



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

VYTVORENIE PODROBNÉHO BODOVÉHO POĽA PRE VÝUKOVÉ UČELY V AREÁLI FAST

SETTING UP MINOR GEODETIC CONTROL POINTS FOR TEACHING PURPOSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Peter Gunár

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL BUDAY

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Peter Gunár
Název	Vytvorenie podrobného bodového poľa pre výukové učely v areáli FAST
Vedoucí práce	Ing. Michal Buday
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Švábenský O., Vitula A., Bureš J.: Inženýrská geodézie I. M02 Geodézie ve stavebnictví, studijní opora VUT Brno, 2006

Švábenský O., Vitula A., Bureš J.: Inženýrská geodézie I. M01 Základy inženýrské geodézie, studijní opora VUT Brno, 2006

Švábenský O., Vitula A., Bureš J.: Inženýrská geodézie II. M01 Analýza přesnosti vytýčení polohy, studijní opora VUT Brno, 2007

Abelovič, J. a kol.: Meranie v geodetických sieťach, Alfa Bratislava, 1990

ČSN 01 3410 (013410) Mapy velkých měřítek - Základní a účelové mapy

ČSN 01 3411 (013411) Mapy velkých měřítek - Kreslení a značky

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Stabilizujte a následně zamerajte výukový тренаžér pre potreby výuky stavebných oborov, podrobné polohové a výškové bodové pole, v areáli Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brne (je možné použít už existující stabilizované body v areáli). Dodržte nasledovné charakteristiky presnosti:

- stredná súradnicová chyba $m_{xy} \leq 0.025$ m

- stredná výšková chyba $m_h \leq 0.015$ m

Postupy a metody vlastného merania a následného spracovania konzultujte s vedúcim bakalárskej práce.

Dosiahnuté výsledky uveďte v prehľadnej dokumentácii, grafická časť dokumentácie bude zodpovedať normám ČSN 01 3410 a ČSN 01 3411.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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

Ing. Michal Buday

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Predmetom bakalárskej práce je vytvorenie podrobného bodového poľa pre výukové účely v areáli stavebnej fakulty v Brne. V práci je popísaný postup voľby konfigurácie siete bodového poľa, jej stabilizácia a pripojenie do referenčného systému S-JTSK a výškového systému Bpv. Následné vyhotovenie prehľadnej dokumentácie, zoznamu súradníc a výšok bodov a grafickej časti dokumentácie, podľa kritérií dohodnutých s vedúcim bakalárskej.

KLÍČOVÁ SLOVA

stavebná fakulta, bodové pole, geodetická sieť, trenažér, GNSS

ABSTRACT

The object of this bachelor thesis is to create detailed geodetic point field for practical exercising in the area of faculty of civil engineering in Brno. In the thesis, there is described the process to choose of configuration of the geodetic point field, its stabilization and connection to the reference systém S-JTSK and height systém Bpv. The consequential issuance of structured documentation, the list of coordinates and heights of points and the grafical part of documentation, according to specified criteria.

KEYWORDS

faculty of civil enigneering, point field, geodetic screen, simulator, GNSS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Peter Gunár *Vytvorenie podrobného bodového poľa pre výukové učely v areáli FAST*. Brno, 2017. 44 s., 26 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Buday

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. 5. 2017

Peter Gunár
autor práce

POĎAKOVANIE

Rád by som sa poďakoval v prvom rade vedúcemu bakalárskej práce, Ing. Michalovi Budayovi, za ochotu, poznatky a rady pri vyhotovovaní bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať spolužiakom a priateľom, ktorí mi pomohli pri meraní. Poďakovať by som sa chcel aj Výskumnému centru AdMas, ktorí mi zapožičali prístrojové vybavenie. V neposlednej rade by som sa chcel poďakovať mojej rodine za podporu pri štúdiu na vysokej škole.

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Lokalizácia areálu	10
2.1.	História lokality	11
3.	Prípravné práce	12
3.1.	Rekognoskácia terénu	12
3.2.	Rekognoskácia bodového poľa.....	12
3.3.	Použité prístroje a pomôcky	13
3.4.	Rozbor presnosti pred meraním	16
3.5.	Súčtová konštanta hranola	18
4.	Tvorba pomocnej meračskej siete.....	22
4.1.	Návrh siete	22
4.2.	Stabilizácia bodov siete	23
5.	Metodika merania	24
5.1.	Metodika polohového merania	24
5.2.	Metodika výškového merania.....	26
5.3.	Metodika merania GNSS	28
6.	Spracovanie.....	30
6.1.	Výstupné formáty	30
6.2.	Výpočtové práce	31
6.3.	Testovanie presnosti	33
6.3.1.	Testovanie presnosti polohy	34
6.3.2.	Testovanie presnosti výšky	36
6.4.	Grafické práce.....	38
7.	Záver	39
8.	Zoznam použitej literatúry	40
9.	Zoznam použitých skratiek	41
10.	Zoznam tabuliek	42
11.	Zoznam obrázkov	43
12.	Zoznam príloh.....	44

1. Úvod

Predmetom bakalárskej práce bolo vytvorenie a zameranie výukového trenažeru pre potreby výuky stavebných oborov, podrobného polohového a výškového bodového poľa v areáli Fakulty stavebnej Vysokého učenia technického v Brne.

Cieľom vyhotovenia dokumentácie sú podmienky a kritéria stanovené vedúcim bakalárskej práce:

- stredná súradnicová chyba $m_{xy} \leq 0,025\text{m}$
- stredná výšková chyba $m_h \leq 0,015\text{m}$

Prvú časť bakalárskej práce tvorí postup návrhu a budovania výukového trenažeru v areáli FAST a rozbor presnosti pred meraním. Táto časť sa venuje aj rekognoscácii bodového poľa a použitým podkladom pri tvorbe výukového trenažeru. Obsiahnutý je aj popis použitých pomôcok, ktoré boli pri meraní použité.

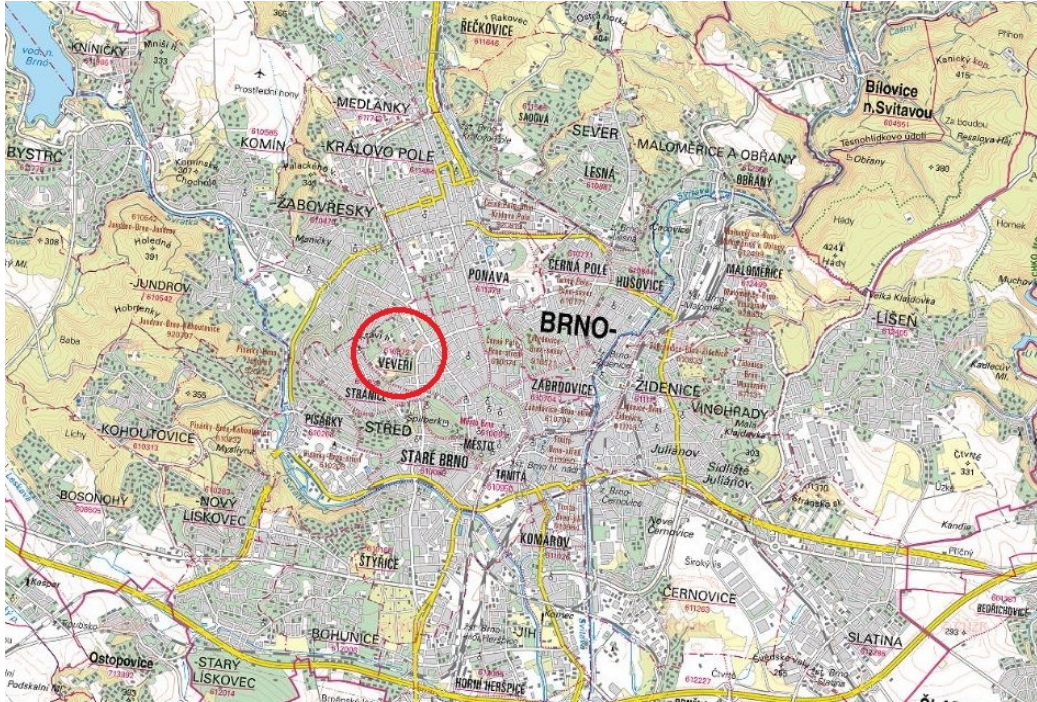
Druhú, praktickú časť, bakalárskej práce tvorí popis voľby konfigurácie bodového poľa a spôsob stabilizácie bodov. V tejto časti je opísaný návrh vhodného postupu merania trenažeru a doplnenia bodov.

Ďalšia časť práce je venovaná popisu kancelárskych prác, od výpočtov meraných hodnôt po spracovanie a zhodnotenie jednotlivých výstupov. Výpočet siete prebiehal v program G-NET. Dosiahnuté výsledky sú uvedené v prehľadnej dokumentácii, kde grafická časť zodpovedá normám ČSN 01 3410 a ČSN 01 3411.

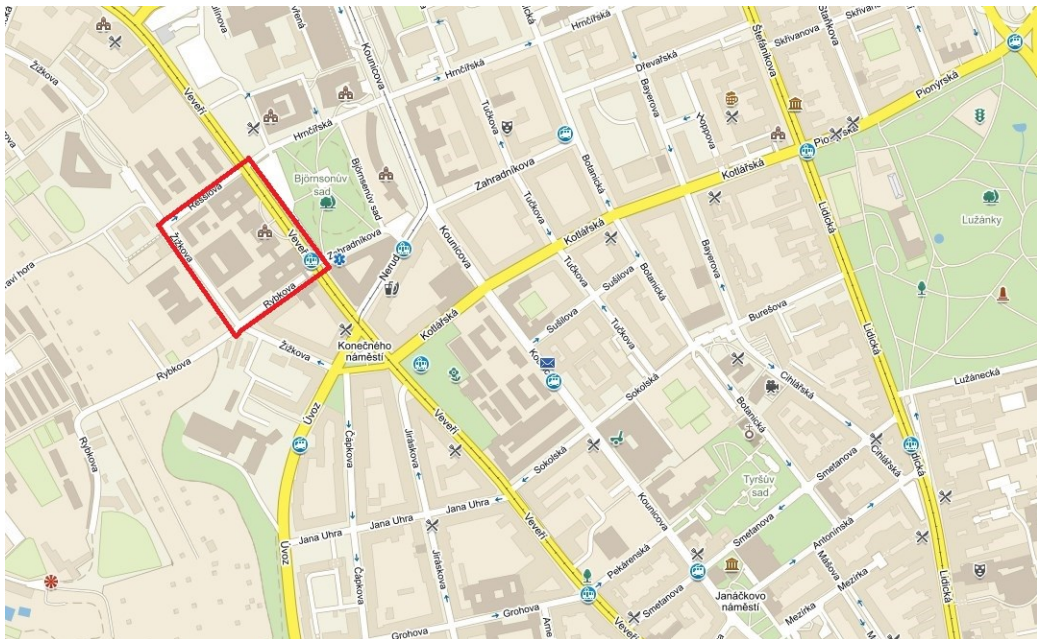
Posledná časť bakalárskej práce obsahuje výsledné súradnice a výšky bodov výukového trenažeru, ich stredné chyby, prehľadnú situáciu rozloženia bodov ako aj geodetické údaje o týchto bodoch. Všetky časti dokumentácie sú v tlačenej podobe a aj v podobe digitálnej.

2. Lokalizácia areálu

Stavebná Fakulta je umiestnená v historickom areály VUT v Brne na uliciach Veverí a Žižkova, v mestskej časti Brno-stred a katastrálnom území Veverí.



Obr. 1 Poloha katastrálneho územia Veverí (prevzaté z [1])



Obr. 2 Poloha areálu FAST VUT (prevzaté z [2])

2.1. História lokality

Fakulta stavebná je najväčšou a najstaršou fakultou Vysokého učenia technického v Brne. Vzniku tejto vysokej školy predchádzalo v roku 1849 založenie technického učilišťa v Brnĕm ktoré bolo v roku 1873 prehlásené Vysokou školou technickou.

V novembri 1899 bola zahájená výuka v oboru stavebného inžinierstva. Od roku 1900 bola výuka rozšírená o obor strojného inžinierstva a o kurz vzdelávania zememeračov.

Dňa 24. júla 1956 vzniklo Vysoké učenie technické v Brnĕ s tromi fakultami: Fakultou inžinierskeho stavebníctva (FIS), Fakultou architektúry a pozemného stavebníctva (FAPS) a Fakultou energetickou (FE). V roku 1960 boli fakulty (FIS a FAPS) zlúčené v rámci VUT do Fakulty stavebnej.

V súčasnosti tvoria areál Fakulty stavebnej budovy A, B, C, D, E2, F, R a Z. [3]



Obr. 3 Aktuálny pohľad na budovu A stavebnej fakulty [autor]

3. Prípravné práce

Pred začatím meračských prác bolo nutné sa zoznámiť s polohou danej lokality, následne získať potrebné podklady, vykonať rekognoskáciu terénu a tiež rekognoskáciu výškového bodového poľa.

3.1. Rekognoskácia terénu

Rekognoskácia areálu FAST VUT prebiehala v decembri 2016. Areál je ohraničený ulicami Veverí, Žižkova, Rybkova a ulicou Resslova. V záujmovej lokalite areálu sa nachádzajú bodovy A, B, C, D, E2 a F.

Počas rekognoskácie sa zisťoval stav a počet bodov stabilizovaných na fasádach budov (terčíky a štítky), ako aj stav na dlažbách (meračské klince).

S vedúcim bakalárskej práce bol dohodnutý rozsah potrebný pre výukové účely a to zaistenie možnosti merania minimálne 3 meračských skupín naraz a pre každú meračskú skupinu aby bolo vidno aspoň 5 ďalších stabilizovaných bodov.

3.2. Rekognoskácia bodového poľa

Pri rekognoskácii sa zistilo, že počet a rozmiestnenie bodov by vyhovovala pre 1 meračskú skupinu. Najviac stávajúcich bodov sa nachádzalo na moste medzi budovami A a B a na fasáde budovy B. Dohromady bolo použitých 20 stávajúcich terčikov. Doplnených bolo 14 odrazných štítkov rôznych veľkostí (2x2 cm, 3x3 cm a 4x4 cm), ktoré boli umiestňované tak, aby bola čo najmenšia šanca ich zničenia. To znamená, že boli umiestnené na rámy okien alebo miesta, kde by neboli ohrozené najmä poveternostnými podmienkami.

Pri rekognoskácii bolo potrebné zistiť aj stav výškového poľa. Všetky informácie o výškovom bodovom poli boli vyhľadane na ČÚZK v sekcii databázy bodových polí. Vybraté boli 2 body nivelačnej siete, ktoré boli následne zahrnuté do tvorby bodového pola výukového trenažéru. Oba body sa nachádzajú na budovách stavebnej fakulty a boli nájdené a overené podľa nivelačných údajov. Prvý bod,

bod Kij-7.2c sa nachádza na krížení ulice Resslova a ulice Veveří, na budove C stavebnej fakulty. Druhý bod, bod Kij-7.2d je umiestnený pri vstupe do budovy A.

Tabuľka 1 Výsledok rekognoskácie výškového poľa

Číslo bodu	Výška [m]	Stabilizácia	Využitie
Kij - 7.2c	250,669	čapová	použitá
Kij - 7.2d	251,878	čapová	použitá



Obr. 4 Prehľad nivelačných bodov v okolí fakulty (prevzaté z [3])

3.3. Použité prístroje a pomôcky

Na zameranie výukového trenažéru boli použité viaceré meračské prístroje. Pre terestrické meranie boli použité dve totálne stanice od firmy Trimble. Jednalo sa o totálnu stanicu Trimble S8 v prvej etape merania a o totálnu stanicu Trimble S6, použitú v druhej etape merania výukového trenažéru.

Tabuľka 2 Špecifikácie totálnej stanice Trimble S8 [4]

Totálna stanica Trimble S8 0,5HP, v.č.: 98810133	
Presnosť merania uhlov	1'' (0,3 mgon)
Presnosť merania dĺžok (hranol)	1 mm + 1 ppm
Presnosť merania dĺžok (bezhranol)	2 mm + 2 ppm
Kompenzátor	dvojosý
Rozsah kompenzátora	±5,4' (±100 mgon)
Zväčšenie ďalekohľadu	30 x
Minimálna zaostrovacia schopnosť	3 m



Obr. 5 Totálna stanica Trimble S8 [autor]



Obr. 6 Totálna stanica Trimble S6 [autor]

Tabuľka 3 Špecifikácie totálnej stanice Trimble S6 [5]

Totálna stanica Trimble S6 3 DR Plus, v.č.:93112749	
Presnosť merania uhlov	3'' (1,0 mgon)
Presnosť merania dĺžok (hranol)	2 mm + 2 ppm
Presnosť merania dĺžok (bezhranol)	2 mm + 2 ppm
Kompenzátor	dvojosý
Rozsah kompenzátora	±5,4' (±100 mgon)
Zväčšenie ďalekohľadu	30 x
Minimálna zaostrovacia schopnosť	3 m

Pre určenie nadmorských výšok stanovísk (8001-8005) a pre overenie výšky nivelačného bodu Kij-7.2c a Kij-7.2d bol použitý nivelačný prístroj Trimble DiNi 0,3mm.

Tabuľka 4 Špecifikácie nivelačného prístroja Trimble DiNi 0,3mm [6]

Trimble DiNi 0,3 mm, v.č.: 742066	
Smerodajná kilometrová odchýlka	0,3 mm
Rozsah kompenzátora	±15' (±270 mgon)
Presnosť na invarovej kódovej lati	0,3 mm
Presnosť na kódovej lati	1,0 mm
Vzdialenosť	1,5 m - 100 m



Obr. 7 Nivelačný prístroj Trimble DiNi 0,3mm [autor]

Pre pripojenie bodov siete do S-JTSK bola použitá aparatúra GNSS od firmy Trimble, konkrétne anténa Trimble R4- model 3 s kontrolnou jednotkou Trimble Slate.

Tabuľka 5 Špecifikácie GNSS aparatúry Trimble R4-3 [7]

Trimble R4 - model 3, v.č.: 5345446904	
Podporované systémy	GPS - NAVSTAR, GLONASS, GALILEO, BEIDOU
Presnosť RTK v polohe	8 mm + 1 ppm
Presnosť RTK vo výške	15 mm + 1 ppm
Komunikácia s kontrolérom	bluetooth



Obr. 8 GNSS aparatúra Trimble R4-3 [autor]

Medzi ďalšie meračské vybavenie patrila napríklad trojpodstavcová súprava, statívy, pásmo, nivelačné invarové laty, nivelačné podložky, bipod, meračské klince a odrazné štítky.

3.4. Rozbor presnosti pred meraním

Rozbor presnosti bez uvažovania vplyvu siete.

$m_{x,y} = 0,025 \text{ m}$ požadovaná stredná súradnicová chyba

$m_{ST} = 0,001 \text{ m}$ stredná chyba centrácie prístroja

$s = 100 \text{ m}$ vzdialenosť, pre ktorú je počítaný rozbor (získaná z predbežného plánovania siete)

Stredná chyba polárnej metódy [8]

$$m_{x,y}^2 = \frac{1}{2}(m_s^2 + m_\omega^2 \cdot s^2) + m_{ST}^2 \quad (1)$$

$$2(m_{x,y}^2 - m_{ST}^2) = m_s^2 + m_\omega^2 \cdot s^2 \quad (2)$$

Zásada rovnakého vplyvu

$$m_s^2 = m_\omega^2 \cdot s^2 = (m_{x,y}^2 - m_{ST}^2) \quad (3)$$

Požadovaná stredná chyba u dĺžky $m_s = 0,025 \text{ m}$

Požadovaná stredná chyba uhlu $m_\omega = 0,0159^g$

Počet opakovaní pre:

- Trimble S8 ($m_r^H = 0,0003^g, m_{s_0} = 1\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot s[\text{km}]$ [4])

$$n = \frac{m_{\omega_0}^2}{m_\omega^2} = \frac{(0,0004^g)^2}{(0,0159^g)^2} \Rightarrow 1 \text{ skupina} \quad (4)$$

$$m_{s_0} = 1,1\text{mm}; \quad m_{s_0} < m_s$$

- TrimbleS6 ($m_r^H = 0,0010^g, m_{s_0} = 2\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot s[\text{km}]$ [5])

$$n = \frac{m_{\omega_0}^2}{m_\omega^2} = \frac{(0,0014^g)^2}{(0,0159^g)^2} \Rightarrow 1 \text{ skupina} \quad (5)$$

$$m_{s_0} = 2,2\text{mm}; \quad m_{s_0} < m_s$$

$m_h = 0,015 \text{ m}$

požadovaná stredná výšková chyba

$m_i = 0,002 \text{ m}$

stredná chyba určenia výšky stanoviska

$s = 30 \text{ m}, z = 35^g$

hodnoty z predbežného plánovania rozmiestnenia siete

vzhľadom k najhoršej možnej konfigurácii

Stredná chyba trigonometrického určenia výšky do $s = 100\text{m}$ [8]

$$m_H^2 = m_s^2 \cdot \cotg^2 z + \frac{s^2}{\sin^4 z} \cdot m_z^2 + m_i^2 \quad (6)$$

$$(m_H^2 - m_i^2) = m_s^2 \cdot \cotg^2 z + \frac{s^2}{\sin^4 z} \cdot m_z^2 \quad (7)$$

Zásada rovnakého vplyvu

$$m_s^2 \cdot \cot g^2 z = \frac{s^2}{\sin^4 z} \cdot m_z^2 = \frac{(m_H^2 - m_i^2)}{2} \quad (8)$$

Požadovaná stredná chyba u dĺžky $m_s = 0,0064 \text{ m}$

Požadovaná stredná chyba uhlu $m_\omega = 0,0086^g$

Počet opakovaní pre:

- Trimble S8 ($m_{r,II} = m_z = 0,0003^g$, $m_{s_0} = 1\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot s[\text{km}][4]$)

$$n = \frac{m_{\omega_0}^2}{m_\omega^2} = \frac{(0,0003^g)^2}{(0,0086^g)^2} \Rightarrow 1 \text{ skupina} \quad (9)$$

$$m_{s_0} = 1,03\text{mm}; \quad m_{s_0} < m_s$$

- Trimble S6 ($m_{r,II} = m_z = 0,0010^g$, $m_{s_0} = 2\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot s[\text{km}][5]$)

$$n = \frac{m_{\omega_0}^2}{m_\omega^2} = \frac{(0,0010^g)^2}{(0,0086^g)^2} \Rightarrow 1 \text{ skupina} \quad (10)$$

$$m_{s_0} = 2,06\text{mm}; \quad m_{s_0} < m_s$$

3.5. Súčtová konštanta hranola

Pred oboma etapami merania bolo potrebné zistiť konštantu hranola a to z dôvodu použitia vždy iných trojpodstavcových súprav. Meranie na hranol bolo využité len pri meraní siete, ostatné body, body na fasáde (terčíky a odrazné štítky), boli merané bezhranolovým módom.

Pri prvej etape boli použité hranoly a trojpodstavcová súprava zo školy (výrobca Trimble). Bolo teda na mieste určiť ich konštanty. V prístroji sa nastavila hodnota konštanty 0,00 mm a trojpodstavcová súprava bola zaradená do priamky. Zaradenie do priamky bolo realizované priamo totálnou stanicou. Všetky vzdialenosti boli merané obojsmerne a boli merané šikmé dĺžky, ktoré sa v totálnej stanici prepočítali na vodorovné dĺžky.



Obr. 9 Zaradovanie hranolov do priamky totálnou stanicou Trimble S6 [autor]

Tabuľka 6 Určenie súčtovej konštanty hranola č. 1

Súčtová konštantá hranola 1 (oranžový)			
$a'_1 = 17,7639 \text{ m}$	$a''_1 = 17,7641 \text{ m}$	$a_1 = 17,7640 \text{ m}$	$d_{a1} = a'_1 - a''_1 = 0,2 \text{ mm}$
$b'_1 = 36,4101 \text{ m}$	$b''_1 = 36,4095 \text{ m}$	$b_1 = 36,4098 \text{ m}$	$d_{b1} = b'_1 - b''_1 = 0,6 \text{ mm}$
$c'_1 = 54,1430 \text{ m}$	$c''_1 = 54,1434 \text{ m}$	$c_1 = 54,1432 \text{ m}$	$d_{c1} = c'_1 - c''_1 = -0,4 \text{ mm}$

$$\text{PSM}_1 = c_1 - (a_1 + b_1) = -0,0306 \text{ m} = -30,6 \text{ mm} \quad (11)$$

Stredná chyba jedného merania dĺžky v dvojici:

$$m_{d'1} = \sqrt{\frac{d_{a1}^2 + d_{b1}^2 + d_{c1}^2}{2 \cdot n}} = 0,31 \text{ mm} \quad (12)$$

Presnosť aritmetického priemeru dvojíc:

$$m_{d1} = \frac{m_{d'1}}{\sqrt{2}} = 0,21 \text{ mm} \quad (13)$$

Presnosť určenia PSM:

$$m_{\text{PSM}(1)} = m_{d1} \cdot \sqrt{3} = 0,36 \text{ mm} [9] \quad (14)$$

Tabuľka 7 Určenie súčtovej konštanty hranola č. 2

Súčtová konštantá hranola 2 (žltý)			
$a'_2 = 17,7627 \text{ m}$	$a''_2 = 17,7632 \text{ m}$	$a_2 = 17,7630 \text{ m}$	$d_{a2} = a'_2 - a''_2 = -0,5 \text{ mm}$
$b'_2 = 36,4102 \text{ m}$	$b''_2 = 36,4105 \text{ m}$	$b_2 = 36,4104 \text{ m}$	$d_{b2} = b'_2 - b''_2 = -0,3 \text{ mm}$
$c'_2 = 54,1420 \text{ m}$	$c''_2 = 54,1426 \text{ m}$	$c_2 = 54,1423 \text{ m}$	$d_{c2} = c'_2 - c''_2 = -0,6 \text{ mm}$

$$\text{PSM}_2 = c_2 - (a_2 + b_2) = -0,0311 \text{ m} = -31,1 \text{ mm} \quad (15)$$

Stredná chyba jedného merania dĺžky v dvojici:

$$m_{d'2} = \sqrt{\frac{d_{a2}^2 + d_{b2}^2 + d_{c2}^2}{2 \cdot n}} = 0,34 \text{ mm} \quad (16)$$

Presnosť aritmetického priemeru dvojíc:

$$m_{d2} = \frac{m_{d'2}}{\sqrt{2}} = 0,24 \text{ mm} \quad (17)$$

Presnosť určenia PSM:

$$m_{\text{PSM}(2)} = m_{d2} \cdot \sqrt{3} = \mathbf{0,42 \text{ mm}} [9] \quad (18)$$

Výsledná hodnota konštanty hranola pri prvej etape merania bola zvolená ako priemerná a zaokrúhlená na $\text{PSM} = -31 \text{ mm}$. S touto konštantou bola zmeraná sieť.

Pri meraní druhej etapy (kontrolné meranie) bola použitá trojpodstavcová súprava s hranolmi z výskumného centra AdMaS. Postup prác pri určovaní konštanty hranola bol rovnaký ako pri prvej etape. Nastavená bola hodnota konštanty hranola na $0,0 \text{ mm}$ a trojpodstavcová súprava bola opäť zaraďovaná do priamky pomocou totálnej stanice.

Tabuľka 8 Určenie súčtovej konštanty hranola č. 3

Súčtová konštantá hranola 3			
$a'_3 = 18,9812 \text{ m}$	$a''_3 = 18,9815 \text{ m}$	$a_3 = 18,9814 \text{ m}$	$d_{a3} = a'_3 - a''_3 = -0,3 \text{ mm}$
$b'_3 = 35,5987 \text{ m}$	$b''_3 = 36,5985 \text{ m}$	$b_2 = 35,5986 \text{ m}$	$d_{b3} = b'_3 - b''_3 = 0,2 \text{ mm}$
$c'_3 = 54,5493 \text{ m}$	$c''_3 = 54,5497 \text{ m}$	$c_3 = 54,5495 \text{ m}$	$d_{c3} = c'_3 - c''_3 = -0,4 \text{ mm}$

$$\text{PSM}_3 = c_3 - (a_3 + b_3) = -0,0305 \text{ m} = -30,5 \text{ mm} \quad (19)$$

Stredná chyba jedného merania dĺžky v dvojici:

$$m_{d'3} = \sqrt{\frac{d_{a3}^2 + d_{b3}^2 + d_{c3}^2}{2 \cdot n}} = 0,22 \text{ mm} \quad (20)$$

Presnosť aritmetického priemeru dvojíc:

$$m_{d3} = \frac{m_{d'3}}{\sqrt{2}} = 0,16 \text{ mm} \quad (21)$$

Presnosť určenia PSM:

$$m_{PSM(3)} = m_{d3} \cdot \sqrt{3} = \mathbf{0,27 \text{ mm}} [9] \quad (22)$$

Tabuľka 9 Určenie súčtovej konštanty hranola č. 4

Súčtová konštantá hranola 4			
$a'_4 = 18,9811 \text{ m}$	$a''_4 = 18,9817 \text{ m}$	$a_4 = 18,9814 \text{ m}$	$d_{a4} = a'_4 - a''_4 = -0,6 \text{ mm}$
$b'_4 = 35,5984 \text{ m}$	$b''_4 = 36,5985 \text{ m}$	$b_4 = 35,5985 \text{ m}$	$d_{b4} = b'_4 - b''_4 = -0,1 \text{ mm}$
$c'_4 = 54,5490 \text{ m}$	$c''_4 = 54,5495 \text{ m}$	$c_4 = 54,5493 \text{ m}$	$d_{c4} = c'_4 - c''_4 = -0,5 \text{ mm}$

$$PSM_4 = c_4 - (a_4 + b_4) = -0,0306 \text{ m} = -30,6 \text{ mm} \quad (23)$$

Stredná chyba jedného merania dĺžky v dvojici:

$$m_{d'4} = \sqrt{\frac{d_{a4}^2 + d_{b4}^2 + d_{c4}^2}{2 \cdot n}} = 0,32 \text{ mm} \quad (24)$$

Presnosť aritmetického priemeru dvojíc:

$$m_{d4} = \frac{m_{d'4}}{\sqrt{2}} = 0,23 \text{ mm} \quad (25)$$

Presnosť určenia PSM:

$$m_{PSM(4)} = m_{d4} \cdot \sqrt{3} = \mathbf{0,39 \text{ mm}} [9] \quad (26)$$

Výsledná hodnota súčtovej konštanty pri druhej etape bola vypočítaná a nastavená taktiež na hodnotu -31 mm ako pri prvej etape merania siete.

4. Tvorba pomocnej meračskej siete

V kapitole tvorba pomocnej meračskej siete je prvotne rozobraný návrh realizácie siete a následne tvorba popripade doplnenie siete.

4.1. Návrh siete

V kapitole rekognoskácia terénu už bolo spomenuté, že stávajúce bodové pole by bolo podľa zadania vedúceho práce vhodné pre jednu meračskú skupinu. Aby bolo prepojené meranie medzi budovami A a B, kde sa nachádzali stávajúce body (terčičky na fasáde budov), musela sa vytvoriť pomocná meračská sieť bodov. Sieť obsahovala 5 bodov (8001-8005).

Meračská sieť bola zvolená tak, že ju tvorili dva trojuholníky, ktoré mali jeden spoločný vrchol. Prihliadalo sa aj na maximálnu využiteľnosť bodov a to najmä aby sa z nich dal určiť maximálny počet podrobných bodov. Body, ktoré bolo vidno z viacerých stanovísk, boli zamerané z oboch a to kvôli nadbytočným meraniam použitých do vyrovnania. Merané boli šikmé dĺžky, horizontálny a zenitový uhol a výšky prístroja a cieľov. Návrh pomocnej meračskej siete je vidno aj na nasledujúcom obrázku.

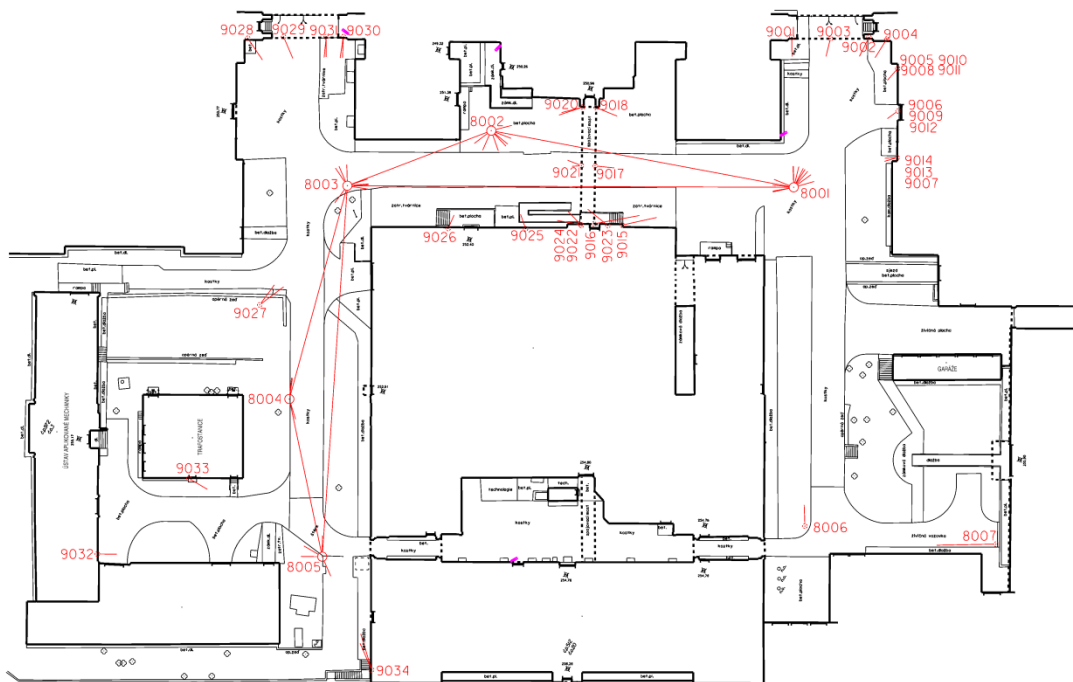


Obr. 10 Návrh umiestnenia bodov pomocnej meračskej siete (prevzaté z[2])

4.2. Stabilizácia bodov siete

Stabilizácia bodov meračskej siete bola tvorená meračskými klincami s krížom a jamkou uprostred. Body sa stabilizovali s prihliadnutím na využitelnosť pre potreby výuky stavebných oborov. Umiestňovali sa do miest s menšou dopravou, hlavne na kraje ciest. Tieto body boli umiestnené do obrubníkov a dlažby tak, aby bola zabezpečená viditeľnosť medzi nimi.

Na stabilizovanie podrobných bodov meračskej siete boli použité už spomenuté odrazné štítky rôznych veľkostí a bolo použitých 14 kusov týchto štítkov. Štítky boli rozmiestnené s ohľadom na pomocnú meračskú sieť a na potreby výuky a podmienok stanovených vedúcim bakalárskej práce. Rozmiestnenie nechal vedúci práce na študentovi, nakoľko nemali ostatní vyučujúci žiadne požiadavky na vybudovanú meračskú sieť.



Obr. 11 Prehľadný náčrt meračskej siete [autor]

5. Metodika merania

Metódy merania bodov pomocnej meračskej siete ako aj podrobných bodov, boli vybrané hlavne v závislosti na presnosti a potom aj na rýchlosti samotného merania. Boli použité metódy merania pomocou totálnej stanice, merania pomocou nivelačného prístroja a merania s GNSS aparátúrou.

5.1. Metodika polohového merania

Polohové meranie bolo uskutočnené pomocou totálnych staníc Trimble S8 a Trimble S6, zapožičaných z výskumného centra AdMaS.

Body sa určili polárnou metódou, čo je vlastne základná a najpoužívanejšia metóda. Meranie polárnou metódou spočíva v určení počiatočného (nulového) smeru, následným meraním smerov a dĺžok na určované body. Meranými veličinami teda sú merané smery (následne výpočet uhla - rozdiel dvoch smerov) a merané dĺžky a to vodorovné alebo šikmé. Pri meraní šikmých dĺžok je potrebné registrovať aj zenitový uhol.

Práca sa skladala z dvoch etáp meraní. Prvá etapa bola realizovaná v prvej polovici mesiaca marec v roku 2017 a bola meraná totálnou stanicou Trimble S8. Druhá (kontrolná) etapa bola meraná koncom marca 2017 a bola realizovaná prístrojom Trimble S6.

Samotná práca pozostávala z rozmiestnenia trojpodstavcovej súpravy na vrcholoch meračskej siete. Trojpodstavcová súprava bola zhorizontovaná a scentrovaná pomocou totálnej stanice a to kvôli presnejšej trubicovej libele.

V prístroji sa dbalo na založení zákazky a hlavne nastaveniach (uhlové jednotky, dĺžkové jednotky a iné nastavenia). Výška stanoviska bola meraná zvinovacím metrom. Tak isto boli merané aj výšky cieľov trojpodstavcovej súpravy. Zarovno merania pomocnej meračskej siete prebiehalo aj meranie podrobných bodov. Všetky merané smery boli merané v dvoch polohách d'alekohľadu a dĺžky boli merané dva krát (v prvej a druhej polohe d'alekohľadu). Po domeraní podrobných bodov boli nakoniec zmerané ešte raz body pomocnej meračskej siete kvôli uzáverom. Výsledné hodnoty uzáverov

sú uvedené v tabuľke č. 10 a tabuľke č. 11. Pri zmene stanoviska bola totálna stanica odistená od trojnožky a bola vymenená za jeden z terčov. Takýmto spôsobom bolo následne zmerané aj ďalšie stanovisko a potom aj všetky ostatné.

Celé meranie prebiehalo v miestnej sieti a až následne sa transformovalo do S-JTSK.



Obr. 12 Meranie pomocnej meračskej siete a podrobných bodov [autor]

Tabuľka 10 Hodnoty uzáverov prvého merania

1. meranie (totálna stanica Trimble S8)						
Stanovisko	Orientácia	Smer -1 [°]	Smer - 2[°]	$\Delta 1 - 2[^\circ]$	Posúdenie	Medzná[^{cc}]
8001	8002	0,0000	399,9997	3	VYHOVUJE	8
8002	8001	0,0000	0,0004	-4	VYHOVUJE	8
8003	8001	0,0000	0,0008	-8	VYHOVUJE	8
8004	8003	0,0000	399,9996	4	VYHOVUJE	8
8005	8003	0,0000	0,0005	-5	VYHOVUJE	8

Tabuľka 11 Hodnoty uzáverov kontrolného merania

2. meranie (totálna stanica Trimble S6)						
Stanovisko	Orientácia	Smer - 1 [°]	Smer - 2[°]	$\Delta 1 - 2[^\circ]$	Posúdenie	Medzná[°]
8001	8002	0,0000	0,0016	-16	VYHOVUJE	28
8002	8001	0,0000	0,0013	-13	VYHOVUJE	28
8003	8001	0,0000	399,9990	10	VYHOVUJE	28
8004	8005	0,0000	399,9989	11	VYHOVUJE	28
8005	8004	0,0000	399,9992	8	VYHOVUJE	28

5.2. Metodika výškového merania

Meranie a určovanie výšok prebiehalo pomocou totálnych staníc Trimble S8, TrimbleS6 a pomocou nivelačného prístroja Trimble DiNi 0,3.

Výšky podrobných bodov (odrazné štítky) boli určované trigonometrickým určením výšok. Princíp trigonometrického určovania výšok pozostáva z merania šikmej alebo vodorovnej dĺžky medzi stanoviskom a určovaným bodom a z merania zenitového uhlu. Na výpočet výšky podrobného bodu je potrebné ešte poznať nadmorskú výšku stanoviska, výšku prístroja a výšku cieľa. Trigonometrické určovanie výšok prebiehalo zároveň s polohovým meraním siete. Ako už bolo spomenuté, celá sieť bola meraná v miestnej sieti. Tým pádom výšky boli vzťahované k určeným výškam z nivelácie. Vnútna presnosť určenia výšok v sieti bola daná podmienkou strednej výškovej chyby $m_h = 0,015 \text{ m}$. Výsledné výšky bodov siete boli vypočítané až vo vyrovnaní merania.

Aby bolo možné pripojiť sieť do Bpv, bolo potrebné pripojiť túto sieť na nivelačný bod alebo použiť výšky z určenia bodov pomocou GNSS aparatury. Pre dostatočný počet nivelačných bodov v okolí stavebnej fakulty a nižšej presnosti určenia výšky metódou GNSS bola použitá metóda presnej nivelácie. Na toto meranie bol použitý prístroj Trimble DiNi 0,3. Pri meraní je nutné dodržať viaceré zásady a postupy. Pri použití dvoch latí musí byť počet zostav párný, zámery sa rozmeriavajú pásmom, dĺžka zámer nesmie prekročiť 50m a výška zámer je minimálne 30 cm nad terénom. Pred meraním presnej nivelácie bola spravená skúška nivelačného prístroja. Výsledok skúšky nivelačného prístroja je uvedený v tabuľke (viz. *Tabuľka 12 Skúška nivelačného prístroja*)



Obr. 13 Priebeh merania nivelácie [autor]

Nivelačný ťah bol meraný obojsmernou niveláciou z bodu Kij-7.2c, ktorý je umiestnený na rohu budovy C, na bod Kij-7.2d, ktorý sa nachádza pri vstupe do budovy A. Meranie sa viedlo cez stabilizované body pomocnej meračskej siete, kde sa tým priamo určovali ich výšky. Výšky boli následne určené ako priemer z obojsmerného merania.

Tabuľka 12 Skúška nivelačného prístroja

č.b.	vzdialenosť [m]	čítanie vzad [m]	čítanie vpred [m]	prevýšenie [m]
zo stredu				
A	11,767	1,64697		
B	11,519		1,42776	0,219210
excentricky				
A	25,6385	1,780435		
B	2,3855		1,56131	0,219125
			Δ [mm]	-0,085
			φ ["]	-0,684
			O_φ [mm/m]	0,0033

5.3. Metodika merania GNSS

Skratka GNSS (Global Navigation Satellite System) zahrňuje viacero družicových systémov a to GPS - NAVSTAR, GLONASS či Galileo. Tieto systémy tvoria tri segmenty. Kozmický, riadiaci a užívateľský. Určovanie polohy spočíva v triangulácii zo satelitov obiehajúcich na obežnej dráhe Zeme. Meraná pseudovzdialenosť medzi satelitom a prijímačom je určená z rozdielu času signálu medzi vyslaním satelitom a prijatím prijímačom.

Výhodou určovania bodov metódou GNSS je rýchlosť a presnosť merania. Nevýhodou tejto metódy je obmedzené použitie. Tento spôsob určenia bodov nefunguje v husto zastavanej oblasti, lesoch alebo miestach s nedostatočnou viditeľnosťou oblohy.



Obr. 14 GNSS meranie bodu č. 8003 [autor]

Na meranie bola použitá metóda RTK - Real Time Kinematics. Jedná sa o najpoužívanejšiu metódu určovania bodov GNSS. Pri tomto type určovania bodov sú používateľovi poskytované korekcie v reálnom čase z určenej referenčnej stanice (najbližšej). Tieto korekcie sú na území Českej republiky poskytované sieťou permanentných staníc CZEPOS. Sieť spravuje Zememeračský úrad a obsahuje 28 permanentných staníc rozmiestnených po Českej republike. Podľa stránok CZEPOS je možné pomocou metódy merania RTK dosiahnuť presnosť rádovo v centimetroch.

Služba CZEPOS poskytuje tri varianty služieb pre meranie v reálnom čase. Jedná sa o variantu DGPS – diferenčné GPS (presnosť do 10cm), variantu RTK – real time kinematics (centimetrová presnosť, nutnosť dvojfrekvenčného prijímača) a variantu VRS – virtuálna referenčná stanica (taktiež centimetrová presnosť). Varianta RTK a VRS obsahuje ešte viaceré ďalšie služby. [10]

Metódou RTK boli určené 4 body pomocnej meračskej siete. Do výpočtu boli zahrnuté ale len tri body a to z toho dôvodu, že na jednom bode nevychádzalo druhé nezávislé meranie - spôsobené nedostatočnou viditeľnosťou oblohy a zatienením budovami. Toto meranie bolo rozdielne o 7 cm v x-ovej súradnici. Body boli určované minimálne s hodinovým rozstupom. Na meranie bol použitý bipod a dĺžka observácie bola nastavená na 5 min. Touto metódou boli zmerané body 8001, 8004 a 8005. Pomocou týchto bodov bola miestna sieť transformovaná do S-JTSK.

6. Spracovanie

Spracovanie bakalárskej práce spočívalo v exporte meraných údajov, či už z totálnych staníc, GNSS aparatury alebo nivelačného prístroja. Nasledovalo spracovanie týchto dát, vyrovnanie merania v miestnej sieti, transformovanie do S-JTSK a tým získanie súradníc, výpočet nadmorských výšok bodov v Bpv. Postup vyrovnania, ako aj nastavenia sú popísané v kapitole 6.2.. Ďalej boli body nahrané do softvéru Microstation a boli vyhotovené prehľadné náčrty bodov trenažeru a geodetické údaje o týchto bodoch.

6.1. Výstupné formáty

Po dokončení merania boli z prístrojov exportované všetky surové dáta, ktoré sú súčasťou elektronickej prílohy. Exportované boli aj výstupné formáty, ktoré prístroje ponúkali. Pri meraní totálnymi stanicami boli výstupným formátom zápisník MAPA2. Tento súbor obsahuje údaje o nastavení prístroja a namerané hodnoty (číslo a výška stanoviska, merané body a k nim šikmú dĺžku, horizontálny a zenitový uhol, výšku hranola). Výstupom z GNSS aparatury bol textový súbor protokolov GNSS merania. To čo obsahuje je vidno aj na *Obr. 15 Ukážka výstupu z GNSS aparatury [autor]*, súradnice, presnosť v polohe a výške, počet satelitov, dobu a čas merania a ďalšie). Tak isto aj pri nivelácii bol výstupom textový súbor. Ten obsahoval čísla meraných bodov, merané zámery vzad a vpred a dĺžky zámer.

MERENE BODY

Císlo bodu	Y	X	Z	Presnosť XY	Z	PDOP	Sít*	Pocet sat.	Antena vyska; od**	Datum	Zacatek mereni	Doba mereni [s]	Kod bodu
8004-1	599246.168	1159361.572	252.901	0.015	0.026	2.69	3 RTK RTCM0074	10	2.00 SZ	20.03	09:18	257	HREB
8005-1	599265.546	1159379.084	254.664	0.012	0.018	2.59	3 RTK RTCM0074	10	2.00 SZ	20.03	09:26	300	HREB
8003-1	599211.541	1159352.267	250.780	0.017	0.025	4.83	3 RTK RTCM0074	9	2.00 SZ	20.03	09:44	353	HREB
8001-1	599175.280	1159414.887	250.914	0.013	0.034	7.16	3 RTK RTCM0074	8	2.00 SZ	20.03	09:53	301	HREB
8004-2	599246.155	1159361.581	252.892	0.007	0.015	2.32	3 RTK RTCM0074	11	2.00 SZ	20.03	12:05	300	HREB
8005-2	599265.543	1159379.073	254.699	0.011	0.018	2.58	3 RTK RTCM0074	9	2.00 SZ	20.03	12:11	300	HREB
8003-2	599211.562	1159352.193	250.818	0.023	0.019	3.61	3 RTK RTCM0074	6	2.00 SZ	20.03	12:19	301	HREB
8001-2	599175.575	1159352.224	250.848	0.022	0.012	3.30	3 RTK RTCM0074	7	2.00 SZ	20.03	12:29	302	HREB
8001-2	599175.281	1159414.890	250.842	0.018	0.018	2.51	3 RTK RTCM0074	9	2.00 SZ	20.03	12:36	302	HREB

* Bod mereni na: 1 VRS = Trimble VRS NOW CZ
2 = TOPNET
3 RTK = CZEPOS RTK a RTK3
3 PRS = CZEPOS RTK-PRS;
3 MAX = CZEPOS VRS3-MAX;
3 MAXG = CZEPOS VRS3-MAX-GG;
3 CMR = CZEPOS VRS3-IMAX-GG_CMR;
4 = ostatni
3 FKP = CZEPOS RTK-FKP;
3 IMAX = CZEPOS VRS3-IMAX;
3 IMAXG = CZEPOS VRS3-IMAX-GG;
3 CMR+ = CZEPOS VRS3-IMAX-GG_CMR+;

Obr. 15 Ukážka výstupu z GNSS aparatury [autor]

6.2. Výpočtové práce

Výsledkom výpočtových prác boli súradnice v miestnom súradnicovom systéme, ich následná transformácia do S-JTSK a výpočet nadmorských výšok bodov siete. Výpočty boli spracovávané v programe Groma 8.0, G-NET v. 02.09 a v softvéri Microsoft Excel 2016.

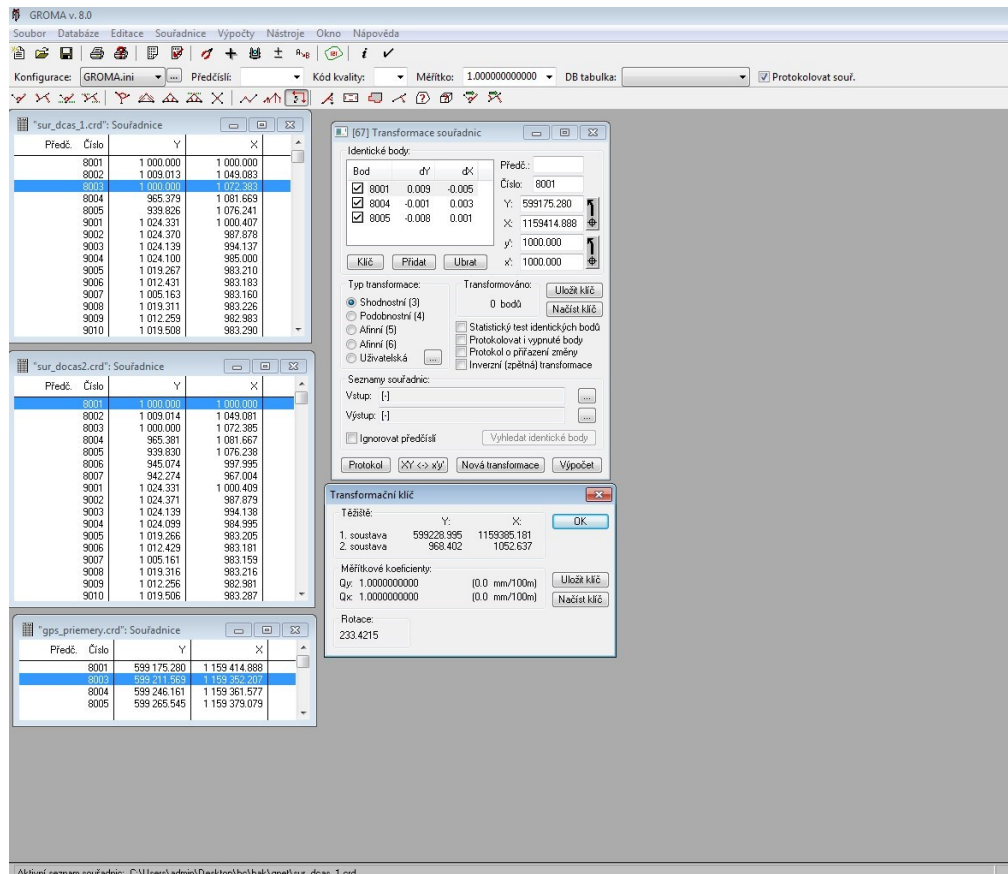
Zápisníky meraných dát z totálnych staníc prvej a druhej etapy boli spracované v programe G-NET verzia 02.09. Najskôr bolo potrebné nastaviť parametre výpočtov. Tu sme nastavili typ dĺžok (vodorovná/ šikmá – nastavené boli šikmé dĺžky), uhlové jednotky (grády), parametre prístroja (ppm, presnosť smeru), počet desiatinných miest a iné, čo je vidno na Obr. 16 Ukážka nastavenia parametrov v programe G-NET [autor]. Ďalej sme nastavili parametre pre polohové a výškové vyrovnanie siete.

Samotné vyrovnanie bolo realizované tak, že na začiatku sme určili predbežné súradnice dvoch bodov a to bodu 8001 a bodu 8003. Voľba výberu týchto bodov nemá vplyv na samotné vyrovnanie a to preto, že body boli zvolené ako voľné, a to z toho dôvodu, aby boli taktiež vyrovnané. Pri importovaní merania boli programom vypočítané predbežné súradnice bodov meračskej siete a tie boli následne zvlášť polohovo a zvlášť výškovy vyrovnané.

Zápisník a jeho zpracování	Uyrovnaní polohové	Uyrovnaní výškové
Ext. formát: MapaZ	Uvaž přesnost DB: Ne	Uvaž přesnost DB: Ne
Impl. kódy: +G-E	Uřadit váz. vel: Ano	Uřadit váz. vel: Ano
Zdroj bodů pro PBPP: G-NET: ,e,s	Mez počtu nadbyt: 20	Mez počtu nadbyt: 10
Zdroj bodů pro dávkú: G-NET: ,e,<s	Hlad.1 (test m0): 5.0	Hlad.1 (test m0): 5.0
Implic. typ délky: 2	Test 1 (test m0): Ano	Test 1 (test m0): Ano
Implic. tř. přesnosti: 3	Hlad.2 (test mxy): 5.0	Hlad.3 (test v): 5.0
Implic. sk. číslo: 0	Test 2 (třidy př.): Ano	Spec informace: Ano
Technologie: 0	Hlad.3 (test v): 5.0	Legenda: Ano
Typ výšk. úhlu: 0	Spec informace: Ano	Zhodnocení: Ano
Povinná výška cíle: Ano	Uyluč or.pos.: Ne	Potlačit dané: Ne
Počítat MXYZ: Ne	Test přesnosti: Ano	Zobrazení údajů
Uvaž refrakci na délky: Ne	Legenda: Ano	DesYX: 4
Uvaž výšku pro délky: Ne	Zhodnocení: Ano	DesZ: 4
Kart. korekce délky: Ne	Potlačit dané: Ne	DesD: 4
Uvaž refrakci na výšky: Ne	MXY[11]: 0.02	DesU: 4
Konstanty pro odvození: MDABS=2 MDRM=2 MSMER=0.▶	MXY[21]: 0.04	PorYX: YX
	MXY[31]: 0.06	Úh. jedn: Grad
	MXY[41]: 0.10	
	MXY[51]: 0.15	
Preferovaný externí formát zápisníku (GNET, MAPA, RMGeo)		
Pohyb v okně ↑↓←→, <Enter> Potvrzení volby. <F10> Pomocné menu		
<CtrlEnter> Uložení zadaných hodnot. <Esc> Konec bez uložení.		

Obr. 16 Ukážka nastavenia parametrov v programe G-NET [autor]

Transformácia súradníc z miestneho súradnicového systému do S-JTSK bola spracovaná v programe Groma 8.0. Na výpočet boli potrebné vyrovnané súradnice v miestnom súradnicovom systéme z programu G-NET a súradnice v systéme JTSK, ktoré boli určené ako priemer dvoch nezávislých určení súradnice bodu metódou RTK. Vybrané boli body 8001, 8004 a 8005. Bod 8002 nebolo možné pripojiť z dôvodu blízkych budov. Bod 8003 bol síce zmeraný metódou RTK ale do výpočtu nebol započítaný z dôvodu horšej kvality bodu (ako už bolo spomenuté v kapitole 5.3., rozdiel medzi meraniami bol 7 cm v x-ovej súradnici), ktorá bola spôsobená pravdepodobne tiež blízkymi budovami. Pri výpočte bola použitá zhodnostná transformácia a lokálny transformačný kľúč, ktorý bol určený z 3 identických bodov. Pri zhodnostnej transformácii dochádza len ku rotácii a translácii. Stredná jednotková chyba transformačného kľúča je $m_0 = 0,008m$.



Obr. 17 Ukážka transformácie súradníc v programe Groma 8.0 [autor]

Výsledkom sú tabuľky vyrovnaných a natransformovaných bodov výukového trenažéru, ktoré sú v elektronickej a aj tlačenej podobe, určené najmä vyučujúcim.

6.3. Testovanie presnosti

Pre testovanie presnosti sa používa test strednej chyby, ktorým sa overuje predpoklad, že sa vypočítaná stredná chyba m_0 zo súboru meraní významne nelíši od uvažovanej základnej strednej chyby m . To znamená či bola dodržaná predpokladaná presnosť merania. Postup testovania je nasledujúci:

1. Bol vypočítaný odhad strednej chyby m_0 z daného súboru meraní

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum pd^2}{2n}} \quad (27)$$

p	váha merania
d	diferencie
n	počet meraných dvojíc

2. Bolo vypočítané testovacie kritérium

$$b = \frac{m_0^2}{m^2} (n - 1) \quad (28)$$

m_0	stredná chyba súboru merania
m	základná stredná chyba
n	rozsah (počet meraní) súboru

3. Z tabuľky Pearsonovho rozdelenia bola pre zvolenú hladinu významnosti α (v tomto prípade bola hodnota $\alpha=5\%$) a pre počet stupňov voľnosti $k = n - 1$ vyhl'adaná hodnota χ_k^2 (v tomto prípade pre stupeň voľnosti 35 bol $\chi_k^2 = 49,8$)
4. Pri $b > \chi_k^2$ sa zamietajú domnienka, že stredná chyba m_0 odpovedá základnej strednej chybe m , v opačnom prípade nie je dôvod túto domnienku zamietat'. [9] [11]

Testovanie presnosti bolo rozdelené na čiastkové testovanie presnosti polohy a testovanie presnosti výšky, ktoré sú uvedené v kapitolách 6.3.1. a 6.3.2..

6.3.1. Testovanie presnosti polohy

Pri testovaní presnosti polohy bol použitý test strednej chyby, ktorý je popísaný v kapitole 6.3., pričom bolo primárne nutné vypočítať odhad strednej chyby m_{xy0} . Pre jej výpočet bolo potrebné spočítať rozdiely dva krát určených súradníc jednotlivých bodov a váhy meraní. Váhy meraní boli vypočítané podľa nasledujúcich vzťahov:

$$p_y = \frac{1}{m_y^2} \quad p_x = \frac{1}{m_x^2} \quad (29)$$

Stredné chyby jednotlivých súradníc m_x a m_y boli vypočítané podľa vzťahov:

$$m_y = \sqrt{m_{y1}^2 + m_{y2}^2} \quad m_x = \sqrt{m_{x1}^2 + m_{x2}^2} \quad (30)$$

pričom hodnoty $m_{y1}, m_{y2}, m_{x1}, m_{x2}$ boli získané z vyrovnania metódou MŇ z programu G-NET.

Odhady stredných chýb jednotlivých súradníc sa následne vypočítali podľa vzorcov:

$$m_{x0} = \sqrt{\frac{\sum p_x d_x^2}{2n}} \quad m_{y0} = \sqrt{\frac{\sum p_y d_y^2}{2n}} \quad (31)$$

Následne bolo potrebné z odhadu stredných chýb jednotlivých súradníc vypočítať odhad strednej súradnicovej chyby m_{xy0} podľa vzťahu:

$$m_{x,y0} = \sqrt{\frac{m_{x0}^2 + m_{y0}^2}{2}} \quad (32)$$

Potom bol výpočet realizovaný podľa postupu uvedeného v kapitole 6.3.. To znamená, že bolo potrebné spočítať hodnotu testovacieho kritéria b a kritickú hodnotu χ_k^2 . Vzhľadom k tomu, že $b < \chi_k^2$ tak sa prijme predpoklad, že stredná chyba $m_{x,y0}$ odpovedá strednej chybe $m_{x,y}$. [9] [11]

$$b = \frac{m_{x,y0}^2}{m_{x,y}^2} (n - 1) = 1,69 < \chi_k^2 \quad \chi_k^2 = 49,80 \quad (33)$$

Tabuľka 13 Vypočítané diferencie a stredné chyby jednotlivých súradníc

bod	y ₁ [m]	x ₁ [m]	y ₂ [m]	x ₂ [m]	d _y [mm]	d _x [mm]	m _y [mm]	m _x [mm]
8001	599175,271	1159414,892	599175,280	1159414,887	-9,00	5,00	0,30	0,52
8002	599192,074	1159367,904	599192,078	1159367,906	-4,00	-2,00	0,39	0,67
8003	599211,552	1159352,256	599211,555	1159352,261	-3,00	-5,00	0,40	0,62
8004	599246,162	1159361,574	599246,159	1159361,578	3,00	-4,00	0,76	0,65
8005	599265,553	1159379,078	599265,547	1159379,079	6,00	-1,00	0,73	0,73
8006	599221,794	1159444,158	599221,795	1159444,149	-1,00	9,00	1,88	1,21
8007	599208,697	1159472,379	599208,698	1159472,366	-1,00	13,00	2,17	2,04
9001	599154,423	1159402,342	599154,434	1159402,340	-11,00	2,00	1,83	0,59
9002	599148,107	1159413,164	599148,119	1159413,161	-12,00	3,00	1,66	1,02
9003	599151,445	1159407,864	599151,457	1159407,861	-12,00	3,00	1,79	0,73
9004	599146,896	1159415,797	599146,909	1159415,792	-13,00	5,00	1,60	1,14
9005	599150,182	1159419,767	599150,194	1159419,762	-12,00	5,00	1,43	1,33
9006	599156,087	1159423,215	599156,098	1159423,210	-11,00	5,00	1,15	1,55
9007	599162,365	1159426,877	599162,375	1159426,872	-10,00	5,00	0,69	1,80
9008	599150,144	1159419,733	599150,156	1159419,728	-12,00	5,00	1,43	1,32
9009	599156,136	1159423,476	599156,147	1159423,470	-11,00	6,00	1,14	1,57
9010	599150,016	1159419,577	599150,028	1159419,572	-12,00	5,00	1,44	1,32
9011	599150,778	1159420,059	599150,790	1159420,053	-12,00	6,00	1,41	1,35
9012	599156,239	1159423,201	599156,250	1159423,196	-11,00	5,00	1,15	1,55
9013	599162,654	1159426,958	599162,664	1159426,953	-10,00	5,00	0,67	1,82
9014	599162,352	1159426,834	599162,362	1159426,828	-10,00	6,00	0,69	1,80
9015	599194,600	1159393,945	599194,605	1159393,944	-5,00	1,00	0,68	1,87
9016	599196,726	1159389,900	599196,731	1159389,898	-5,00	2,00	0,71	1,89
9017	599188,518	1159385,311	599188,525	1159385,310	-7,00	1,00	0,65	1,89
9018	599180,270	1159380,691	599180,277	1159380,692	-7,00	-1,00	0,92	1,79
9020	599181,322	1159378,761	599181,330	1159378,761	-8,00	0,00	0,55	1,36
9021	599189,589	1159383,385	599189,594	1159383,384	-5,00	1,00	0,52	1,11
9022	599197,902	1159388,041	599197,907	1159388,040	-5,00	1,00	0,69	0,94
9023	599195,828	1159392,004	599195,832	1159392,002	-4,00	2,00	1,24	1,55
9024	599197,993	1159388,266	599197,997	1159388,264	-4,00	2,00	1,38	1,41
9025	599202,992	1159380,731	599202,997	1159380,731	-5,00	0,00	1,75	0,89
9026	599209,306	1159369,869	599209,309	1159369,871	-3,00	-2,00	1,70	0,97
9027	599235,406	1159349,722	599235,405	1159349,727	1,00	-5,00	1,06	0,97
9028	599199,040	1159326,246	599199,046	1159326,255	-6,00	-9,00	1,56	1,31
9029	599195,903	1159331,130	599195,910	1159331,138	-7,00	-8,00	1,70	1,09
9030	599191,011	1159339,499	599191,017	1159339,506	-6,00	-7,00	1,13	0,78
9031	599192,403	1159337,107	599192,409	1159337,114	-6,00	-7,00	1,45	1,09
9032	599283,565	1159347,353	599283,556	1159347,360	9,00	-7,00	0,94	1,92
9033	599265,507	1159354,003	599265,502	1159354,009	5,00	-6,00	1,14	1,67
9034	599277,361	1159395,263	599277,353	1159395,263	8,00	0,00	1,10	0,92

6.3.2. Testovanie presnosti výšky

Pri testovaní presnosti výšky bol použitý taktiež test strednej chyby, ktorý je popísaný v kapitole 6.3., pričom bolo primárne nutné vypočítať odhad strednej chyby m_{h0} .

Pre jej výpočet bolo potrebné spočítať rozdiely dva krát určených výšok jednotlivých bodov a váhy meraní. Váhy meraní boli vypočítané podľa nasledujúceho vzťahu:

$$p_h = \frac{1}{m_h^2} \quad (34)$$

Stredné chyby jednotlivých výšok boli vypočítané podľa vzťahu:

$$m_h = \sqrt{m_{h1}^2 + m_{h2}^2} \quad (35)$$

pričom hodnoty m_{h1}, m_{h2} boli získané z vyrovnania metódou MNČ z programu G-NET.

Odhad strednej chyby výšky sa následne vypočítal podľa vzorca:

$$m_{h0} = \sqrt{\frac{\sum p_h d_h^2}{2n}} \quad (36)$$

Potom bol výpočet realizovaný podľa postupu uvedeného v kapitole 6.3.. To znamená, že bolo potrebné spočítať hodnotu testovacieho kritéria b (37) a kritickú hodnotu χ_k^2 . Vzhľadom k tomu, že $b < \chi_k^2$ tak sa prijme predpoklad, že stredná chyba m_{h0} odpovedá strednej chybe m_h . [9] [11]

$$b = \frac{m_{h0}^2}{m_h^2} (n - 1) = 0,00016 < \chi_k^2 \quad \chi_k^2 = 49,80 \quad (37)$$

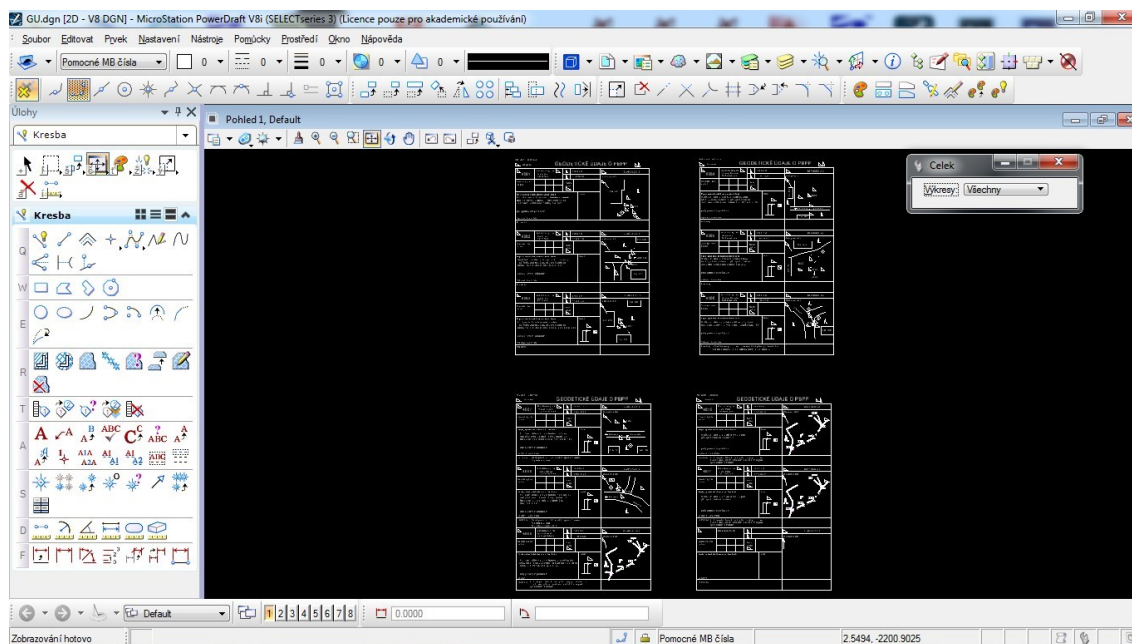
Tabuľka 14 Vypočítané diferencie a stredné chyby výšok

bod	H _m [m]	H _k [m]	d _h [mm]	m _h [mm]
8006	254,271	254,271	0,00	3,65
8007	254,650	254,650	0,00	3,93
9001	260,864	260,864	0,00	3,63
9002	260,839	260,839	0,00	3,62
9003	258,435	258,435	0,00	3,59
9004	260,852	260,852	0,00	3,62
9005	261,138	261,138	0,00	3,63
9006	261,133	261,133	0,00	3,65
9007	261,134	261,134	0,00	3,69
9008	267,742	267,742	0,00	3,77
9009	267,864	267,864	0,00	3,87
9010	256,208	256,208	0,00	3,57
9011	256,018	256,018	0,00	3,57
9012	256,217	256,217	0,00	3,57
9013	256,211	256,211	0,00	3,58
9014	252,032	252,032	0,00	3,55
9015	254,689	254,689	0,00	3,57
9016	257,085	257,085	0,00	3,59
9017	256,745	256,745	0,00	3,58
9018	255,741	255,741	0,00	3,58
9020	255,737	255,737	0,00	2,53
9021	256,754	256,754	0,00	2,54
9022	257,085	257,085	0,00	2,54
9023	254,150	254,150	0,00	3,56
9024	254,139	254,139	0,00	3,55
9025	254,831	254,831	0,00	3,56
9026	254,839	254,839	0,00	3,56
9027	254,810	254,810	0,00	2,53
9028	255,994	255,994	0,00	3,58
9029	260,831	260,831	0,00	3,62
9030	260,841	260,841	0,00	2,12
9031	260,838	260,837	1,00	2,63
9032	256,851	256,851	0,00	3,58
9033	257,112	257,112	0,00	3,56
9034	258,755	258,755	0,00	2,09

6.4. Grafické práce

V tejto časti práce bolo nutné vyhotoviť prehľadný náčrt bodov meračskej siete výukového trenažeru. Tento náčrt bol vyhotovený v programe Bentley Microstation V8i. Ako podklad bol použitý komplexný projekt (vo formáte *.dgn) poskytnutý vedúcim bakalárskej práce. Celý podklad bol nastavený na šedú farbu a body meračskej siete boli importované do tohto podkladu červenou farbou.

Ďalším grafickým výstupom boli geodetické údaje bodov výukového trenažeru. Tie boli tak isto vypracované v programe Microstation. V geodetických údajoch boli navyše okrem čísla bodu, súradníc a výšky, popisu a malého miestopisu vyhotovené aj nárysy bodov. To bolo z dôvodu umiestnenia bodov približne v rovnakej polohe ale v inej nadmorskej výške (body boli umiestnené v oknách na rôznych poschodiach budovy).



Obr. 18 Ukážka z prostredia Microstation v8i [autor]

7. Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvorenie podrobného bodového poľa pre výukové účely v areáli FAST. Tvorba bodového poľa začala rekognoskáciou terénu a získaním dostupných podkladov. Následne bola vybudovaná a doplnená meračská sieť. Tú tvorili meračské klince a odrazné štítky. Súradnice siete boli určené meraním totálnou stanicou v lokálnom súradnicovom systéme. Meranie prebiehalo v dvoch etapách a to v prvom meraní a v kontrolnom meraní. Výškovo bola sieť pripojená do Bpv pomocou presnej nivelácie a bola pripojená na body Kij-7.2c a Kij-7.2. Po vyrovnaní súradníc siete bola táto sieť natransformovaná na body, ktoré mali súradnice určené pomocou GNSS v S-JTSK. Stredná súradnicová chyba transformačného kľúča bola $m_0=0,007$ m. Takto sme dostali výsledné súradnice bodov podrobného bodového poľa v S-JTSK.

Podrobné meranie bolo vykonané v dvoch etapách merania. V prvom meraní bola použitá totálna stanica Trimble S8. pri kontrolnom meraní v druhej etape bola použitá totálna stanica Trimble S6. Na pripojenie bodov do S-JTSK bola použitá GNSS aparátúra Trimble R8-3. Na niveláciu bol použitý prístroj Trimble DiNi 0,3. Na výpočet siete a následne jej polohové a výškové vyrovnanie bol použitý výpočetný program G-Net.

Výsledné súradnice boli spracované do zoznamu súradníc a výšok a prehľadného náčrtu meračskej siete. Grafické práce prebiehali v programe Microstation V8i. Ako podklad bol použitý polohopisný plán areálu FAST.

Ako posledná bola vyhodnotená presnosť merania. Bol použitý test strednej chyby, ktorým sa overuje predpoklad, že sa vypočítaná stredná chyba m_0 zo súboru meraní významne nelíši od uvažovanej základnej strednej chyby m . Samostatne sa testovala poloha a samostatne výška. Oba testy boli prijaté za vyhovujúce. Pri výškovom vyrovnaní boli rozdiely medzi prvým a druhým meraním takmer nulové. Vypočítaná stredná chyba $m_{h0}= 0,03$ mm. Spôsobené to bolo pravdepodobne zhodou okolností a pre overenie by bolo potrebné sieť nezávisle zmerať ešte raz. Obe požadované presnosti zo zadania (stredná súradnicová chyba $m_{xy} \leq 0,025$ m, stredná výšková chyba $m_h \leq 0,015$ m) boli dosiahnuté.

8. Zoznam použitej literatúry

- [1] ČÚZK Geoprohlížeč. [online]. 2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?serverconf=bodpole>
- [2] Mapy ČR [online]. 2017 [cit 2017-04-25]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [3] Vznik a historický vývoj fakulty stavební VUT v Brně [online]. 2014 [cit 2017 - 04-14]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/obecne/historie/historie_fast.asp
- [4] *Trimble S8 Total station* [online]. 2017 [cit. 2017-03-26].
Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document390412/022543410H_TrimbleS8_DS_0115_LR_sec.pdf
- [5] *Totální stanice Trimble S6* [online]. 2017 [cit. 2017-03-26].
Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document218010/022543-098L-CZE_TrimbleS6_DS_0613_LR.pdf
- [6] *Trimble DiNi Digital level* [online]. 2017 [cit. 2017-04-21].
Dostupné z: ftp://geodesy.noaa.gov/pub/corbin/precise-leveling-workshop/Equipment/Trimble_Zeiss/Trimble%20DiNi%20Brouchure.pdf
- [7] *Trimble R8 GNSS Receiver* [online]. 2017 [cit. 2017-04-14].
Dostupné z: http://www.geogostar.com/Download/Document/TRIMBLE_R8/R8-3%20Datasheet.pdf
- [8] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I: Základy inženýrské geodézie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, 2007. 92 s.
- [9] ŠVÁBENSKÝ, O. VITULA, A. BUREŠ, J. *GE16 MODUL 03 Inženýrská geodézie I: Návody ke cvičením*. Brno, 2006. 161 s.
- [10] *Informace o službách a produktech* [online]. [cit 2017-04-11]
Dostupné z: http://czepos.cuzk.cz/_servicesProducts.aspx
- [11] WEIGEL, J. *GE04_M02 Teorie chyb a vyrovnávací počet I Základní druhy vyrovnání (1.část)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, 2004. 59 s.

9. Zoznam použitých skratiek

<i>S-JTSK</i>	System jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
<i>Bpv</i>	Výškový systém Balt po vyrovnání
<i>GNSS</i>	Global Navigation Satellite System
<i>AdMas</i>	Advanced materials, structures and technologies
<i>FAST</i>	Fakulta stavebná
<i>ČSN</i>	Česká státní norma
<i>VUT</i>	Vysoké učení technické
<i>FIS</i>	Fakulta inžinierskeho staviteľstva
<i>FAPS</i>	Fakulta architektúry a pozemného staviteľstva
<i>FE</i>	Fakulta energetická
<i>ČUZK</i>	Český úřad zeměměřický a katastrální
<i>GPS - NAVSTAR</i>	Global Positioning System - Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System
<i>RTK</i>	Real Time Kinematics
<i>VRS</i>	Virtual real station
<i>ppm</i>	Parts per million
<i>CZEPOS</i>	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
<i>DGPS</i>	Differential Global Positioning System
<i>MNČ</i>	Metoda nejmenších čtverců

10. Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Výsledok rekognoskácie výškového poľa.....	13
Tabuľka 2	Špecifikácie totálnej stanice Trimble S8 [4]	13
Tabuľka 3	Špecifikácie totálnej stanice Trimble S6 [5]	15
Tabuľka 4	Špecifikácie nivelačného prístroja Trimble DiNi 0,3mm [6].....	15
Tabuľka 5	Špecifikácie GNSS aparatury Trimble R4-3 [7]	16
Tabuľka 6	Určenie súčtovej konštanty hranola č. 1.....	19
Tabuľka 7	Určenie súčtovej konštanty hranola č. 2.....	20
Tabuľka 8	Určenie súčtovej konštanty hranola č. 3.....	20
Tabuľka 9	Určenie súčtovej konštanty hranola č. 4.....	21
Tabuľka 10	Hodnoty uzáverov prvého merania	25
Tabuľka 11	Hodnoty uzáverov kontrolného merania	26
Tabuľka 12	Skúška nivelačného prístroja.....	27
Tabuľka 13	Vypočítané diferencie a stredné chyby jednotlivých súradníc.....	35
Tabuľka 14	Vypočítané diferencie a stredné chyby výšok.....	37

11. Zoznam obrázkov

<i>Obr. 1 Poloha katastrálneho územia Veverí (prevzaté z [1])</i>	10
<i>Obr. 2 Poloha areálu FAST VUT (prevzaté z [2])</i>	10
<i>Obr. 3 Aktuálny pohľad na budovu A stavebnej fakulty [autor]</i>	11
<i>Obr. 4 Prehľad nivelačných bodov v okolí fakulty (prevzaté z [3])</i>	13
<i>Obr. 5 Totálna stanica Trimble S8 [autor]</i>	14
<i>Obr. 6 Totálna stanica Trimble S6 [autor]</i>	14
<i>Obr. 7 Nivelačný prístroj Trimble DiNi 0,3mm [autor]</i>	15
<i>Obr. 8 GNSS aparátúra Trimble R4-3 [autor]</i>	16
<i>Obr. 9 Zaradovanie hranolov do priamky totálnou stanicou Trimble S6 [autor]</i>	19
<i>Obr. 10 Návrh umiestnenia bodov pomocnej meračskej siete (prevzaté z[2])</i>	22
<i>Obr. 11 Prehľadný náčrt meračskej siete [autor]</i>	23
<i>Obr. 12 Meranie pomocnej meračskej siete a podrobných bodov [autor]</i>	25
<i>Obr. 13 Priebeh merania nivelácie [autor]</i>	27
<i>Obr. 14 GNSS meranie bodu č. 8003 [autor]</i>	28
<i>Obr. 15 Ukážka výstupu z GNSS aparátúry [autor]</i>	30
<i>Obr. 16 Ukážka nastavenia parametrov v programe G-NET [autor]</i>	31
<i>Obr. 17 Ukážka transformácie súradníc v programe Groma 8.0 [autor]</i>	32
<i>Obr. 18 Ukážka z prostredia Microstation v8i [autor]</i>	38

12. Zoznam príloh

- 1_Zápisníky
 - 1.1_1.meranie (digitálne)
 - 1.2_2.meranie (digitálne)
 - 1.3_GNSS (digitálne)
 - 1.4_nivelácia_nevyrovnaná (digitálne)
 - 1.5_nivelácia_vyrovnaná (digitálne)

- 2_Protokoly
 - 2.1_polárna metóda_1.meranie (digitálne)
 - 2.2_polárna metóda_2.meranie (digitálne)
 - 2.3_polohové vyrovnanie_1.meranie (digitálne)
 - 2.4_polohové vyrovnanie_2.meranie (digitálne)
 - 2.5_výškové vyrovnanie_1.meranie (digitálne)
 - 2.6_výškové vyrovnanie_2.meranie (digitálne)

- 3_Zoznamy súradníc
 - 3.1_YXH_1.meranie (digitálne)
 - 3.2_YXH_2.meranie (digitálne)
 - 3.3_YXH_priemer (digitálne + analógovo)

- 4_Náčrty
 - 4.1_prehľadný náčrt meračskej siete (digitálne + analógovo)
 - 4.2_geodetické údaje (digitálne + analógovo)
 - 4.3_schéme rozmiestnenia meračských značiek (digitálne + analógovo)

- 5_Testovanie presnosti
 - 5.1_Testovanie_YX (digitálne)
 - 5.2_Testovanie_H (digitálne)