa	2.32	0.47	0.94	ANO

Tab. 5.4: Přehled svislých posunů

Na Obrázku (Obr. 5.2) je znázorněn vývoj svislého posunu v rámci etap.



Obr. 5.2: Vývoj svislého posunu v rámci etap

6. ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce měla za cíl sledovat svislé posuny během výstavby bytového domu, který je součástí rezidenčního projektu Zelené město etapa 2. Bylo zpracováno etapové měření zachycující vývoj svislých posunů při výstavbě 2NP až 5NP, jednotlivé etapy byly vyhodnoceny vzhledem k základní etapě. V rámci vyhodnocení bylo zapotřebí zjistit, zda posuny nevznikly jako následek měřičských chyb, pro toto posouzení bylo použito statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti. Nejvyšší hodnota svislého posunu byla zaznamenána v 7. etapě, a to 2.32 mm. Nárůst hodnot svislých posunů je možné sledovat v závislosti na pokračující výstavbě jednotlivých podlaží bytového domu. V žádné z etap nebylo zjištěno překročení mezní hodnoty 5 mm.

V současné době (9.5.2016) výstavba a také měření svislých posunů nadále pokračuje, není však již předmětem této bakalářské práce.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Vizualizace projektu Zelené město etapa 2 (obrázek převzat z [6])	8
Obr. 3.1: Výstavba 2NP	15
Obr. 3.2: Celkový pohled při výstavbě (fotografie převzata z [5]).....	15
Obr. 3.3: Lokalita objektu [7]	16
Obr. 3.4: Totální stanice Leica TCRA 1201+ R400	17
Obr. 3.5: Náčrt situace v terénu	17
Obr. 3.6: Umístění pozorovaného bodu [8]	18
Obr. 3.7: Stabilizace pozorovaného bodu	18
Obr. 5.1: Ukázkový vstupní soubor do programu GNU Gama 1.15	24
Obr. 5.2: Vývoj svislého posunu v rámci etap.....	28

8. SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Přesnost totální stanice	16
Tab. 3.2: Souřadnice vztažných bodů	18
Tab. 3.3: Přehled etap	19
Tab. 5.1: Porovnání výsledných hodnot	25
Tab. 5.2: Zhodnocení přesnosti.....	26
Tab. 5.3: Výška pozorovaného bodu společně se směrodatnou odchylkou	26
Tab. 5.4: Přehled svislých posunů	27

9. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] URBAN, Rudolf. *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [2] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie I.: Geodézie ve stavebnictví*. Brno, 2006.
- [3] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie II.: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno, 2007.
- [4] *IngGeo: Portál inženýrské geodézie* [online]. ČVUT [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php>
- [5] *Zelené město: etapa 2* [online]. Praha: Daramis Development s.r.o., c2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.zelene-mesto2.cz/>
- [6] *Nové bydlení* [online]. Nexus Group, c2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.novebydleni.cz/>
- [7] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz a.s. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [8] *Angermeier Engineers, s.r.o.*
- [9] PROCHÁZKA, Jaromír. *SYLABUS 11. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE: Měření posunů a přetvoření*[online]. 2015 [cit. 2016-05-11].
- [10] Česká státní norma ČSN 73 0405 – měření posunů stavebních objektů

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výsledky měření jednotlivých etap.....	34
Příloha 2: Skript použitý pro výpočet	37

Příloha 1 - Výsledky měření jednotlivých etap

0. etapa

0. etapa			26.2.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_z [mgon]
6066	41.7554	0.75	98.9817	0.50
6064	74.1467	0.79	83.3070	0.50
6067	51.9688	0.76	81.8279	0.50
6068	48.3954	0.76	70.0997	0.50
6069	38.4534	0.75	91.5291	0.50
6050	81.5120	0.79	94.4907	0.50
6901	24.5827	0.73	111.3612	0.50

Tabulka 1: Výsledky měření 0. etapy

1. etapa

1. etapa			4.3.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_z [mgon]
6066	41.7547	0.75	98.9812	0.50
6064	74.1471	0.79	83.3069	0.50
6067	51.9687	0.76	81.8260	0.50
6068	48.3954	0.76	70.0998	0.50
6069	38.4533	0.75	91.5283	0.50
6050	81.5116	0.79	94.4894	0.50
6901	24.5825	0.73	111.3613	0.50

Tabulka 2: Výsledky měření 1. etapy

2. etapa

2. etapa			11.3.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_z [mgon]
6066	42.9471	0.75	98.1253	0.50
6064	75.2368	0.79	83.0316	0.50
6067	52.6317	0.76	81.3106	0.50
6068	48.9436	0.76	69.5902	0.50
6069	37.8751	0.75	90.3848	0.50
6050	80.4174	0.79	93.9421	0.50
6901	23.2259	0.73	110.3733	0.50

Tabulka 3: Výsledky měření 2. etapy

3. etapa

3. etapa			18.3.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_ζ [mgon]
6066	42.9793	0.75	97.9417	0.50
6064	75.2783	0.79	82.9318	0.50
6067	52.6469	0.76	81.1567	0.50
6068	neměřeno	-	neměřeno	-
6069	37.8266	0.75	90.1605	0.50
6050	80.4047	0.79	93.8396	0.50
6901	23.1523	0.73	110.0596	0.50

Tabulka 4: Výsledky měření 3. etapy

4. etapa

4. etapa			27.3.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_ζ [mgon]
6066	41.6920	0.75	98.0283	0.50
6064	74.1695	0.79	82.7574	0.50
6067	51.9425	0.76	81.0202	0.50
6068	48.4760	0.76	69.2312	0.50
6069	38.3380	0.75	90.4573	0.50
6050	81.6555	0.79	94.0118	0.50
6901	24.4470	0.73	109.7818	0.50

Tabulka 5: Výsledky měření 4. etapy

5. etapa

5. etapa			1.4.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_ζ [mgon]
6066	42.6526	0.75	97.8987	0.50
6064	74.8119	0.79	82.8058	0.50
6067	52.0520	0.76	80.9105	0.50
6068	48.4034	0.76	69.0080	0.50
6069	37.3257	0.75	89.9959	0.50
6050	80.7694	0.79	93.8547	0.50
6901	23.1932	0.73	109.9925	0.50

Tabulka 6: Výsledky měření 5. etapy

6. etapa

6. etapa			8.4.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_ζ [mgon]
6066	41.7757	0.75	98.1672	0.50
6064	74.2032	0.79	82.8435	0.50
6067	51.9300	0.76	81.1272	0.50
6068	48.4304	0.76	69.3310	0.50
6069	38.2406	0.75	90.5821	0.50
6050	81.5649	0.79	94.0748	0.50
6901	24.3531	0.73	110.0558	0.50

Tabulka 7: Výsledky měření 6. etapy**7. etapa**

7. etapa			15.4.2016	
Bod	Šikmá délka [m]	σ_{d_s} [mm]	Zenitový úhel [gon]	σ_ζ [mgon]
6066	37.8053	0.75	98.5265	0.50
6064	70.9155	0.78	82.3328	0.50
6067	50.1380	0.76	80.8663	0.50
6068	47.3412	0.76	69.0632	0.50
6069	40.3878	0.75	91.6080	0.50
6050	85.4574	0.80	94.5912	0.50
6901	28.5477	0.74	109.3069	0.50

Tabulka 8: Výsledky měření 7. etapy

Příloha 2 - Skript použitý pro výpočet

```
clc;
clear;
format long g
format compact

%!!!!!!nutne zmenit pro kazdou jednotlivou etapu!!!!!!
%pocet = (pocet mereni na body na ktere se pripojuji + 1 mereni na
pozorovany bod)
pocet = 7;

%% NACTENI VSTUPNICH DAT

fileID = fopen('etapall03.txt','r');
formatSpec = '%f';
sizeA = [5 pocet];
A = fscanf(fileID,formatSpec,sizeA);
B = A';
fclose(fileID);

%nacteni mereni
mereni = B(1:(end-1),:);
%nacteni mereni na pozorovany bod 6901
mereni_bod = B(end,1:4);

%% VYPOCET VYSKY VOLNEHO STANOVISKA 9001 VYROVANANIM MNC
% Vysky vytaznych bodu
Z = mereni(:,5);

% Pocet bodu na ktere se pripojuji
m = pocet - 1;

% Pocet neznomych parametru - parametr je neznama vyska stanoviska
o = 1;

% Prevedeni zenitovych uhlu na radiany
zen_rad_bod = mereni_bod(:,3) * (pi/200);
zen_rad = mereni(:,3) * (pi/200);

% Vypocet prevyseni dH
dH = mereni(:,4) .* cos(zen_rad(:,1));

% Smerodatna odchylka prevyseni pri uvazeni vlivu pouze merenych
velicin
sigma_z = (0.5);smerodatna odchylka zenit. uhlu mereneho ve skupine
[mgon]

sigma_delky_konkretni = ((mereni(:,4)/1000)*1.5 + 1);% smerodatna
odchylka jednou merene delky v mm(1mm + 1.5ppm)

sigma_delky_konkretni = sigma_delky_konkretni/sqrt(2); % smerodatna
odchylka delky ve skupine [mm]

for i = 1:m
    sigma_dH(i) = sqrt((cos(zen_rad(i)))^2.*
sigma_delky_konkretni(i)^2 + (mereni(i,4))^2.* (sin(zen_rad(i)))^2.*
sigma_z^2/(200/pi)^2);
    i = i+1;
end
```

```

sigma_dH = sigma_dH'/1000; %smerodatna odchylka prevyseni [m]

% Vypocet opravy ze zakriveni pro jednotlivu prevyseni
delky_v = mereni(:,4).*sin(zen_rad(:,1)); %vodorovne delky
oprava_zakriveni = (delky_v.^2)/(2*6380000);

% Vektor mereni L
L = dH + oprava_zakriveni;

% Vypocet vektoru parametru X0 (priblizna souradnice stanoviska)
X0 = Z(1) - L(1);

% Apriorni jednotkova smerodatna odchylka - zvolena rovna 1
m0 = 1;

% Matice vah
P = diag(m0^2./(sigma_dH).^2);

% Priblizny vektor mereni LX0
LX0 = [];
for i = 1:m
    promena = Z(i) - X0;
    LX0 = [LX0; promena];
end
LX0;

% Matice planu
A = [];
for i = 1:m
    promenaA = -1;
    A = [A; promenaA];
end
A;

% Vektor redukovanych mereni
l = L - LX0;

% Reseni normalnich rovnic
N = A' * P * A;
n = A' * P * l;
dx = inv(N) * n; % Vektor prirustku
X = X0 + dx; % Vyrovnane nezname

% Vektor vyrovnanych mereni
Lv = [];
for i = 1:m
    promenaLv = Z(i) - X;
    Lv = [Lv; promenaLv];
end

% Vypocet oprav
v1 = A * dx - l;
v2 = Lv - L;
kontrola = v1 - v2; % Kontrola oprav, mela by se blizit nule
% Odhad jednotkove smerodatne odchylky (Aposteriorni sm. odchylka)
m0_odhad = sqrt((v1' * P * v1)/(m - o));

% Smerodatna odchylka vyrovnanych neznamych
sigma_x = sqrt(m0_odhad^2 * N^(-1));

% Smerodatna odchylka mereni

```

```

sigma_L = diag(sqrt(m0_odhad^2 * P^(-1)));

% Smerodatna odchylka vyrovnaných merení
sigma_Lv = diag(sqrt(A * (m0_odhad^2 * N^(-1)) * A'));

%% VYPOCET VYSKY POZOROVANEHO BODU 6901

% Vypocet opravy ze zakriveni pro prevyseni
delky_v_bod = mereni_bod(1,4).*sin(zen_rad_bod(1,1)); %vodorovna delka
oprava_zakriveni_bod = (delky_v_bod.^2)/(2*6380000);

% Vyska pozorovaneho bodu H6901
H6901 = X + mereni_bod(1,4)*cos(zen_rad_bod) + oprava_zakriveni_bod;

% Vypocet smerodatne odchylky vysky pozorovaneho bodu 6901 pri uvazeni
pouze merených velicin a smerodatne odchylky vysky stanoviska
sigma_delky_konkretni_na_bod = ((mereni_bod(1,4)/1000)*1.5 + 1); %
Smerodatna odchylka jednou merene delky v mm(1mm + 1.5ppm)

sigma_delky_konkretni_na_bod = sigma_delky_konkretni_na_bod/sqrt(2); %
Smerodatna odchylka delky ve skupine

% Smerodatna odchylka vysky bodu 6901 [mm]
sigma_H = sqrt((sigma_x*1000)^2 + (cos(zen_rad_bod))^2.*
sigma_delky_konkretni_na_bod^2 + (mereni_bod(1,4))^2.*
(sin(zen_rad_bod))^2.* sigma_z^2/(200/pi)^2);

%% ZHODNOCENI PRESNOSTI MERENI

% Pomer aposteriorni a apriorni smerodatne odchylky
pomer = m0_odhad/m0;

% Mezni odchylka smerodatne odchylky "stredni chyba stredni chyby"
u_alfa = 2; %koeficient spolehlivosti - zvolen roven 2
mezni = m0 * (1 + u_alfa/sqrt(2*(m - o)));

%% PROTOKOL O VYPOCTU

    fprintf('\n')
    fprintf ('                                PROTOKOL O
VÝPOČTU\n')
    fprintf('\n')

fprintf('=====
=====\\n')

    formatShort = '%4.0f \\n';
    formatLong = '%5.4f \\n';
    fprintf('Počet neznámých:           ')
    fprintf(formatShort,o)
    fprintf('Počet měření:           ')
    fprintf(formatShort,m)
    fprintf('Počet nadbytečných měření: ')
    fprintf(formatShort,m-o)

    fprintf('                                ZHODNOCENÍ
PŘESNOSTI MĚŘENÍ:\\n')
    fprintf('-----
-----
\\n')
    fprintf('Apriorní směrodatná odchylka:           ')
    fprintf(formatLong,m0)

```

```

    fprintf('Aposteriorní směrodatná odchylka:                ')
    fprintf(formatLong,m0_odhad)
    fprintf('Poměr aposteriorní a apriorní směrodatné odchylky: ')
    fprintf(formatLong,pomer)
    fprintf('Mezní odchylka směrodatné odchylky                ')
    fprintf(formatLong,mezni)
    fprintf('\n')
if pomer <= mezni
    fprintf('Přesnost byla splněna, poměr < mezní odchylka ')
    else
    fprintf('Přesnost nebyla splněna, poměr >= mezní odchylka.
Nutné vyloučit měření s největší opravou ')
end
    fprintf('\n')
    fprintf('\n')
    fprintf('
                                VYROVNANÁ
PŘEVÝŠENÍ\n')
    fprintf('-----
-----
\n')
    fprintf('z bodu   na bod   přibližné hodnoty [m]   apriorní odch.
[mm]   vyrovnané hodnoty [m]   směrodatné odch. vyrovnaných hodnot
[mm]\n')
    fprintf('-----
-----
\n')
for i = 1:m
    formatSpec1 = '   %4.0f           %4.0f           %5.4f
%5.4f           %5.4f           %5.4f\n';
    fprintf(formatSpec1,mereni(i,1),mereni(i,2),L(i),sigma_dH(i)*1000,Lv(i)
), sigma_Lv(i)*1000)
end
    fprintf('\n')
    fprintf('\n')
    fprintf('
                                VYROVNANÁ VÝŠKA
STANOVISKA 9001\n')
    fprintf('-----
-----
\n')
    fprintf('           přibližná hodnota[m]           korekce[m]           vyrovnaná hodnota
[m]           směrodatná odchylka [mm]\n')
    fprintf('-----
-----
\n')
for i = 1:o
    formatSpec2 = '           %5.4f           %5.4f
%5.4f           %5.4f\n';
    fprintf(formatSpec2,X0(i),dx(i),X(i),sigma_x(i)*1000)
end
    fprintf('\n')
    fprintf('=====
=====
\n')
    fprintf('\n')
    fprintf('
                                VÝŠKA
POZOROVANÉHO BODU 6901\n')
    fprintf('-----
-----
\n')
    fprintf('
                                výška [m]           směrodatná odchylka [mm]\n')

```



```
fprintf('-----  
-----  
\n')  
formatSpec3 = '          %5.4f          %5.4f\n';  
fprintf(formatSpec3,H6901,sigma_H)
```