



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

KONTROLA PŘESNOSTI NIVELAČNÍCH SYSTÉMŮ

ACCURACY CHECK OF LEVELLING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tibor Szabó

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.

BRNO 2018



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, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tibor Szabó
Název	Kontrola přesnosti nivelačních systémů
Vedoucí práce	Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ANDĚL J. – Matematická statistika, SNTL, Praha 1978

BÖHM J., RADOUCH V., HAMPACHER M. – Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP Praha, 1990

HÁNEK P. – Zkoušky elektronických geodetických přístrojů, 8. důlně měřická konference „Aktuální problémy důlního měřictví a geologie“, sborník přednášek, SDMG 2001, str. 73-81, ISBN 80-248-0005-5

LUKÁČ Š., MIKULIČ M. – Kalibrácia digitálneho nivelačného prístroja Trimble DINI 12T, 38. geodetické informační dny v Brně, sborník přednášek, SZ Brno, ECON Publishing 2002, str. 113-118, ISBN 80-86433-13-7

WOSCHITZ H., BRUNNER F. K. – System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects, INGEO 2002 – Proceedings of the 2nd International Conference of Engineering Surveying, STU Bratislava, Slovakia, pp 165-172, ISBN 80-227-1792-4

BREZINKAR A., KOLER B. – Comparison of Digital Level Leica NA3000 and Precise Level Carl Zeiss NI 002, INGEO 2002 – Proceedings of the 2nd International Conference of Engineering Surveying, STU Bratislava, Slovakia, pp 173-178, ISBN 80-227-1792-4

Zákon o metrologii v platném znění.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vykonejte kontrolu přesnosti různých typů elektronických nivelačních systémů a TPS systémů na metrologické kalibrační základně FAST. Vyhodnoťte výsledky z hlediska přesnosti a interpretujte je.

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. Jiří Bureš, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberala kontrolou presnosti robotizovanej totálnej stanice s automatickým cielením na metrologickej kalibračnej základni FAST. Úvodná časť práce sa zaoberá s vysvetlením základných pojmov z oblasti výškového merania, popisuje geodetické metódy merania výšok a súčasné riešenie problematiky. Hlavná časť práce je venovaná kontrole použitého prístroja a pomôcok popisuje kalibračné základne, metódy merania a spracovanie nameraných dát. Výsledné presnosti a rozdiely boli zostavené do tabuliek a grafov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

presnosť, nivelačné systémy, kalibračná základňa, kalibrácia, trigonometrická metóda, presná nivelácia, automatické cielenie, automatické rozpoznanie cieľa

ABSTRACT

The bachelor thesis was concerned with checking the accuracy of the robotic total station with automatic targeting on the metrological calibration base FAST. The first part of the thesis deals with the explanation of basic concepts of height measurement, describes geodetic methods of height measurement and current solution of the problem. The main part of the work is devoted to the control of the used apparatus and the equipment, describes the calibration bases, methods of measurement and processing of the measured data. The resulting accuracy and differences were compiled into tables and graphs.

KEYWORDS

precision, leveling systems, calibration base, calibration, trigonometric method, precise leveling, auto-pointing, automatic target recognition

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP

Tibor Szabó *Kontrola přesnosti nivelačních systémů*. Brno, 2018. 42 s., 6 příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.
Vedoucí práce Ing. Jiří Bureš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 6. 5. 2018

Tibor Szabó
autor práce

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jiřímu Burešovi, Ph.D. za odborné vedenie, výpomoc pri meračských prácach, konzultácie a cenné rady pri spracovaní práce.

OBSAH

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČASŤ	10
1. PRINCÍPY A METÓDY VÝŠKOVÉHO MERANIA	10
1.1 Geometrická nivelácia.....	11
1.2 Trigonometrické meranie	12
2. PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE PROBLEMATIKY	15
2.1 Testovanie robotizovaných totálnych staníc	15
2.2 Testovanie digitálnych nivelačných prístrojov	16
PRAKTICKÁ ČASŤ	17
3. METROLOGICKÁ KALIBRAČNÁ ZÁKLADŇA FAST	17
3.1 Prípravné práce	17
3.2 Rekognoskácia a popis kalibračnej základni FAST	17
3.3 Použité meračské prístroje a pomôcky.....	18
3.3.1 Presná nivelácia.....	18
3.3.2 Trigonometrické meranie	19
3.3.3 Použité odrazové hranoly	21
3.4 Určenie presnosti meraní na konkrétny odrazový hranol.....	22
3.5 Kontrola dĺžok pri nastavení rôznych súčtových konštánt.....	24
3.6 Meranie na kalibračnej základni FAST.....	25
4. KALIBRAČNÁ ZÁKLADŇA BKOM	29
4.1 Lokalita	29
4.2 Rekognoskácia kalibračnej základne	30
4.3 Použité pomôcky	30
4.4 Postup merania	31
4.5 Výpočet strednej chyby zenitového uhla	33
4.6 Výpočet prevýšení medzi piliermi	34
4.7 Výpočet súčtovej konštanty a jej strednej chyby	36
ZÁVER	38
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	39
ZOZNAM OBRÁZKOV, TABULIEK A GRAFOV	41
ZOZNAM PRÍLOH	42

ÚVOD

Úlohou záverečnej práce bolo vykonať kontrolu presnosti robotizovanej totálnej stanice pri použití automatického cielenia na metrologickej kalibračnej základni FAST a na kalibračnej základni BKom. Presnosť bola kontrolovaná na meraných zenitových uhloch a prevýšeníach určené trigonometrickou metódou, ktoré boli merané na rozličné odrazové hranoly a porovnané s referenčnými prevýšeniami získané z presnej nivelácie. Výsledky boli vyhodnotené do prehľadných tabuliek a interpretované do grafov.

Práca je rozdelená a teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti boli rozoberané geodetické metódy určenia prevýšení a súčasný stav riešenia problematiky. Praktickej časti boli popísané postupy prípravných a meračských prác ako aj postupy výpočtov.

TEORETICKÁ ČASŤ

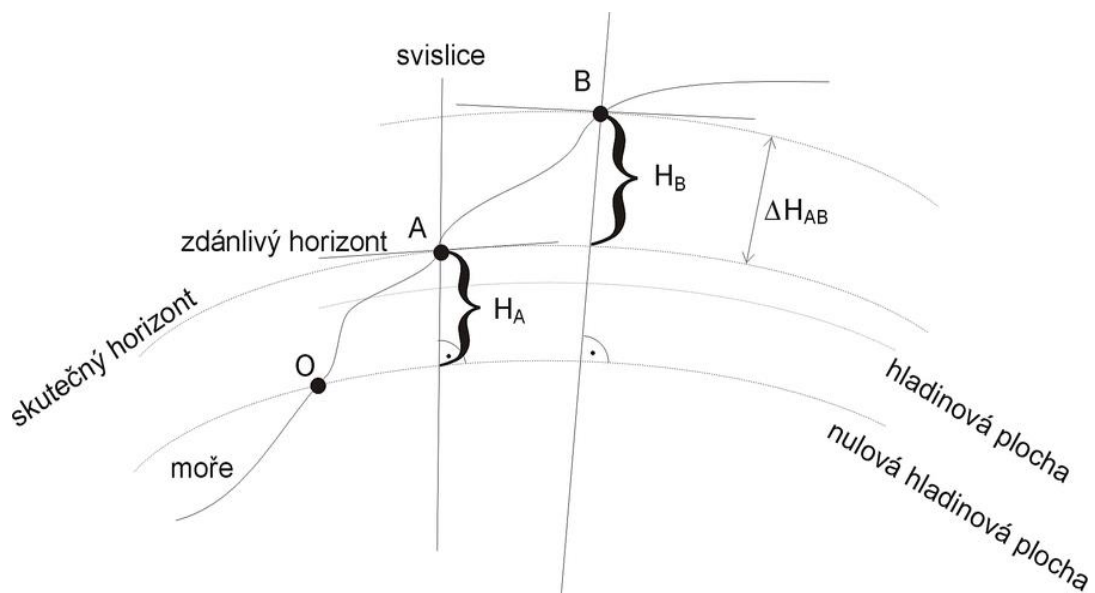
1. PRINCÍPY A METÓDY VÝŠKOVÉHO MERANIA

Výšky sú významným údajom o geodetických bodoch v základnom polohovom bodovom poli, u zhušťovacích bodoch a v podrobnom bodovom poli. Okrem katastrálneho mapovania všetky ostatné druhy máp a polohových sieťach poskytujú informácie o výškových pomeroch v zobrazovanom území. Výšky bodov sú tiež nevyhnutné k projektovaniu a k vytyčovaniu stavieb, pri terénnych úpravách, pri zisťovaní posunov a deformácií sledovaných objektov apod.

Na určenie výškových pomerov využívame výsledky výškového merania, pri ktorom sa určujú výškové rozdiely h medzi bodmi zemského povrchu, resp. objektu.

Výškou bodu rozumieme zvislú vzdialenosť bodu od jeho priemetu na hladinovú plochu. Absolútna výška je vzdialenosť bodu od nulovej hladinovej plochy meraná pozdĺž zvislice v smere siločiar tiažového poľa Zeme.

Relatívna výška bodu je zvislá vzdialenosť od hladinovej plochy prechádzajúca bodom s ľubovoľnou výškou a nazývame ju tiež výškovým rozdielom – prevýšením. [1]



Obr.1.1 Absolútna výška, relatívna výška, prevýšenie [2]

Výškové rozdiely je možné určovať niekoľkými spôsobmi podľa toho, aké pomôcky máme k dispozícii a akú presnosť v ich určení vyžadujeme.

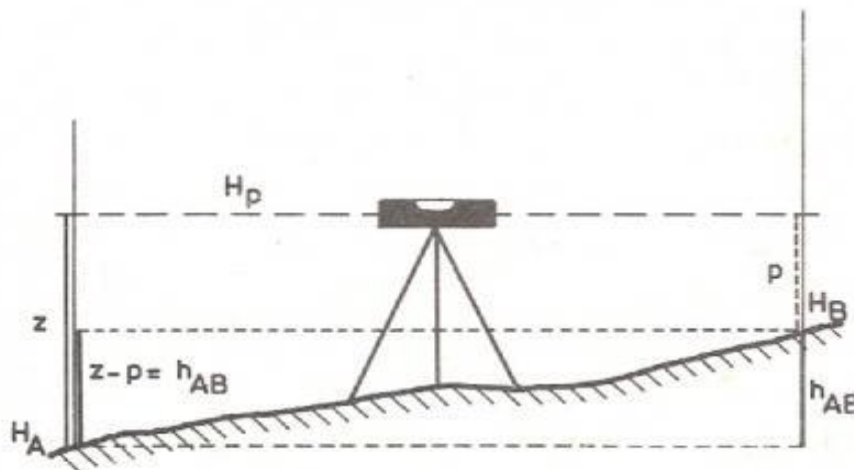
Najpoužívanejšie metódy výškového merania:

- nivelácia
- hydrostatická nivelácia
- trigonometrické meranie
- barometrické meranie [3]

1.1 Geometrická nivelácia

Geometrická nivelácia je historicky najstaršia, ale stále najpresnejšia metóda. Nivelácia je spôsob merania, pri ktorom sa určuje výškový rozdiel dvoch bodov z rozdielu čítania na zvislo postavených nivelačných latách pomocou vodorovnej priamky H_p realizovanú nivelačným prístrojom (Obr. 1.2). [4] Prevýšenie medzi bodmi A a B získame zo vzťahu

$$h_{AB} = H_B - H_A = z - p \quad (1.1)$$



Obr. 1.2 Princíp geometrickej nivelácie

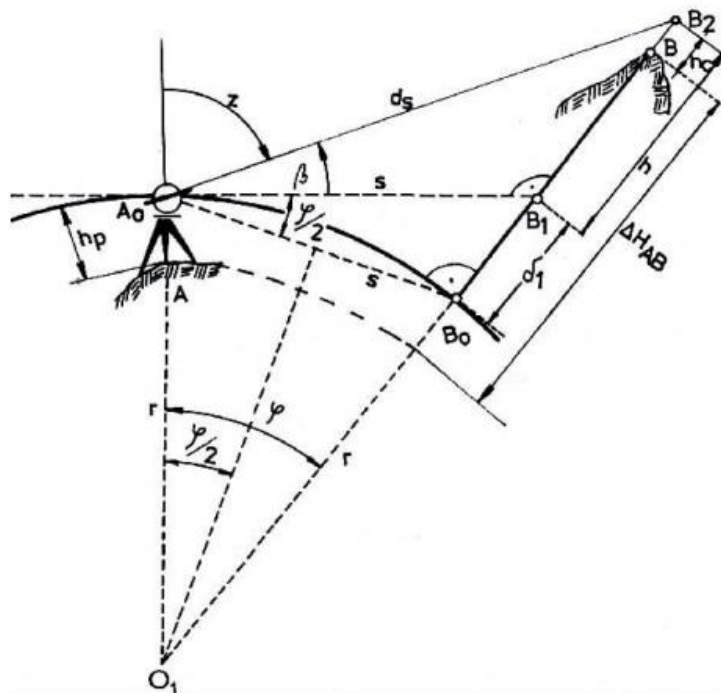
Geometrická nivelácia sa podľa dosahovanej presnosti delí na:

- technickú niveláciu (TN)
- presnú niveláciu (PN)
- veľmi presnú niveláciu (VPN)
- zvlášť presnú niveláciu (ZPN)

1.2 Trigonometrické meranie

Trigonometrická metóda určovania výšok je základnou metódou používanou ako v mapovaní tak pre rôzne geodetické práce v inžinierskej geodézii. Výhodou tejto metódy je hlavne rýchlosť merania a výpočtu prevýšení.

Podstatou trigonometrického merania prevýšenia je riešenie pravouhlého trojuholníka (Obr. 2.2) s uvažovaním fyzikálnych vlastností Zeme a zemskej atmosféry, v ktorom poznáme resp. môžeme merať všetky potrebné prvky. Zenitový uhol z alebo výškový uhol β , šikmú vzdialenosť d_s alebo vodorovnú vzdialenosť s . [5]



Obr. 1.3 Oprava zo zakrivenia Zeme [5]

z – zenitový uhol
 β – výškový uhol
 d_s – šikmá vzdialenosť
 s – vodorovná vzdialenosť
 h_p – výška prístroja
 h_c – výška cieľa

Prevýšenie bodu B nad skutočným horizontom vypočítame podľa vzťahu

$$\Delta H_{AB} = h_p + \delta_I + h - h_c \quad (1.2)$$

v ktorom

$$h = s \operatorname{tg} \beta = s \operatorname{cotg} z = d_s \sin \beta = d_s \cos z \quad (1.3)$$

a kde δ_I predstavuje opravu zo zakrivenia Zeme.

$$\delta_I = s \sin \frac{\varphi}{2} \quad (1.4)$$

Uhol φ znamená konvergenciu tiažnic v bodoch A a B a vypočíta sa z rovnice

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{s}{2r}. \quad (1.5)$$

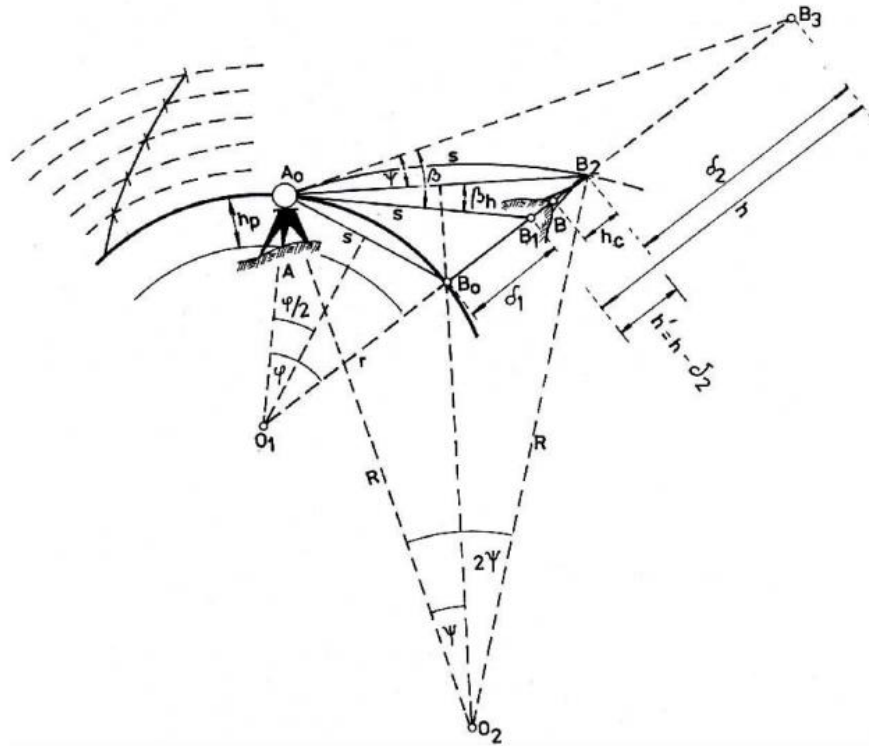
Úpravou predchádzajúcich dvoch rovníc dostaneme výraz pre opravu zo zakrivenia Zeme [5]:

$$\delta_I = \frac{s^2}{2r}. \quad (1.6)$$

Pri trigonometrickom meraní prevýšení v závislosti na vzdialenosti bodu od stanoviska na meranie vplýva zakrivenie Zeme, ku ktorému sa pridružuje aj účinok refrakcie. Z tohto dôvodu rozlišujeme pracovne postupy pre trigonometrické meranie prevýšení na krátke a dlhé zámery. Chybu zo zakrivenia Zeme a z refrakcie sa zavádzajú pri zámerách nad 100 metrov.

Pri meraní zvislých uhlov sa uplatňuje vplyv vertikálnej refrakcie. Svetelný lúč pri prechode nehomogénnymi vrstvami ovzdušia nepostupuje priamočiario, ale sa láme a jeho drahá nadobúda tvar plochého oblúka. Opravu z refrakcie vypočítame nasledujúcim vzťahom

$$\psi = \frac{r}{R} \frac{\varphi}{2} = k \frac{s}{2r}. \quad (1.7)$$



Obr. 1.4 Oprava z refrakcie [5]

Pomer r/R sa nazýva refrakčný koeficient k . Jeho hodnota nie je stála, mení sa v závislosti na atmosférických podmienkach (teplota, tlak a vlhkosť vzduchu), nadmorskej výške, v ktorej vykonávame meranie a na prostredí, ktorým prechádza zámerná. Refrakčný koeficient môže nadobúdať hodnoty v intervale $-1 < k < 1$. [6]

2. PREHLAD O SÚČASNOM STAVE PROBLEMATIKY

2.1 Testovanie robotizovaných totálnych staníc

Najdôležitejším parametrom pri riešení úloh v inžinierskej geodézii je znalosť presnosti meradla a jeho príslušného vybavenia. S narastajúcim počtom používania robotických totálnych staníc s automatizovaným procesom merania je dôležité vedieť presnosť, ktorá je nutná na splnenie predpísaných požiadaviek geometrických parametrov.

V článku [7] sa zaoberá problematikou experimentálneho testovania systému automatického rozpoznávania cieľa (Automatic Target Recognition – ATR) spolu s automatickým cielením (Auto-Pointing – AP) na odrazový hranol s využitím totálnej stanice Topcon GPT 9001A.

V závere tohto článku je popísane, že z hľadiska časovej náročnosti je automatické cielenie 2,5x až 3x rýchlejšie ako cielenie manuálne. S využitím robotizovaných totálnych staníc s AP sa meranie zefektívňuje a dosahujeme rýchlejšie a presnejšie výsledky v dôsledku zníženia vplyvu meračských chýb spôsobené ľudským faktorom samotného merača. Ďalej je kladený dôraz na presnosť nasmerovania odrazového hranolu do smeru zámery. Nepresne natočenie odrazového hranolu spôsobuje na kratšie dĺžky nezanedbateľnú systematickú chybu v uhlových ako aj v dĺžkových veličinách, ktoré sú závislé na veľkosti excentricity.

Ďalšie poznatky z testovania funkcie ATR robotizovanej totálnej stanice od firmy Leica sa nachádzajú v [8]. Predmetom testovania bolo s využitím ATR určiť presnosť zvislého posunu. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade vplyv natočenia odrazového hranolu závisí na veľkosti odchýlok, ktoré vykazovali cyklický priebeh.

2.2 Testovanie digitálnych nivelačných prístrojov

Digitálne nivelačne prístroje s nivelačnými kódovými latami postupne nahrádzajú optické nivelačné prístroje z dôvodu zvýšenia efektívnosti merania, pri ktorom sa skraca doba merania a redukuje počet členov meračskej skupiny. Digitálne nivelačné prístroje prostredníctvom CCD snímača zabezpečujú automatické odčítanie latového úseku a pomocou integrovanej elektroniky umožňujú priamu registráciu meraných údajov a umožňujú eliminovať hrubé chyby a omyly spôsobené samotným meračom. Prvkom ovplyvňujúcim kvalitu meraných údajov sú svetelné podmienky v priestore medzi nivelačným prístrojom a latou.

V príspevku [9] sa realizovali testovacie merania, v ktorých cieľom bolo zhodnotiť vplyv zmeny svetelných podmienok na presnosť určenia latového úseku. K tomuto testu bol použitý digitálny nivelačný prístroj Trimble DiNi 12 a nivelačná lata s kódovou stupnicou na invarovom páse. Z posúdených výsledkov bolo dokázané, že zmena intenzity osvetlenia stupnice nivelačnej laty vplýva na hodnotu odčítaného latového úseku, na presnosť výškového merania a tiež na čas odčítania latového úseku.

PRAKTICKÁ ČASŤ

3. METROLOGICKÁ KALIBRAČNÁ ZÁKLADŇA FAST

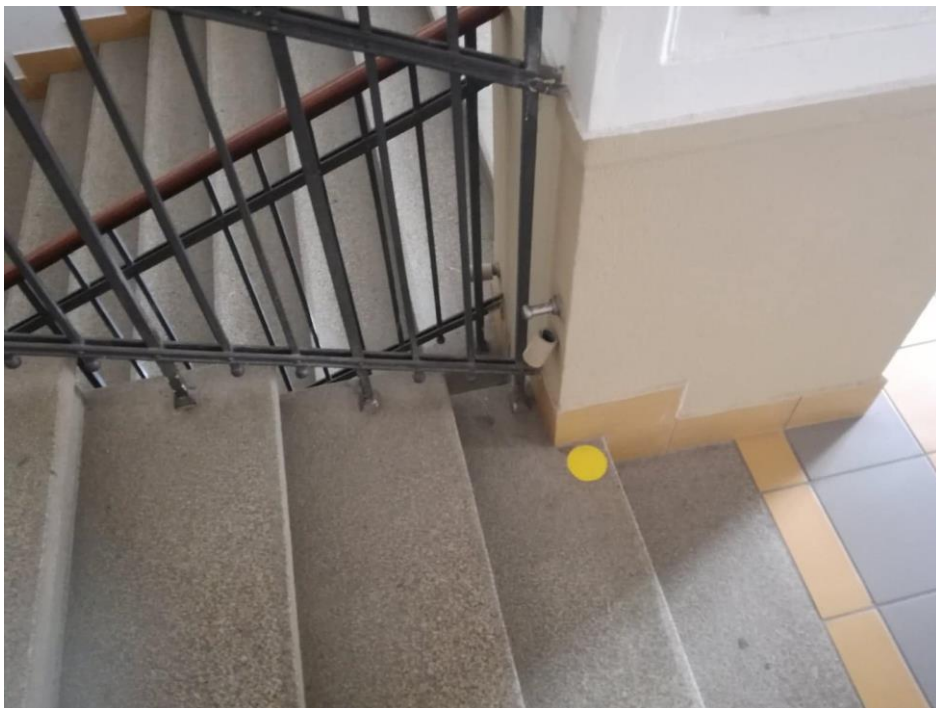
3.1 Prípravné práce

Prípravné práce prebiehali konzultáciou s vedúcim bakalárskej práce s Ing. Jiřím Burešom, Ph.D., pri ktorej sme zvolili prístroj, vybrali vhodné odrazové hranoly. Ďalej sme konzultovali o kontrolných meraniach pred meraním a o vhodnom postupe merania na kalibračnom polygóne FAST. Nasledovala rekognoskácia spomínaného polygónu.

3.2 Rekognoskácia a popis kalibračnej základni FAST

Kalibračný polygón FAST sa nachádza v budove B na schodisku medzi 1. až 4. nadzemným podlažím. Skladá sa z trinástich nivelačných čapových značiek osadených v stene samotného schodiska.

Pri rekognoskácii bol skontrolovaný stav a kvalita jednotlivých nivelačných čapov a boli rozvrhnuté stanoviská pre najlepšiu viditeľnosť na značky.



Obr. 3.1 Nivelačná značka kalibračnej základni FAST

3.3 Použité meračské prístroje a pomôcky

3.3.1 Presná nivelácia

Pre meranie referenčného prevýšenia bol použitý digitálny nivelačný prístroj Leica DNA03 a invarová lať Leica GPCL3.



Obr. 3.2 Ukážka digitálneho nivelačného prístroja Leica DNA03 [10]

Presnosť VPN	+/- 0,3 mm
Zväčšenie	24 x
Dosah (invarové laty)	1,8 m až 60 m
Odčítanie laty	0,01 mm
Kompenzátor (rozsah / citlivosť)	+/- 10' / 0,3 ''

Tabuľka 3.1 Technické parametre Leica DNA03

3.3.2 Trigonometrické meranie

Na trigonometrické meranie prevýšení bola použitá robotizovaná totálna stanica s automatickým cielením Trimble S5 5'' DR+. Ďalej boli použité štyri rozličné odrazové hranoly. Ako referenčný hranol bol použitý Leica GPH1P a na meranie samotných prevýšení bol použitý monitorovací odrazový hranol Trimble, mini hranol Leica GMP111-Basic a mini hranol 360° od firmy Trimble.



Obr. 3.3 Ukážka robotickej totálnej stanice Trimble S5

Totální stanice Trimble S5

VÝKON

Úhlová přesnost

Typ senzoru	Absolutní snímač s diametrálním čtením
Přesnost (směrodatná odchylka podle DIN 18723)	1" (0.3 mgon) 2" (0.6 mgon), 3" (1.0 mgon), nebo 5" (1.5 mgon)
Čtení úhlů (nejmenší dílek)	0.1" (0.01 mgon)
Automatický kompenzátor	
Typ	Centrováný dvojosý
Přesnost	0.5" (0.15 mgon)
Rozsah	±5.4' (±100 mgon)

Měření vzdálenosti

Přesnost (směrodatná odchylka)	
Hranol	
Standard ¹	1 mm + 2 ppm
Tracking	4 mm + 2 ppm
Direct Reflex (bezhranolové měření)	
Standard	2 mm + 2 ppm
Tracking	4 mm + 2 ppm
Extended Range	10 mm + 2 ppm

Čas měření

Hranol	
Standard	1.2 s
Tracking	0.4 s
Direct Reflex (bezhranolové měření)	
Standard	1–5 s
Tracking	0.4 s

Dosah

Hranol (standardní viditelnost ^{2,3})	
1 hranol	2500 m
1 hranol Prodloužený dosah	5500 m (max. range)
Nejkratší možná vzdálenost	0.2 m
Direct Reflex	

	Dobře (Dobrá viditelnost, nízká světelnost)	Normální (Normální viditelnost, mírný sluneční svit, drobné chvění vzduchu)	Náročně (Mha, objekt na přímém slunečním světě, vítr)
Bílý povrch (90% odraz)³	1,300 m	1,300 m	1,200 m
Šedý povrch (18% odraz)³	600 m	600 m	550 m

Reflexní fólie 20 mm	1000 m
Nejkratší dosah	1 m
Bezhranolové měření prodloužený dosah	
Bílý povrch (90% odrazivost) ⁴	2200 m

SPECIFIKACE DÁLKOMĚŘU

Zdroj paprsku	Pulzní laserová dioda 905 nm, Laser třídy 1
Rozptyl paprsku	
Horizontální	4 cm/100 m
Vertikální	8 cm/100 m

1 Směrodatná odchylka podle ISO1123-4.
2 Standardní podmínky. Zadrženo nebo mírný sluneční svit s velmi lehkým chvěním vzduchu.
3 Dosah a přesnost závisí na atmosférických podmínkách, velikosti hranolů a odrazivosti materiálu.
4 Kodák Šedá, katalogové číslo E1527795.
5 Kapacita v -20 °C je 75% kapacity v +20 °C.
6 Schválené typy Bluetooth se v každé zemi liší. Pro více informací kontaktujte Vašeho lokálního autorizovaného distributora Trimble.
7 Závisí na velikosti zvoleného vyhledávacího okna.
8 Doba nalezení cíle závisí na geometrii a kvalitě GPS bodů.
9 Funkčnost a dostupnost v závislosti na regionu.

© 2015, Trimble Navigation Limited. Všechna práva vyhrazeny. Loga Trimble, Globus & Trojúhelník a Autolock jsou chráněné známky společnosti Trimble Navigation registrované ve Spojených státech a dalších zemích. Access, InSphere, Integrated Surveying, MagDrive, MultiTrack a SurePoint jsou ochranné známky společnosti Trimble Navigation Limited. Značka Bluetooth a logo jsou ve vlastnictví společnosti Bluetooth SIG, Inc. a jakákoliv používání těchto značek společnosti Trimble Navigation Limited podléhá licenčním dohodám. Všechny ostatní ochranné známky jsou majetkem svých příslušných vlastníků. PN 022516-153A (05/15)

SPECIFIKACE SYSTÉMU

Libela

Krabicová libela v trojnožce	8/2 mm
Elektronická dvojosá libela na displeji s rozlišením	0.3" (0.1 mgon)

Systém Servo

Servo technologie MagDrive, integrovaný servo/úhlový senzor	
elektromagnetický přímý pohon	
Rychlost otáčení	115 °/s (128 gon/s)
Doba proložení z první do druhé polohy	2.6 s
Doba otočení o 180 ° (200 gon)	2.6 s
Ustanovky a pomalý pohyb	Servo, nekonečně jemné ustanovky

Centrace

Systém centrace	Trimble trojnožka, 3 trny
Optický centrovač	v trojnožce
Zvětšení/rozsah ostření	2,3x/0,5m–nekonečno

Dalekohled

Zvětšení	30x
Světelnost	40 mm
Zorné pole na 100 m	2.6 m
Nejkratší vzdálenost na ostření	1,5 m–infinity
Osvětlený nitkový kříž	Nastavitelné (v 10 krocích)

Zdroj napětí

Vnitřní baterie	Dobíjecí Li-Ion baterie, 11.1 V, 5.0 Ah
Čas provozu ⁵	
Jedna vnitřní baterie	cca 6.5 hodin
Tři vnitřní baterie v multi-bateriovém adaptéru	cca 20 hodin
Robotický držák s jednou vnitřní baterií	13.5 hodin

Váha

Přístroj (Autolock)	5.4 kg
Přístroj (Robotic)	5.5 kg
Trimble CU kontroler	0.4 kg
Trojnožka	0.7 kg
Vnitřní baterie	0.35 kg
Výška osy dalekohledu	196 mm

Ostatní

Komunikace	USB, Serial, Bluetooth [®]
Provozní teplota	-20° C to +50° C
Vestavěné vytyčovací světlo	Není dostupné ve všech modelech
Odolnost proti prachu a vodě	IP65
Vlhkost	100% kondenzace
Laserová koaxiální stopa (standard)	Laser třídy 2
Zabezpečení	Ochrana heslem, Locate2Protect [®]

ROBOTICKÉ MĚŘENÍ

Dosah Autolocku a Roboticu ³	
Pasivní cíle	500 m–700 m
Trimble MultiTrack [™]	800 m
Trimble Active Track 360	500 m
Přesnost cílení Autolocku na 200 m (Standardní odchylka) ³	
Pasivní cíle	<2 mm
Trimble MultiTrack	<2 mm
Trimble Active Track 360	<2 mm
Nejkratší vzdálenost	0.2 m
Typ rádia interní/externí	2.4 GHz, širokopásmová rádia
Doba vyhledávání (typická) ⁷	2–10 s

GPS VYHLEDÁVÁNÍ/GEOLock

GPS Vyhledávání/GeoLock	360 stupňů (400 gonů) nebo definovaný horizontální a vertikální výběr
Nalezení cíle ⁸	15–30 s
Znovunalezení cíle	<3 s
Dosah	Dosah Autolocku & Roboticu



Specifikace se mohou měnit bez předchozího upozornění.

Obr. 3.4 Technické parametry totální stanice Trimble S5 [11]

3.3.3 Použité odrazové hranoly



Obr. 3.5 Trimble monitorovací hranol



Obr. 3.6 Leica mini hranol GMP 111 Basic [12]



Obr. 3.7 Trimble mini hranol 360° [13]

Pred samotným meraním prevýšení na metrologickej kalibračnej základne FAST, boli vykonané kontrolné merania na vybrané odrazové hranoly. Prvá časť kontrolného merania sa zaoberala s určením presnosti merania na konkrétny odrazový hranol. Druhá časť sa zaoberala kontrolou dĺžok pri nastavení rôznych súčtových konštánt.

3.4 Určenie presnosti meraní na konkrétny odrazový hranol

Na jednotlivé hranoly bol zmeraný zenitový uhol v dvoch polohách ďalekohľadu desať krát, pričom hranol bol postavený na čapovej nivelačnej značke. Kde po každom opakovaní bol hranol zodvihnutý a znova postavený na čapovú značku aby bolo meranie nezávislé.

Z nameraných hodnôt boli vypočítané z prvej a druhej polohy ďalekohľadu zenitové vzdialenosti opravené o indexovú chybu podľa vzťahu

$$z = o_1 - i, \quad (3.1)$$

kde

$$2i = o_1 + o_2 - 400^g. \quad (3.2)$$

Z týchto desiatich zenitových uhlov opravených o indexovú chybu bol vypočítaný priemer a následne opravy, z ktorých bola vypočítaná stredná chyba jedného merania zenitového uhla pre konkrétny hranol.

Vzťah pre výpočet strednej chyby jedného merania,

$$m_z = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

kde v sú opravy vypočítane ako

$$v = \bar{x} - x \quad (3.4)$$

a n je počet meraní.

Rozbor

n	Poloha	z [g]	vi
1	I	110,5289 400,0258	-0,0004
	II	289,4969 110,5160	-0,0010
2	I	110,5291 400,0249	-0,0003
	II	289,4958 110,5166	0,0002
3	I	110,5110 399,9901	0,0014
	II	289,4791 110,5159	-0,0006
4	I	110,5094 399,9881	-0,0008
	II	289,4786 110,5154	0,0001
5	I	110,5082 399,9879	0,0010
	II	289,4797 110,5142	0,0003
6	I	110,5107 399,9890	
	II	289,4783 110,5162	
7	I	110,5084 399,9842	
	II	289,4757 110,5164	
8	I	110,5068 399,9827	
	II	289,4759 110,5155	
9	I	110,5068 399,9843	
	II	289,4776 110,5146	
10	I	110,5076 399,9847	
	II	289,4771 110,5153	
∅		110,5156	

$$m_z = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}$$

mz= 0,0008 g

Tabuľka. 3.2 Ukážka rozboru presnosti zenitového uhla pre mini hranol Leica

Odrazový hranol	Stredná chyba jedného merania zenitového uhla m_z [°c]
Trimble monitorovací	14
Leica mini hranol GMP 111	8
Trimble mini 360°	10

Tabuľka.3.3 Výsledné stredné chyby zenitového uhla pre konkrétne hranoly

3.5 Kontrola dĺžok pri nastavení rôznych súčtových konštánt

Jednotlivé hranoly boli upevnené na statív, na ktoré boli merané v troch opakovaníach vodorovné dĺžky v dvoch polohách ďalekohľadu. Pre každý konkrétny odrazový hranol bola nastavená súčtová konštanta udávaná výrobcom. Priemery z prvej a druhej polohy bolo porovnané s vodorovnými dĺžkami merané na referenčný hranol Leica GPH1P.

Odrazový hranol	Súčtová konštanta [mm]
Referenčný hranol Leica GPH1P	-35
Trimble monitorovací	-18
Leica mini hranol GMP111	-18
Trimble mini 360°	+2

Tabuľka 3.4 Nastavené hodnoty súčtových konštánt

Najväčšia odchýlka vo vodorovnej dĺžke bola na odrazový hranol Trimble mini 360°, ktorá dosahovala 1 mm.

	Referenčný (H) [m]	Trimble monitorovací (H1) [m]	Leica (H2) [m]	Trimble mini 360° (H3) [m]	Rozdiel (H-H1) [m]	Rozdiel (H-H2) [m]	Rozdiel (H-H3) [m]
1	7,7971	7,7970	7,7964	7,7973	0,0001	0,0007	-0,0002
2	7,7962	7,7972	7,7963	7,7976	-0,0010	-0,0001	-0,0013
3	7,7964	7,7973	7,7972	7,7978	-0,0009	-0,0008	-0,0014
∅	7,7966	7,7972	7,7966	7,7975	-0,0006	-0,0001	-0,0010

Tabuľka 3.5 Porovnanie vodorovných dĺžok

3.6 Meranie na kalibračnej základni FAST

Po kontrolných meraniach sa mohlo prejsť na meranie prevýšení na metrologickej kalibračnej základni FAST. Pred samotným meraním sa nastavili fyzikálne korekcie a to teplota a tlak, nastavili sa súčtové konštanty pre konkrétne hranoly a založil sa job, do ktorého sa ukladali merané hodnoty.

Prístroj bol postavený do stredu medzi dve čapové značky, meralo sa metódou vzad a vpred, pričom na jednotlivé hranoly bolo merané tri krát v dvoch polohách ďalekohľadu s automatickým cínením. Zaznamenávali sa vodorovné uhly, zenitové vzdialenosti, šikmé dĺžky a súradnice Z . Začínalo sa na bode 13. a postupovalo sa smerom dolu, tak aby bolo zmerané prevýšenie medzi každou nivelačnou značkou. Problémy nastali pri strmších zámerách na hranol Trimble mini 360° kde prístroj nedokázal automaticky zacieliť na odrazový hranol. Po niekoľkých opakovaných pokusoch sa nakoniec podarilo zmerať prevýšenia aj pomocou tohto hranola.

Prevýšenia boli vypočítané pre každý hranol jednotlivo. Najprv boli prevýšenia určené z nameraných súradníc Z . Ďalej boli vypočítané z nameraných šikmých dĺžok a zenitových uhlov podľa vzťahu

$$h = s \cos z. \quad (3.5)$$

Tretí súbor prevýšení sa získal z korigovaných šikmých dĺžok, ktoré boli opravené o rozdiely z kontrolného merania dĺžok. Tieto prevýšenia boli porovnané s referenčnými prevýšeniami, ktoré sme získali s presnej nivelácie, ktorá bola meraná tam aj späť.

Výsledne prevýšenia boli poskladané do výslednej tabuľky a rozdiely jednotlivých prevýšení vložené do grafu.

Najväčšie odchýlky v prevýšení boli na odrazový hranol Trimble mini 360° a to až -7,4 mm. Dôvodom tejto odchýlky bola strmá zámera, pri ktorej totálna stanica nedokázala automaticky zacieliť na stred hranola.



Obr. 3.8 Ukážka merania prevýšenia pomocou monitorovacieho hranola na kalibračnej základni

;Vyskove pripojeni - vyskovy polygon - mereni po schodech 1-13, 13-1
 ;Dne: 22.2.2018, cas: 10:30-11:30
 ;Pristroj: Leica DNA03 v.c. 723289
 ;Lat: Leica GPCL3 v.c. 24349 (drevena bedna)
 ;Meril: Ing. J. Bures zapsal: registrace, lat: Tibor Szabo

```

110001+00000001 32...8+00350355 330.08+00170697 390...+00000003 391.08+00000000
110002+00000002 32...8+00277195 330.08+00030984 390...+00000003 391.08+00000001

110003+00000002 32...8+00344871 330.08+00232931 390...+00000003 391.08+00000001
110004+00000003 32...8+00298931 330.08+00032947 390...+00000003 391.08+00000000

110005+00000003 32...8+00242451 330.08+00077416 390...+00000003 391.08+00000001
110006+00000004 32...8+00292842 330.08+00031522 390...+00000003 391.08+00000000

110007+00000004 32...8+00317977 330.08+00186193 390...+00000003 391.08+00000001
110008+00000005 32...8+00298934 330.08+00029923 390...+00000003 391.08+00000000

110009+00000005 32...8+00243687 330.08+00087109 390...+00000003 391.08+00000001
110010+00000006 32...8+00297119 330.08+00018257 390...+00000003 391.08+00000000

110011+00000006 32...8+00321747 330.08+00195136 390...+00000003 391.08+00000000
110012+00000007 32...8+00302063 330.08+00024230 390...+00000003 391.08+00000000

110013+00000007 32...8+00231275 330.08+00097716 390...+00000003 391.08+00000000
110014+00000008 32...8+00285260 330.08+00017731 390...+00000003 391.08+00000000

110015+00000008 32...8+00224879 330.08+00192855 390...+00000003 391.08+00000000
110016+00000009 32...8+00208212 330.08+00020324 390...+00000003 391.08+00000001

110017+00000009 32...8+00225821 330.08+00093887 390...+00000003 391.08+00000000
110018+00000010 32...8+00279750 330.08+00019307 390...+00000003 391.08+00000000

110019+00000010 32...8+00234584 330.08+00192080 390...+00000003 391.08+00000001
110020+00000011 32...8+00200975 330.08+00028297 390...+00000003 391.08+00000002
  
```

Obr. 3.9 Ukážka časti záznamu z presnej nivelácie

Hranol: Trimble monitorovací
Konštanta: -18 mm

Rozdiely jednotlivých prevýšení [m]

	h z presnej nivelácie [m]	h1 zo súradnice [m]	h2 zo vzorca $s \cdot \cos z$ [m]	h3 korigované [m]	h - h1 [mm]	h - h2 [mm]	h - h3 [mm]
13-12	-1,6611	-1,6596	-1,6596	-1,6593	-1,5	-1,5	-1,8
12-11	-0,8484	-0,8480	-0,8480	-0,8479	-0,4	-0,4	-0,6
11-10	-1,6378	-1,6369	-1,6369	-1,6367	-0,9	-0,9	-1,1
10-9	-0,7458	-0,7453	-0,7453	-0,7452	-0,4	-0,4	-0,6
9-8	-1,7254	-1,7244	-1,7244	-1,7241	-0,9	-0,9	-1,2
8-7	-0,7999	-0,7995	-0,7995	-0,7994	-0,4	-0,4	-0,5
7-6	-1,7091	-1,7082	-1,7081	-1,7079	-0,9	-0,9	-1,2
6-5	-0,6886	-0,6883	-0,6883	-0,6882	-0,2	-0,2	-0,3
5-4	-1,5627	-1,5619	-1,5619	-1,5617	-0,7	-0,7	-1,0
4-3	-0,4589	-0,4596	-0,4596	-0,4596	0,7	0,7	0,7
3-2	-1,9998	-1,9991	-1,9991	-1,9988	-0,7	-0,7	-1,0
2-1	-1,3971	-1,3963	-1,3963	-1,3960	-0,8	-0,8	-1,1

Tabuľka 3.6 Prevýšenia merané na monitorovací hranol

Hranol: Leica
Konštanta: -18 mm

Rozdiely jednotlivých prevýšení [m]

	h z presnej nivelácie [m]	h1 zo súradnice [m]	h2 zo vzorca $s \cdot \cos z$ [m]	h3 korigované [m]	h - h1 [mm]	h - h2 [mm]	h - h3 [mm]
13-12	-1,6611	-1,6603	-1,6603	-1,6603	-0,8	-0,8	-0,8
12-11	-0,8484	-0,8480	-0,8480	-0,8480	-0,5	-0,5	-0,5
11-10	-1,6378	-1,6368	-1,6371	-1,6371	-1,0	-0,7	-0,7
10-9	-0,7458	-0,7452	-0,7452	-0,7452	-0,6	-0,6	-0,6
9-8	-1,7254	-1,7239	-1,7240	-1,7239	-1,4	-1,4	-1,4
8-7	-0,7999	-0,7994	-0,7994	-0,7993	-0,5	-0,5	-0,5
7-6	-1,7091	-1,7077	-1,7077	-1,7077	-1,4	-1,4	-1,4
6-5	-0,6886	-0,6880	-0,6880	-0,6880	-0,5	-0,5	-0,5
5-4	-1,5627	-1,5615	-1,5615	-1,5615	-1,2	-1,2	-1,2
4-3	-0,4589	-0,4590	-0,4590	-0,4590	0,1	0,1	0,1
3-2	-1,9998	-1,9986	-1,9986	-1,9985	-1,3	-1,3	-1,3
2-1	-1,3971	-1,3963	-1,3963	-1,3963	-0,8	-0,8	-0,8

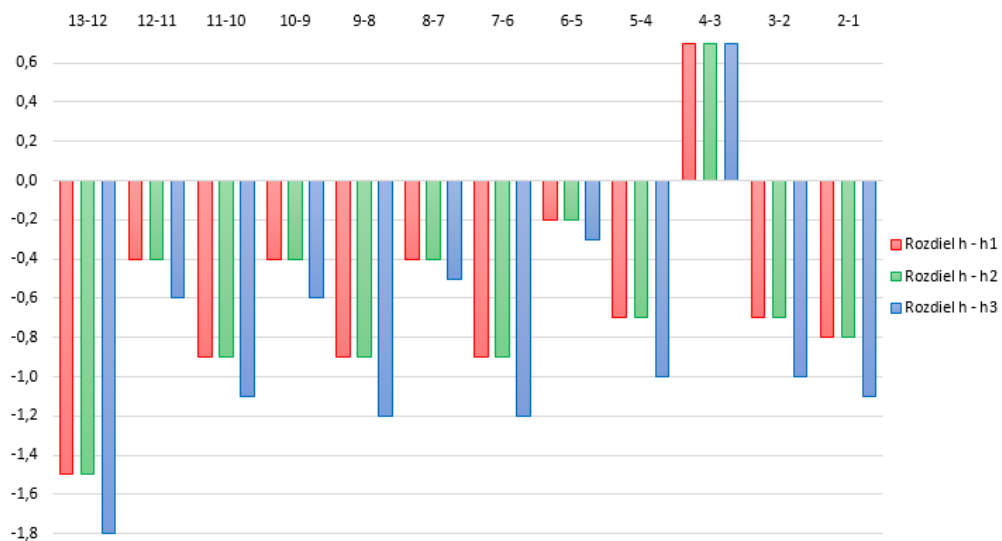
Tabuľka 3.7 Prevýšenia merané na hranol Leica GMP 111

Hranol: Trimble mini 360°
Konštanta: +2 mm

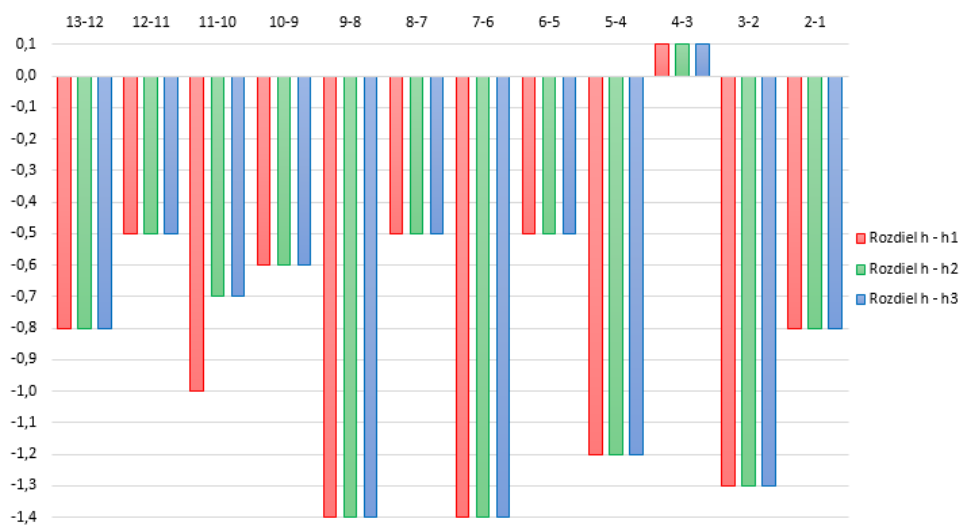
Rozdiely jednotlivých prevýšení [m]

	h z presnej nivelácie [m]	h1 zo súradnice [m]	h2 zo vzorca $s \cdot \cos z$ [m]	h3 korigované [m]	h - h1 [mm]	h - h2 [mm]	h - h3 [mm]
13-12	-1,6611	-1,6554	-1,6554	-1,6549	-5,7	-5,7	-6,2
12-11	-0,8484	-0,8453	-0,8452	-0,8450	-3,2	-3,2	-3,4
11-10	-1,6378	-1,6319	-1,6319	-1,6315	-5,9	-5,9	-6,3
10-9	-0,7458	-0,7431	-0,7431	-0,7429	-2,7	-2,7	-2,9
9-8	-1,7254	-1,7199	-1,7199	-1,7195	-5,4	-5,4	-5,9
8-7	-0,7999	-0,7972	-0,7971	-0,7969	-2,7	-2,7	-2,9
7-6	-1,7091	-1,7033	-1,7033	-1,7029	-5,8	-5,8	-6,2
6-5	-0,6886	-0,6863	-0,6863	-0,6861	-2,3	-2,3	-2,5
5-4	-1,5627	-1,5569	-1,5569	-1,5565	-5,8	-5,8	-6,2
4-3	-0,4589	-0,4588	-0,4588	-0,4587	-0,1	-0,1	-0,2
3-2	-1,9998	-1,9930	-1,9930	-1,9924	-6,9	-6,9	-7,4
2-1	-1,3971	-1,3924	-1,3924	-1,3920	-4,7	-4,7	-5,1

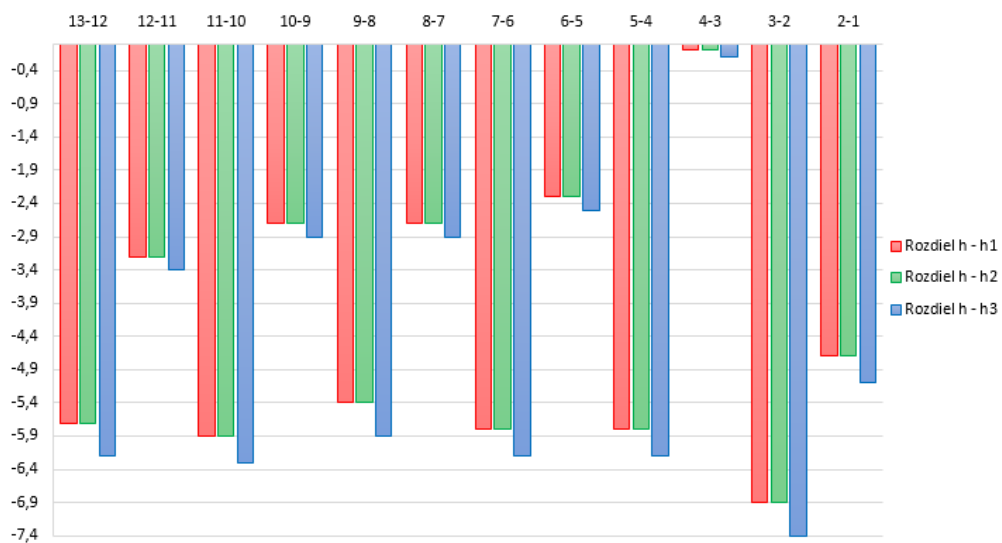
Tabuľka 3.8 Prevýšenia merané na hranol Trimble mini 360°



Graf 3.1 Znáznrenie rozdielov prevýšeni merané monitorovacím hranolom od PN



Graf 3.2 Zobrazenie rozdielov prevýšeni merané hranolom Leica mini od PN



Graf 3.3 Znáznornenie rozdielov prevýšeni merané hranolom Trimble mini 360° od PN

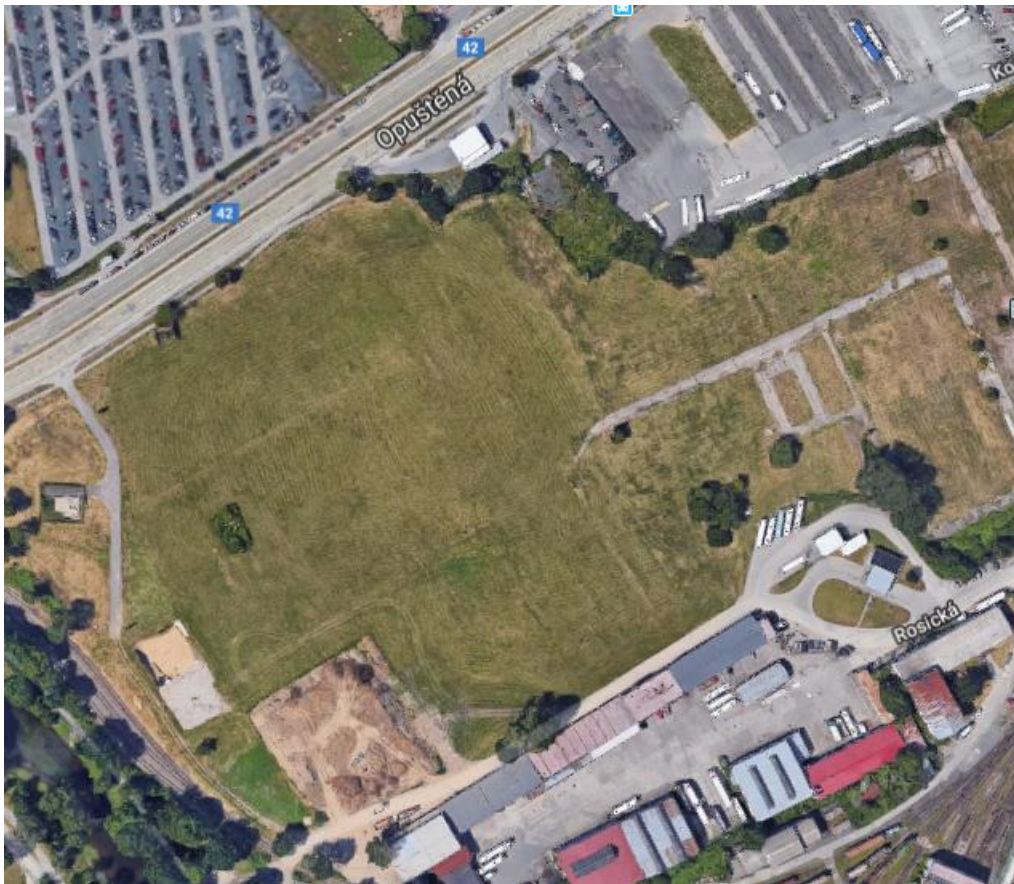
4. KALIBRAČNÁ ZÁKLADŇA BKOM

Cieľom merania na kalibračnej základni bola kontrola nastavenia prístroja z vplyvu zakrivenia a refrakcie z výsledkov nameraných prevýšení, určenie presnosti automatického celenia na rôzne vzdialenosti a určenie presnosti merania prevýšení porovnaním s etalónom meraným presnou niveláciou. Postup a vyhodnotenie je popísaný v nasledujúcich podkapitolách.

4.1 Lokalita

Druhou časťou praktickej časti bakalárskej práce bolo meranie na kalibračnej základni BKom. Táto základňa sa nachádza na trávinatej ploche pri ulici Opuštená juhozápadne od ÚAN Zvonařka.

Kalibračná základňa sa skladá zo siedmych pilierov s nútenou centráciou, kde vzdialenosť medzi prvým a posledným pilierom je 417 metrov a slúži na kontrolu presnosti EDM a GNSS.



Obr. 4.1 Ortofoto lokality kalibračnej základne

4.2 Rekognoskácia kalibračnej základne

Pred samotným meraním bolo z pilierov odstránený kryt, ktorý chráni hlavu piliera pred vonkajšími vplyvmi. Následne boli hlavice pilierov očistené od usadeného prachu a skontrolovaný stav jednotlivých hlavíc.

4.3 Použité pomôcky

Na kalibráciu bola použitá Totálna stanice Trimble S5, odrazový hranol Leica GPH1P a sada siedmich trojnožiek, ktoré boli zapožičané od firmy Bkom a.s.



Obr. 4.2 Hranol Leica GPH1P [14]

4.4 Postup merania

Pred samotným meraním bol vyplnený záznam merania kde sa uviedlo aký prístroj bol použitý, aké fyzikálne a atmosférické korekcie boli nastavené v prístroji. Ďalej bolo zaznamenaná aký odrazový systém bol použitý a aký kalibračný postup bol zvolený.

Kvôli časovej náročnosti bol zvolený zjednodušený kalibračný postup, pri ktorom sa meria z každého piliera na určité piliere.

P1 → P2, P5, P6, P7

P2 → P5, P4, P3, P1

P3 → P2, P4

P4 → P5, P3, P2

P5 → P2, P1, P4, P6

P6 → P7, P5, P1

P7 → P1, P6

Na každý pilier bola upevnená trojnožka, ktorá bola nahrubo urovnaná pomocou kruhovej libely a následne zhorizontovaná presnejšie pomocou trubicovej libely na odrazovom hranole. Vybrané piliere boli merané 5 krát v dvoch polohách ďalekohľadu s využitím automatického cielenia a boli registrované horizontálne uhly, zenitové vzdialenosti, šikmé dĺžky na štyri desatinné miesta, súradnice X, Y a Z. Výšky cieľa a výšky totálnej stanice boli zmerané pomocou dvojmetra od klincovej nivelačnej značky na hlavici piliera.

Namerané hodnoty boli použité na výpočet strednej chyby zenitového uhla pri meraní ako v jednej polohe tak aj pri meraní v dvoch polohách ďalekohľadu. Na výpočet prevýšení medzi jednotlivými piliermi, ktoré boli porovnané s prevýšeniami z presnej nivelácie. A päť trojíc pilierov nám umožnilo výpočet súčtovej konštanty a jej strednej chyby.

Meril: TIBOR SZABO
Datum: 01.04.2011

Přístroj: Trimble S5 5 DR Plus vyr. c.:37120013 ver.fw.:H1.1.26
Survey Controller SW: 3.20 ver. protokolu:0.84
Merítkové číslo:1 Délkové jednotky:Metry Uhlíkové jednotky:Grady

STANOVISKO P1

Vyska:0.230 Typ:ZNAME

Datum: 01.04.2011 Cas: 09:39:37

Tlak:1009 Teplota:17 PPM:-2

Orientaci: 1 Orientacni posun:0.00000 Str. chyba orientace:

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Cislo bodu	Vc	K.Hr.	SD.	Hz.	Vz.	Cas	Kod	dSd	dHz	dVz	dY	dX
------------	----	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

P2 0.229 -0.034 72.5682 0.00000 100.12793 09:39:37

P1 Y: 500.0000 X: 1000.0000 Z: 100.0000 dY: ? dX: ? dZ: ?

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

MERENI

Cislo bodu	Vc	K.Hr.	SD.	Hz.	Vz.	Y	X	Z	Kod
------------	----	-------	-----	-----	-----	---	---	---	-----

1.1	0.229	-0.034	72.5685	0.00035	100.12729	500.0004	1072.5683	99.8563	P1
1.1	0.229	-0.034	72.5683	200.00090	299.87045	500.0010	1072.5681	99.8537	P1
1.2	0.229	-0.034	72.5682	0.00007	100.12807	500.0001	1072.5681	99.8554	P1
1.2	0.229	-0.034	72.5682	200.00023	299.87053	500.0003	1072.5680	99.8538	P1
1.3	0.229	-0.034	72.5687	399.99955	100.12775	499.9995	1072.5686	99.8557	P1
1.3	0.229	-0.034	72.5679	200.00035	299.87041	500.0004	1072.5678	99.8536	P1
1.4	0.229	-0.034	72.5678	399.99964	100.12766	499.9996	1072.5677	99.8558	P1
1.4	0.229	-0.034	72.5690	200.00028	299.87082	500.0003	1072.5688	99.8541	P1
1.5	0.229	-0.034	72.5681	399.99987	100.12810	499.9999	1072.5680	99.8553	P1
1.5	0.229	-0.034	72.5687	200.00027	299.87074	500.0003	1072.5685	99.8540	P1
1.6	0.229	-0.034	132.5313	0.00543	100.14045	500.0113	1132.5310	99.7098	P5
1.6	0.229	-0.034	132.5319	200.00544	299.85928	500.0113	1132.5316	99.7092	P5
1.7	0.229	-0.034	132.5317	0.00555	100.13990	500.0115	1132.5314	99.7109	P5
1.7	0.229	-0.034	132.5318	200.00555	299.85909	500.0115	1132.5315	99.7088	P5
1.8	0.229	-0.034	132.5314	0.00560	100.13946	500.0117	1132.5311	99.7119	P5
1.8	0.229	-0.034	132.5317	200.00528	299.85948	500.0110	1132.5314	99.7096	P5
1.9	0.229	-0.034	132.5322	0.00559	100.13979	500.0116	1132.5319	99.7112	P5
1.9	0.229	-0.034	132.5322	200.00566	299.85900	500.0118	1132.5318	99.7086	P5
1.10	0.229	-0.034	132.5307	0.00559	100.13986	500.0116	1132.5304	99.7110	P5
1.10	0.229	-0.034	132.5310	200.00565	299.85936	500.0118	1132.5307	99.7094	P5
1.11	0.229	-0.034	252.5384	399.99996	100.09144	499.9998	1252.5382	99.6426	P6

Obr. 4.3 Ukážka zápisníka registrovaných dát

4.5 Výpočet strednej chyby zenitového uhla

Z nameraných zenitových vzdialeností bola vypočítaná výsledná smerodajná odchýlka z čiastkových stredných chýb podľa vzťahu

$$m_z = \sqrt{\frac{m_{z1}^2 + m_{z2}^2 + \dots + m_{z7}^2}{n}} \quad (4.1)$$

v ktorom $m_{z1}, m_{z2}, m_{z3}, \dots, m_{z7}$ boli vypočítane zo známej rovnice

$$m_{zi} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

Smerodajná odchýlka pri meraní v jednej polohe ďalekohľadu	[^c]
m_{z1}	4
m_{z2}	2
m_{z3}	46
m_{z4}	2
m_{z5}	3
m_{z6}	4
m_{z7}	2

Tabuľka 4.1 Smerodajné odchýlky v jednej polohe ďalekohľadu

Celková smerodajná odchýlka zenitového uhla v jednej polohe ďalekohľadu bola $m_z = 0,0018^g$.

Smerodajná odchýlka pri meraní v dvoch polohách ďalekohľadu	[^c]
m_{z1}^{II}	3
m_{z2}^{II}	1
m_{z3}^{II}	23
m_{z4}^{II}	1
m_{z5}^{II}	2
m_{z6}^{II}	3
m_{z7}^{II}	1

Tabuľka 4.2 Smerodajné odchýlky v dvoch polohách ďalekohľadu

Celková smerodajná odchýlka zenitového uhla v jednej polohe ďalekohľadu bola $m_z^{II} = 0,0009^g$.

4.6 Výpočet prevýšení medzi piliermi

Pri výpočte prevýšení boli do výpočtov zavedené korekcie zo zakrivenia Zeme a korekcie z refrakcie z dôvodu zámer dlhších ako 100 metrov. Vzorec pre výpočet je nasledovný

$$h = s \cos z + \frac{s^2 (1-k)}{2R \sin^2 z} + v_p - v_c. \quad (4.3)$$

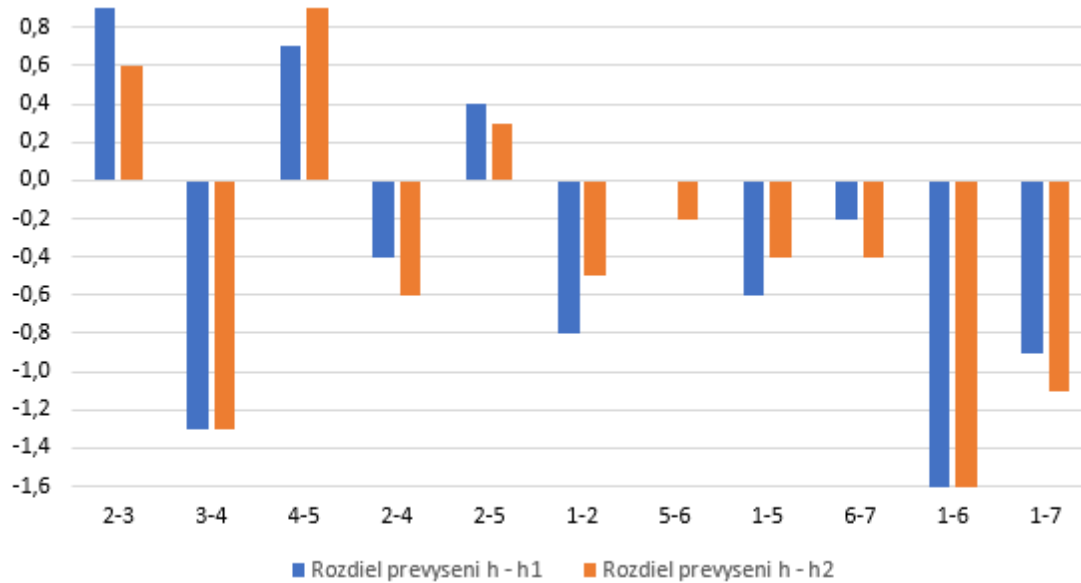
Hodnota refrakčného koeficienta k bola 0,142. Polomer sféroidu R je 6 378 137 m, čo je dĺžka hlavnej polosi WGS-84 nastavená výrobcom totálnej stanice.

Prevýšenia boli vypočítané z rozdielov súradníc Z a z nameraných zenitových uhlov a šikmých dĺžok, ktoré boli porovnané s referenčnými prevýšeniami z výšok pilierov určených presnou niveláciou.

Výsledné prevýšenia a rozdiely boli zostavené do tabuľky a rozdiely boli vynesené do grafu, v ktorom h je prevýšenie z presnej nivelácie, h_1 je prevýšenie vypočítané zo súradnice a h_2 prevýšenie získane zo zenitových uhlov a šikmej dĺžky. Prevýšenia a rozdiely boli zoradené vzostupne podľa vzdialenosti medzi piliermi.

Číslo piliera	Rozdiely prevýšeni				
	h z presnej nivelácie [m]	h1 zo súradnice [m]	h2 zo vzorca [m]	h - h1 [mm]	h - h2 [mm]
2-3	-0,0237	-0,0246	-0,0243	0,9	0,6
3-4	-0,0380	-0,0367	-0,0367	-1,3	-1,3
4-5	-0,0812	-0,0819	-0,0821	0,7	0,9
2-4	-0,0617	-0,0613	-0,0611	-0,4	-0,6
2-5	-0,1429	-0,1433	-0,1432	0,4	0,3
1-2	-0,1461	-0,1453	-0,1456	-0,8	-0,5
5-6	-0,0643	-0,0643	-0,0641	0,0	-0,2
1-5	-0,2890	-0,2884	-0,2886	-0,6	-0,4
6-7	0,8551	0,8553	0,8555	-0,2	-0,4
1-6	-0,3533	-0,3517	-0,3517	-1,6	-1,6
1-7	0,5018	0,5027	0,5029	-0,9	-1,1

Tabuľka 4.3 Výsledné prevýšenia a rozdiely



Graf 1.1 Znáornenie rozdielov prevýšení merané trigonometricky od PN



Obr. 4.4 Ukážka merania na kalibračnej základni BKom

4.7 Výpočet súčtovej konštanty a jej strednej chyby

Zjednodušený kalibračný postup merania je rozvrhnutý tak aby vzniklo päť trojíc pilierov medzi ktorými boli zmerane vodorovné dĺžky, z ktorých bola vypočítaná súčtová konštant a jej stredná chyba. Týchto päť trojíc pilierov boli

1. P1, P2, P5
2. P1, P5, P6
3. P1, P6, P7
4. P2, P3 P4
5. P2, P4, P5.

PSM bola vypočítaná ako rozdiel celkovej dĺžky a súčtu dvoch kratších vodorovných dĺžok

$$PSM_i = c_i - (a_i + b_i). \quad (4.4)$$

Kde c je priemerovaná vodorovná dĺžka meraná tam a späť medzi pilierom P1 a P5, a priemerovaná dĺžka medzi piliermi P1, P2 a vodorovná dĺžka b je priemer meraní tam a späť medzi P2 a P5. Takto boli vypočítané súčtové konštanty pre jednotlivé trojice pilierov. Pre každú čiastkovú PSM bola vypočítaná stredná chyba jedného merania vo dvojici z rozdielov dĺžok tam a späť podľa vzťahu

$$m'_{d_i} = \sqrt{\frac{d_{a_i}^2 + d_{b_i}^2 + d_{c_i}^2}{2n}}. \quad (4.5)$$

Ďalej bola vypočítaná stredná chyba aritmetického priemeru dvojíc, z ktorého následne bola vypočítaná čiastková stredná chyba PSM

$$m_{d_i} = \frac{m'_{d_i}}{\sqrt{2}} \quad (4.6)$$

$$m_{PSM_i} = m_{d_i} * \sqrt{3} \quad (4.6)$$

Výsledná súčtová konštant a bola vypočítaná ako aritmetický priemer čiastkových PSM.

$$PSM = \frac{\Sigma PSM_{1,2,3,4,5,6,7}}{n} \quad (4.7)$$

Celková stredná chyba PSM bola vypočítaná podľa vzorca

$$m_{PSM} = \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{\Sigma m_d^2}{n}} \quad (4.8)$$

PSM_1	-0,0006 m
PSM_2	0,0001 m
PSM_3	0,0003 m
PSM_4	-0,0010 m
PSM_5	-0,0010 m

Tabuľka 4.4 Čiastkové súčtové konštanty

m_{PSM_1}	0,0007 m
m_{PSM_2}	0,0008 m
m_{PSM_3}	0,0007 m
m_{PSM_4}	0,0006 m
m_{PSM_5}	0,0003 m

Tabuľka 4.5 Stredné chyby čiastkových PSM

PSM	-0,0004 m
m_{PSM}	0,0004 m

Tabuľka 4.6 Výsledná súčtová konštanta a jej stredná chyba

ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bola kontrola presnosti robotizovanej totálnej stanice s automatickým cielením na metrologickej kalibračnej základni FAST.

V prípravnej časti bola skontrolovaná presnosť merania zenitového uhlu na konkrétne odrazové hranoly, kde výsledné smerodajné odchýlky odpovedali presnosti udávanej výrobcom. Kontrola presnosti meraných dĺžok pre jednotlivé odrazové hranoly s rôznymi súčtovými konštantami preukázala správnosť hodnôt súčtových konštánt uvedených výrobcom.

V prvej časti práce bolo zamerané prevýšenie medzi trinástimi čapovými nivelačnými značkami metrologickej kalibračnej základni FAST. Prevýšenia boli zamerané na tri rozličné odrazové hranoly s pomocou automatického cielenia. Výsledné prevýšenia boli porovnané s referenčnými prevýšeniami, ktoré sme získali z presnej nivelácii na kalibračnej základni. Na základe dosiahnutých výsledkov sa najväčší rozdiel objavil pri použití odrazového hranola Trimble mini 360°, ktorý dosahoval rozdiely $-2,7$ mm až $-7,4$ mm. Dôvodom týchto odchýlok boli strmé zámery, pri ktorých totálna stanica mala problémy automaticky cieľiť na stred odrazového hranola. Ďalším dôvodom sú systematické chyby, ktoré vznikajú pri nepresnom natočení odrazového hranola do smeru zámery.

Druhá časť práce sa zaoberala meraním na kalibračnej základni BKom. Z nameraných hodnôt boli vypočítané stredné chyby zenitového uhlu, ktoré dosiahli hodnotu 18^{cc} v jednej polohe ďalekohľadu a 9^{cc} v dvoch polohách ďalekohľadu, čo je lepšia presnosť ako je udávaná výrobcom. Rozdiely v prevýšení medzi trigonometrickou metódou a presnou niveláciou nadobúdali hodnoty od $0,9$ mm do $-1,6$ mm. Ďalej bola vypočítaná súčtová konštanta a jej stredná chyba, kde výsledná hodnota zapadala do medznej odchýlky.

Výsledky získané z tejto práce môžu byť použité ako podklad pre ukážku presnosti meraných veličín pomocou automatického cielenia robotizovanej totálnej stanice Trimble S5 5“ DR+.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] VÁCLAV ČADA. Přednáškové texty z Geodézie: Kapitola 10. Výšky, jejich určování a referenční plochy. Katedra geomatiky, Fakulty aplikovaných věd, Západočeské univerzity v Plzni [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch10.html>
- [2] Absolutná výška, relatívna výška a prevýšenie. Katedra geomatiky, Fakulty aplikovaných věd, Západočeské univerzity v Plzni [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/Obrázky/Kapitola10/10x01-Typy.vysek.jpg>
- [3] VÁCLAV ČADA. Přednáškové texty z Geodézie: Kapitola 10. Výšky, jejich určování a referenční plochy. Katedra geomatiky, Fakulty aplikovaných věd, Západočeské univerzity v Plzni [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch11.html>
- [4] NEVOSÁD, Zdeněk, František SOUKUP a Josef VITÁSEK. *Geodézie II* [online]. Brno: VUTIUM, 1999 [cit. 2018-05-23]. ISBN 80-214-1475-8.
- [5] BITTERER, Ladislav. *Geodézia* [online]. V Žiline: Žilinská univerzita, 2008 [cit. 2018-05-23]. ISBN 978-80-8070-886-3. Dostupné z: <http://svf.uniza.sk/kgd/skripta/g1/kap07.pdf>
- [6] STANĚK, Vlastimil, Gabriela HOSTINOVÁ a Alojz KOPÁČIK. *Geodézia v stavebníctve*. Bratislava: Jaga group, 2007. ISBN 978-80-8076-048-9.
- [7] BUREŠ, Jiří a Eva VÁVROVÁ. K problematice přesnosti měření s využitím robotizovaných totálních stanic. In: , kolektiv autorov. *IPG 2013 VYTYČOVANIE A KONTROLNÉ MERANIE TECHNOLOGICKÝCH ZARIADENÍ*. Slovenská technická univerzita v Bratislave: Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU v Bratislave, 2013, s. 11 [cit. 2018-05-23]. ISBN 978 - 80 - 227 - 4032 - 6.
- [8] KYRINOVIČ, P. Výsledky testovania systému ATR prístroja Leica TS30. In: Aktuální problémy inženýrské geodézie 2012. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2012, s. 9. ISBN 978-80-02-02365-4
- [9] KYRINOVIČ, P. a M. ŠEFČÍK. Testovanie digitálneho nivelačného prístroja Trimble DiNi 12. In: *SKÚŠANIE A KALIBRÁCIA GEODETICKÝCH A FOTOGRAOMETRICKÝCH SYSTÉMOV* [online]. Slovenská technická univerzita v Bratislave: Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU v Bratislave, s. 8 [cit. 2018-05-24]. ISBN 978 - 80 - 227 - 3337 - 3.

- [10] Leica DNA03 Precise Digital Level. In: <https://www.nationaltoolhireshops.co.uk/product/leica-dna03-precise-digital-level-for-hire/>[online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.nationaltoolhireshops.co.uk/uploaded/thumbnails/leica_dna3_1214_400x400.jpg
- [11] *Technický popis totální stanice Trimble S5* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022516-153A-CZE_TrimbleS5_DS_0515_LR_Geotronics.pdf
- [12] *Leica Mini Prism Pin Pole Set - Basic* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.yorksurvey.co.uk/Files/125209/Img/24/z93-GMP111.jpg>
- [13] *Sliding 360° Pin Pole Prism Kit (Metric)* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.surveying.com/media/catalog/product/cache/1/image/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/o/r/original_5910-20_6_5.jpg
- [14] *Leica GPHIP Precision Prism* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://surveyequipment.com/media/catalog/product/cache/1/image/903be06a881aa18fc50d3dc96e8b9fba/1/e/leica-gph1p-prism-555631.jpg?1496767797>

ZOZNAM OBRÁZKOV, TABULIEK A GRAFOV

Obr.1.1 Absolútna výška, relatívna výška, prevýšenie [2].....	10
Obr. 1.2 Princíp geometrickej nivelácie.....	11
Obr. 1.3 Oprava zo zakrivenia Zeme [5].....	12
Obr. 1.4 Oprava z refrakcie [5].....	14
Obr. 3.1 Niveláčna značka kalibračnej základni FAST.....	17
Obr. 3.2 Ukážka digitálneho niveláčného prístroja Leica DNA03 [10]	18
Tabuľka 3.1 Technické parametre Leica DNA03	18
Obr. 3.3 Ukážka robotickej totálnej stanice Trimble S5.....	19
Obr. 3.4 Technické parametre totálnej stanice Trimble S5 [11].....	20
Obr. 3.7 Trimble mini hranol 360° [13].....	21
Obr. 3.5 Trimble monitorovací hranol.....	21
Obr. 3.6 Leica mini hranol GMP 111 Basic [12].....	21
Tabuľka. 3.2 Ukážka rozboru presnosti zenitového uhla pre mini hranol Leica	23
Tabuľka.3.3 Výsledné stredné chyby zenitového uhla pre konkrétne hranoly.....	23
Tabuľka 3.4 Nastavené hodnoty súčtových konštánt	24
Tabuľka 3.5 Porovnanie vodorovných dĺžok	24
Obr. 3.8 Ukážka merania prevýšenia pomocou monitorovacieho hranola na kalibračnej základni	26
Obr. 3.9 Ukážka časti záznamu z presnej nivelácie	26
Tabuľka 3.8 Prevýšenia merané na hranol Trimble mini 360°.....	27
Tabuľka 3.7 Prevýšenia merané na hranol Leica GMP 111.....	27
Tabuľka 3.6 Prevýšenia merané na monitorovací hranol.....	27
Graf 3.2 Zobrazenie rozdielov prevýšení merané hranolom Leica mini od PN.....	28
Graf 3.3 Znázornenie rozdielov prevýšení merané hranolom Trimble mini 360° od PN.....	28
Graf 3.1 Znázornenie rozdielov prevýšení merané monitorovacím hranolom od PN.....	28
Obr. 4.1 Ortofoto lokality kalibračnej základne.....	29
Obr. 4.2 Hranol Leica GPH1P [14].....	30
Obr. 4.3 Ukážka zápisníka registrovaných dát	32
Tabuľka 4.1 Smerodajné odchýlky v jednej polohe ďalekohľadu	33
Tabuľka 4.2 Smerodajné odchýlky v dvoch polohách ďalekohľadu.....	33
Tabuľka 4.3 Výsledné prevýšenia a rozdiely	34
Graf 2.1 Znázornenie rozdielov prevýšení merané trigonometricky od PN.....	35
Obr. 4.4 Ukážka merania na kalibračnej základni BKom.....	35
Tabuľka 4.4 Čiastkové súčtové konštanty.....	37
Tabuľka 4.5 Stredné chyby čiastkových PSM.....	37
Tabuľka 4.6 Výsledná súčtová konštant a jej stredná chyba	37

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha č. 1 Zápisník hodnôt kontrolných meraní
- Príloha č. 2 Zápisník hodnôt meraných na KZ FAST
- Príloha č. 3 Zápisník presnej nivelácie
- Príloha č. 4 Spracované hodnoty a tabuľky na KZ FAST
- Príloha č. 5 Zápisník hodnôt na KZ BKom
- Príloha č. 6 Spracované hodnoty a tabuľky na KZ BKom