



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie

Testování přesnosti automatického cílení totálních stanic Trimble S6 a S8

Testing of Trimble S6 and S8 total stations automatic targeting precision

Bakalářská práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D.

Hana Fládrová

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fládrová Jméno: Hana Osobní číslo: 423993
Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Testování přesnosti automatického cílení totálních stanic Trimble S6 a S8
Název bakalářské práce anglicky: Testing of Trimble S6 and S8 total stations automatic targeting precision
Pokyny pro vypracování:
Navrhněte, realizujte a vyhodnoťte experiment testujících přesnosti automatického cílení totálních stanic Trimble S6 a S8. Výsledky dosažené přístroji porovnejte.

Seznam doporučené literatury:
[1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22. 2. 2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 20. 5. 2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

22. 2. 2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně s výjimkou odborných konzultací s vedoucím práce. Veškerou použitou literaturu a zdroje uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

Hana Fládrová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Martinu Štronerovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a pomoc při měření a zpracování mé bakalářské práce.

A taktéž bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, za podporu a rady, nejen při tvorbě mé bakalářské práce, ale i po celou dobu studia.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je určit přesnost automatického cílení totálních stanic Trimble S6 a Trimble S8. V práci byly navrženy a provedeny dva experimentální postupy. Prvním byl experiment pro porovnání přesnosti manuálního a automatického měření pro délky záměr od 2 metrů do 100 metrů. Druhý experimentální postup byl založen na měření v geodetické mikrosítí. Výstupem z práce jsou směrodatné odchylky měření vodorovných směrů. Automatické měření se pro vybrané přístroje ukázalo jako přesnější.

Klíčová slova

totální stanice, automatické cílení, směrodatná odchylka, geodetická mikrosít', vyrovnání metodou nejmenších čtverců

Abstract

The goal of the thesis is to determine the accuracy of automatic targeting of total stations Trimble S6 and Trimble S8. At work were proposed and measured two experimental procedures. The first experiment was to compare the accuracy of manual and automatic measurement in length interval from 2 meters to 100 meters. The second experimental procedure was based on the automatic measurements in the micronetwork. The output of the thesis are standard deviations of measuring horizontal directions. Automatic measurement for selected devices was proved more accurate.

Keywords

total station, automatic targeting, standard deviation, micronetwork, least square adjustment

Obsah

1 ÚVOD	9
2 PŘÍSTROJE A POMŮCKY	10
2.1 Totální stanice Trimble S6.....	10
2.1.1 Parametry přístroje	10
2.2 Totální stanice Trimble S8.....	13
2.2.1 Parametry přístroje	14
2.3 Totální stanice Leica Nova TS60	17
2.3.1 Parametry přístroje	17
2.4 Pomůcky při testování.....	19
2.4.1 Trojnožka.....	19
2.4.2 Trn.....	20
2.4.3 Minihranol	20
2.4.4 Odrazný hranol	21
3 TESTY TOTÁLNÍCH STANIC	22
3.1 Experiment I – porovnání přesnosti automatického cílení s optickým.....	22
3.1.1 Základna v laboratoři	23
3.1.2 Venkovní dočasná základna	24
3.2 Experiment II – automatické měření v síti.....	26
3.2.1 Síť v laboratoři – menší.....	26
3.2.2 Síť v laboratoři – větší.....	28
3.2.3 Síť před budou FSv	28
4 VYHODNOCENÍ	30
4.1 Porovnání automatického cílení s optickým	30
4.1.1 Výsledky z laboratorní základny – Trimble S6	30
4.1.2 Výsledky z laboratorní základny – Trimble S8	35
4.1.3 Výsledky z venkovní dočasné základny – Trimble S6	39
4.1.4 Výsledky z venkovní dočasné základny – Trimble S8	44
4.1.5 Zhodnocení testů na základnách.....	49

4.1.6 Porovnání automatického cílení mezi odrazným hranolem a minihranolem.....	49
4.2 Experimentální měření v síti	51
4.2.1 Výsledky laboratoř – malá síť	52
4.2.2 Výsledky laboratoř – velká síť	53
4.2.2 Výsledky venkovní sítě.....	54
4.2.3 Zhodnocení sítí	55
5 ZÁVĚR.....	56
Seznam tabulek	57
Seznam obrázků.....	59
Literatura.....	61
Seznam elektronických příloh	62

1 Úvod

Moderní totální stanice nabízejí uživatelsky široké množství funkcí, které mají za úkol zpřesnit a zjednodušit postupy měření. Nejrozšířenější pokročilou funkcí je automatické měření robotizovaných totálních stanic. Výrobci uvádějí, že přesnost automatického měření je stejná jako přesnost manuálního měření. Automatické měření je ovšem délkově omezeno.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na určení přesnosti automatického měření na klasické odrazné minihranoly. Pro testování byly vybrány tři totální stanice – Trimble S6 a S8 a Leica Nova TS60. Hlavní část experimentů byla soustředěna na přístroje Trimble. Přesnost měření byla zkoumána v intervalu délek 1,8 metru až 100 metrů.

V bakalářské práci byly navrženy a realizovány dva experimentální postupy. První experiment byl zaměřen na porovnání přesnosti automatického a manuálního měření. Experiment probíhal na základnách, kde byly dva cíle a přístroj byl vzdálen stejně od obou cílů. Druhý experiment byl zaměřen na určení přesnosti automatického měření v mikrosítích. Cílem všech experimentů bylo určit, která metoda je přesnější a zda má vzdálenost vliv na přesnost měření.

2 Přístroje a pomůcky

Pro testování byly použity celkem tři totální stanice disponující funkcí automatického cílení a to Trimble S6 a S8 ve vlastnictví Katedry speciální geodézie a také Leica TS60 zapůjčená společností Inset s.r.o. Tato totální stanice nebyla k dispozici po celou dobu měření, a proto byla použita pouze v druhém testu.

2.1 Totální stanice Trimble S6

Pro testování byla využita totální stanice Trimble S6 – High Precision (výrobní číslo: 92120086), (Obr. 1), kterou vlastní Katedra speciální geodézie.



Obr. 1 - Totální stanice Trimble S6

2.1.1 Parametry přístroje

Základní parametry testované totální stanice Trimble S6 jsou uvedeny dále, tyto údaje byly převzaty z [1].

Měření úhlů

Přesnost (směrodatná odchylka podle DIN 18723)	1" (0,3 mgon)
Čtení úhlů (nejmenší dílek)	
Standard	1" (0,1 mgon)
Tracking	2" (0,5 mgon)
Aritmetický průměr	0,1" (0,01 mgon)
Automatický kompenzátor	Dvouosý v rozsahu $\pm 6'$ (± 100 mgon)

Měření délek

Přesnost (směrodatná odchylka)

Na hranol

Standard	$\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$
Tracking	$\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Direct Reflex

Standard	$\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$
Tracking	$\pm (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Doba měření

Na hranol

Standard	2 s
Tracking	0,4 s
Aritmetický průměr	2 s na jedno měření

Direct Reflex

Standard	3 s – 15 s
Tracking	0,4 s
Aritmetický průměr	3 s – 15 s na jedno měření

Dosah měření

Na hranol

1 hranol	3000 m
1 hranol Long Range mód	5000 m
3 hranoly	5000 m
3 hranoly Long Range mód	7000 m
Nejkratší měřitelná délka na hranol	1,5 m

Horizontace

Krabicová libela v trojnožce	8' / 2 mm
Elektronická dvouosá libela na displeji s citlivostí	0,3'' (0,1 mgon)

Centrace

Systém centrace	Trimble trojnožka, 3 trny
Optický centrovač	vestavěný
Zvětšení/Rozsah zaostření	2,3x/0,5 m-nekonečno

Dalekohled

Zvětšení	30x
Světelnost objektivu	40 mm
Zorné pole na 100 m	2,6 m
Rozsah ostření	1,5 m – nekonečno
Osvětlení nitkového kříže	nastavitelné v 10 krocích

Vestavěné vytyčovací světlo	Standardně
Provozní teplota	-20 °C až + 50 °C
Odolnost proti prachu a vodě	IP55
Rychlost rotace	115 stupňů/sekundu (128 gon/s)
Čas k proložení z první do druhé polohy	3,2 s
Rychlost nastavení do polohy o 180 stupňů (200 gon)	3,2 s
Ustanovky a jemný pohyb	Servo pohon, nekonečné jemné ustanovky

Zdroj napětí

Vnitřní baterie	Dobíjecí Li-Ion baterie, 11,1 V, 4,4 Ah
-----------------------	---

Doba provozu

Jedna vnitřní baterie	Přibližně 6 hodin
Tři vnitřní baterie v držáku	Přibližně 18 hodin
Držák pro Robotic s jednou vnitřní baterií	12 hodin

Robotizované měření

Dosah

Robotic	500 – 700 m
Autolock	500 – 700 m

Nejkratší vzdálenost pro vyhledávání 0,2 m

Přesnost automatického cílení na 200 m (směrodatná odchylka) < 2 mm

Čtení úhlů (nejmenší dílek)

Standard	1“ (0,1 mgon)
Tracking	2“ (0,5 mgon)
Aritmetický průměr	0,1“ (0,01 mgon)

Typ rádiodemů vnitřní/externí širokopásmový 2,4 GHz,
rádiodem s automatickou volbou frekvence

Čas hledání (typicky) 2 s – 10 s

Více lze nalézt v [1].

2.2 Totální stanice Trimble S8

Pro testování byla využita totální stanice Trimble S8 – High Precision (výrobní číslo: 98111877), (Obr. 2), kterou vlastní Katedra speciální geodézie. Totální stanice Trimble S8 je následovníkem totální stanice Trimble S6, vyznačuje se modernizovaným dálkoměrem a vylepšenými funkcemi.

Trimble S8 je vyráběn ve více konfiguracích, použita byla:

Trimble S8 1“ DR HP, Fine Lock – totální stanice určená pro monitoring deformací, automatické cílení Fine Lock do 700 m.



Obr. 2 - Totální stanice Trimble S8

2.2.1 Parametry přístroje

V této části jsou uvedeny základní parametry testované totální stanice Trimble S8 (dle [2]).

Měření úhlů

Přesnost (směrodatná odchylka podle DIN 18723)	1" (0,3 mgon)
Čtení úhlů (nejmenší dílek)	
Standard	1" (0,1 mgon)
Tracking	2" (0,5 mgon)
Aritmetický průměr	0,1" (0,01 mgon)
Automatický kompenzátor	Dvouosý v rozsahu $\pm 6'$ (± 100 mgon)

Měření délek

Přesnost (směrodatná odchylka)

Na hranol

Standard	$\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$
Tracking	$\pm (5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Direct Reflex

Standard	$\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$
Tracking	$\pm (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Doba měření

Na hranol

Standard	2 s
Tracking	0,4 s
Aritmetický průměr	2 s na jedno měření

Direct Reflex

Standard	3 s – 15 s
Tracking	0,4 s
Aritmetický průměr	3 s – 15 s na jedno měření

Dosah měření

Na hranol

1 hranol	3000 m
1 hranol Long Range mód	5000 m
3 hranoly	5000 m
3 hranoly Long Range mód	7000 m
Nejkratší měřitelná délka na hranol	1,5 m

Centrace

Systém centrace	Trimble trojnožka, 3 trny
Optický centrovač	vestavěný
Zvětšení/Rozsah zaostření	2,3x/0,5 m-nekonečno

Horizontace

Krabicová libela v trojnožce	8'/2 mm
Elektronická dvouosá libela na displeji s citlivostí	0,3'' (0,1 mgon)

Dalekohled

Zvětšení	30x
Světelnost objektivu	40 mm
Zorné pole na 100 m	2,6 m

Rozsah ostření	1,5 m – nekonečno
Osvětlení nitkového kříže	nastavitelné v 10 krocích
Vestavěné vytyčovací světlo	Standardně
Provozní teplota	-20 °C až + 50 °C
Odolnost proti prachu a vodě	IP55
Rychlost rotace	115 stupňů/sekundu (128 gon/s)
Čas k proložení z první do druhé polohy	3,2 s
Rychlost nastavení do polohy o 180 stupňů (200 gon)	3,2 s
Ustanovky a jemný pohyb	Servo pohon, nekonečné jemné ustanovky

Zdroj napětí

Vnitřní baterie Dobíjecí Li-Ion baterie, 11,1 V, 4,4 Ah

Doba provozu

Jedna vnitřní baterie Přibližně 6 hodin

Tři vnitřní baterie v držáku Přibližně 18 hodin

Držák pro Robotic s jednou vnitřní baterií 13 hodin

Robotizované měření

Dosah

Robotic 500 – 700 m

Autolock 500 – 700 m

Na cíl Trimble MultiTrack 800 m

Čas hledání (typicky) 2 – 10 s

Nejkratší vzdálenost pro vyhledávání 0,2 m

Přesnost automatického cílení na 200 m (směrodatná odchylka) < 2 mm

Čtení úhlů (nejmenší dílek)

Standard 1“ (0,1 mgon)

Tracking 2“ (0,5 mgon)

Aritmetický průměr 0,1“ (0,01 mgon)

Podrobnější informace uvedeny v [2].

2.3 Totální stanice Leica Nova TS60

Pro testování byla využita totální stanice Leica Nova TS60 (výrobní číslo: 882412), (Obr. 3), která byla zapůjčena Katedře speciální geodézie od společnosti Inset s.r.o.



Obr. 3 - Leica Nova TS60

2.3.1 Parametry přístroje

V této části jsou uvedeny základní parametry testované totální stanice Leica Nova TS60. Tyto údaje byly převzaty z [3].

Měření úhlů

Přesnost (směrodatná odchylka podle ISO 17123-3) 0,5" (0,15 mgon)

Měření délek

Přesnost (směrodatná odchylka)

Na hranol $\pm (0,6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$

Libovolný povrch $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

Dosah měření

Na hranol	3500 m
Bez hranolu / Libovolný povrch	1000 m
Nejkratší měřitelná délka na hranol	1,5 m

Doba měření

Na hranol	2,4 s
Libovolný povrch	3 s

Velikost laserové stopy na 50 m 8 mm x 20 mm

Dalekohled

Zvětšení	30x
Rozsah ostření	1,7 m – nekonečno

Rychlost rotace 200 gon/s

Čas k proložení z první do druhé polohy 2,9 s

Snímkování – přehledová a dalekohledová kamera

Senzor	5 megapixel CMOS
Zorné pole	19,4 ° / 1,5 °
Frekvence snímků	Až 20 snímků za vteřinu

Automatické docilování – ATRplus

Dosah docilování

Kulatý hranol	1500 m
360 ° hranol	1000 m

Dosah sledování

Kulatý hranol	1000 m
360 ° hranol	1000 m

Přesnost – ATRplus úhlová přesnost 0,5“ (0,15 mgon)

Čas měření (typicky) 3 - 4 s

Powersearch

Dosah – 360° hranol	300 m
Čas hledání (typicky)	5 s

Naváděcí světla

Pracovní rozsah	5 m – 150 m
Přesnost (typicky)	5 cm na 100 m

Obecné

Polní software	Leica Captivate s aplikacemi
Ovládání	3x nekonečná ustanovka, 1x jemné ostření, 2x tlačítko ostření
Napájení	Vyjímatelná Lithium-Ion baterie
Doba provozu.....	Přibližně 7 - 9 hodin
Provozní teplota	-20 °C až + 50 °C
Odolnost proti prachu a vodě	IP65

2.4 Pomůcky při testování

Kromě totálních stanic bylo nutné použít další pomůcky. Konkrétně to byly trojnožky, trny a odrazné hranoly od společnosti Leica. Pro postavení přístrojů byly využívány klasické stativy, těžké pilířové trojnožky a nucené centrace na pilířích. Popis hlavních pomůcek spolu s parametry bude uveden dále.

2.4.1 Trojnožka

Trojnožka patří mezi jednu z nejpoužívanějších pomůcek při měření. Pro tuto práci byla zvolena trojnožka z řady Basic – GDF111-1 od společnosti Leica (Obr. 4). Tato trojnožka nemá optický centrovač [4].



Obr. 4 – Trojnožka GDF111-1

2.4.2 Trn

Do trojnožky byl usazován trn GRT144 Basic od společnosti Leica (Obr. 5). Je to trn s bajonetem, který je vhodný pro hranol nebo anténu GPS. Přesnost centrace hranolu: 1 mm [4].



Obr. 5 – Trn GRT144 Basic

2.4.3 Minihranol

Odrazné hranoly patří mezi nejčastěji využívané cílové prvky, které jsou vyráběny z kvalitního odrazného skla. Proto byl pro měření experimentů využit minihranol GMP101,

který je vhodný pro přesná měření na kratší vzdálenosti. Je upevněn v kovovém držáku. Konstanta hranolu je +17,5 mm pro přístroje Leica a -16,9 mm pro přístroje Trimble. Dosah: 2000 m (Obr. 6) [5].



Obr. 6 – Minihranol GMP101

2.4.4 Odrazný hranol

Pro porovnání s odrazným hranolem Miniprism GMP101 byl zvolen odrazný kulový hranol GPR121. Tento odrazný hranol s antireflexní úpravou je upevněn v kovovém držáku. Konstanta hranolu: 0,0 mm. Přesnost centrace: 1 mm. Dosah: 3500 m (Obr. 7) [6].



Obr. 7 – Odrazný hranol GPR121

3 Testy totálních stanic

V této kapitole budou podrobně popsány experimenty, které byly provedeny. První experiment byl zaměřen na určení přesnosti automatického cílení totální stanice a porovnání s přesností optického cílení, určeného stejným postupem. Tento experiment byl proveden ve sklepní geodetické laboratoři B-028 a před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze (FSv). Druhý experiment byl zaměřen na určení dosažitelné přesnosti automatického měření směrů a úhlů v geodetických sítích. Vzhledem k předpokladu, že tato přesnost se bude vyvíjet v závislosti na délce záměr, byly celkem použity tři sítě. Dvě z nich byly realizovány ve sklepní geodetické laboratoři B-028 a třetí byla realizována před budovou FSv.

3.1 Experiment I – porovnání přesnosti automatického cílení s optickým

Cílem experimentu bylo měřit vodorovné směry a zenitové úhly na dva body postupně v různých vzdálenostech a určit a porovnat přesnost manuálního a automatického cílení. Byly navrženy dvě základny. První laboratorní s délkami záměr 1,8 m až 18 m, druhá byla realizována v terénu s délkami záměr 20 m až 100 m. Tento experiment byl proveden pouze s totálními stanicemi Trimble S6 a Trimble S8, v době měření nebyla TS60 k dispozici.

Testovací základna byla tvořena dvěma cíli a totální stanicí, která byla umístěna na ose spojnice mezi těmito body. Měření probíhalo ve 25 skupinách. Nejprve bylo provedeno optické měření a to v pořadí levý cíl v první poloze, pravý cíl v první poloze, pravý cíl v druhé poloze, levý cíl v druhé poloze. Následně bylo provedeno automatické měření ve stejném pořadí. Z výsledků měření byly určovány směrodatné odchylky pro jednotlivé směry, zenitové úhly a vodorovný úhel.

Počet opakování měření byl stanoven na základě úvahy o hodnotě směrodatné odchylky výběrové směrodatné odchylky měřeného parametru s_s , která je dána vztahem [7]:

$$s_s = \frac{s}{\sqrt{2 \cdot (n-1)}}, \quad (1)$$

kde s směrodatná odchylka vyjadřující přesnost měření parametru,
 n rozsah souboru.

Základní podmínka byla zvolena tak, že směrodatná odchylka s_s smí nabývat maximálně 15% hodnoty směrodatné odchylky s . Na základě této podmínky byl rozsah náhodných výběrů stanoven:

$$s \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot (n-1)}} = 0,15 \cdot s \Rightarrow n = 24. \quad (2)$$

Počet opakování 25 byl zvolen na doporučení vedoucího práce.

3.1.1 Základna v laboratoři

Byla využita pilířová základna ve sklepní geodetické laboratoři B-028 na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Trojnožky s odraznými hranoly byly umístěny po celou dobu experimentu na těžkých stabilizačních trojnožkách. Stabilizační trojnožky byly postaveny na dvou pilířích (Obr. 8). Vzdálenost mezi body byla 1,63 m. Odrazné hranoly byly zhruba umístěny ve stejné výšce. Totální stanice byly postupně umísťovány na čtyři pilíře s nucenými centracemi. Na každém pilíři bylo nejprve měřeno totální stanicí Trimble S6, která byla následně vyjmuta z trojnožky a nahrazena přístrojem Trimble S8. Následovalo měření touto totální stanicí. Délky mezi jednotlivými pilíři a body byly: 1,8 m, 4,2 m, 9,2 m a 18 m.



Obr. 8 – Stabilizační trojnožky s odraznými hranoly

3.1.2 Venkovní dočasná základna

V parku před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze byla realizována venkovní testovací základna (Obr. 9). Odrazné hranoly byly umístěny na stativích ve vzájemné vzdálenosti 8,4 m přibližně ve stejné výšce. Totální stanice byly umístěny na stativu, který byl postupně postaven na pěti stanoviscích ve vzdálenostech 100 m, 80 m, 60 m, 40 m a 20 m. Délka základny byla rozměřována ručním elektro-optickým dálkoměrem od společnosti TruPulse. Přesnost rozměření byla do půl metru od požadované vzdálenosti. Na každém stanovisku bylo nejprve měřeno totální stanicí Trimble S6, která byla následně vyjmuta z trojnožky a nahrazena přístrojem Trimble S8. Následovalo měření touto totální stanicí.

Pro vzdálenost 20 metrů bylo provedeno testování i na odrazné hranoly GPR121 (Obr. 10). Test byl zvolen za účelem porovnání automatického cílení mezi těmito hranoly a minihranoly (Obr. 11) vzhledem k jejich rozdílné velikosti.



Obr. 9 – Venkovní dočasná základna



Obr. 10 – Odravný hranol GPR121 na základně před budovou FSv



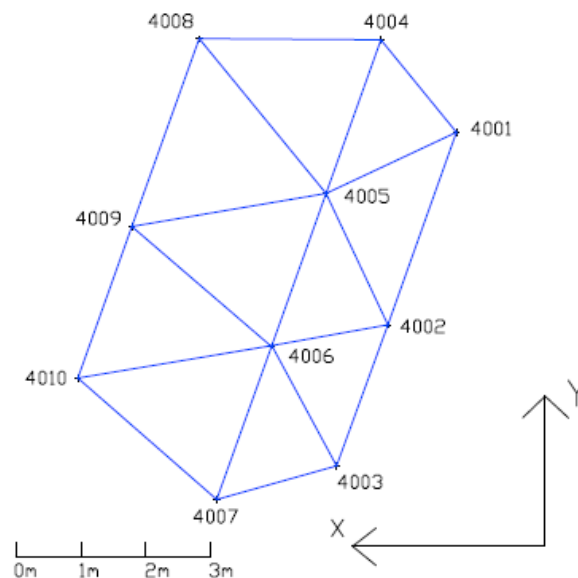
Obr. 11 – Odravný mini hranol GMP101 na základně před budovou FSv

3.2 Experiment II – automatické měření v síti

Cílem experimentu bylo provést měření v geodetické mikrosíti a určit dosažitelnou přesnost měření vodorovných směrů. Měření byla realizována ze všech stanovisek na všechny sousední body, aby byla dodržena alespoň přibližně stejná délka záměr. Vzhledem k pracnosti měření bylo po dohodě s vedoucím práce prováděno pouze automatické měření ve třech skupinách. Výsledky měření byly zpracovány v programu GNU Gama [8]. Vyrovnaním byly určeny reálné směrodatné odchylky automatického měření.

3.2.1 Síť v laboratoři – menší

Geodetická mikrosít' byla realizována v laboratoři B-028. Síť obsahovala deset bodů (Obr. 12), které byly rozmístěny ve třech řadách. Prostřední řada byla tvořena čtyřmi body na pilířích s nucenými centracemi (Obr. 13). Krajní řady byly tvořeny třemi body. Řada na základně s interferometrem byla tvořena speciální úchytem (Obr. 14). Protější řada byla stabilizována těžkými pilířovými trojnožkami postavenými na pilířích. Body byly rozmístěny tak, aby tvořily co nejlépe rovnostranné trojúhelníky. Délky záměr v trojúhelnících byly 1,8 m až 3,1 m. Tato síť byla změřena totálními stanicemi Trimble S6 a S8. Na každém stanovisku byla prováděna okamžitá výměna přístrojů, aby se minimalizovaly chyby opakovaného umístění cílů.



Obr. 12 – Malá laboratorní síť



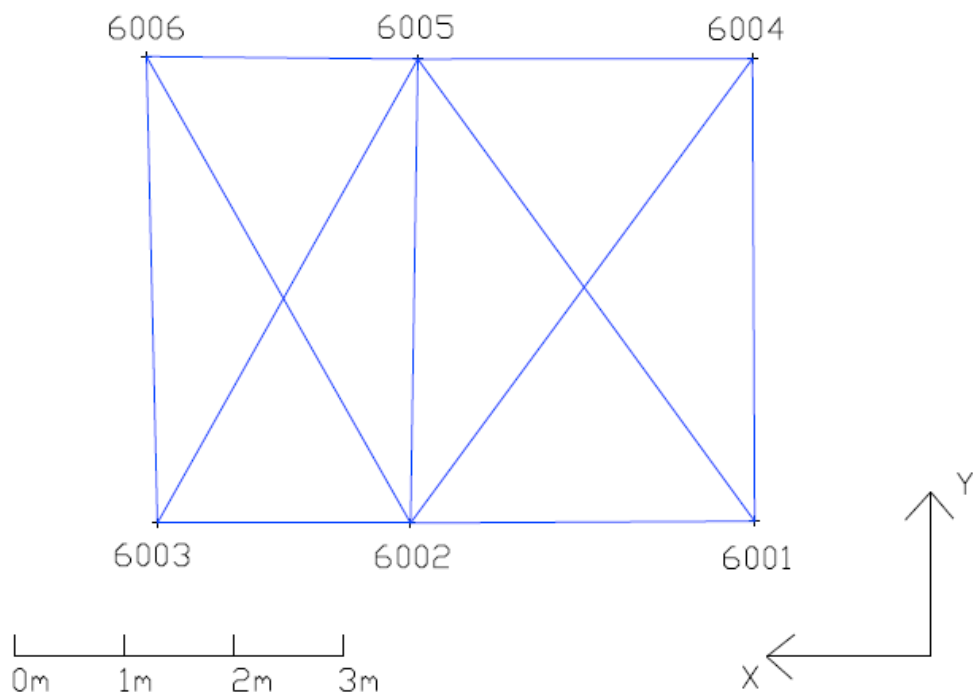
Obr. 13 – Malá laboratorní síť



Obr. 14 – Speciální uchycení na základně interferometru

3.2.2 Síť v laboratoři – větší

Geodetická mikrosíť byla realizována v laboratoři B-028. Síť obsahovala šest bodů (Obr. 15), které byly rozmístěny ve dvou řadách (byly využity krajní řady z malé laboratorní sítě). Délky záměr v trojúhelnících byly 2,3 m až 5,3 m. Tato síť byla určena přístroji Trimble S6 a S8. Na každém stanovisku byla prováděna okamžitá výměna přístrojů, aby se minimalizovaly chyby opakovaného umístění cílů.



Obr. 15 – Velká laboratorní síť

3.2.3 Síť před budou FSv

V prostoru před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze byla navržena síť ve tvaru pětiúhelníku. Síť byla tvořena šesti stanovisky, pěti po obvodu a jedním centrálním (Obr. 16 a Obr. 17). Stavivky byly rozmístěny tak, aby tvořily rovnostranné trojúhelníky o délce strany 30 metrů. Stavivky byly pečlivě postaveny a byla provedena temperace cca 1 hodinu. Na stativech byly urovnány trojnožky pomocí přesného trnu s trubicovou libelou GZR3 od společnosti Leica.

Měření bylo provedeno totálními stanicemi Trimble S6, S8 a Leica Nova TS60. Síť byla zaměřována postupně dvakrát. Po jednom proměření celé sítě ze všech šesti stanovisek,

bylo provedeno opakované zaměření. Začátek měření byl na bodě 3001 (střed). Poté pokračovalo měření postupně přes body 3002 až 3006. Síť byla zaměřena každou totální stanicí odděleně.

Měření proběhlo ve dvou dnech. První měření probíhalo dne 18. března 2016 od 9 h ráno do 15 h odpoledne za slunečného počasí. Druhé měření probíhalo dne 1. května 2016 od 14 h do 20 h za zataženého počasí. Stativy nebyly během měření stíněny.



Obr. 16 – Síť před budovou FSv



Obr. 17 – Síť před budovou FSv

4 Vyhodnocení

V této části jsou uvedeny výsledky experimentů. Z měření na základnách byly určeny výběrové směrodatné odchylky optického a automatického cílení totálních stanic a byly porovnány výsledné měřené hodnoty. Z experimentálních měření v síti jsou uvedeny určené směrodatné odchylky automatického měření.

4.1 Porovnání automatického cílení s optickým

Navržené experimenty byly provedeny za účelem zjištění, zda při použití automatického nebo ručního cílení na velmi krátké vzdálenosti, lze získat srovnatelnou přesnost nebo zda je jeden ze způsobů přesnější.

Při měření na základně se dvěma body byly sledovány hodnoty měřeného vodorovného směru a zenitového úhlu. U vodorovných směrů byly posuzovány zvláště hodnoty z první polohy dalekohledu, z druhé polohy dalekohledu a výsledný směr. Z výsledných vodorovných směrů byly určovány vodorovné úhly. U zenitových úhlů byly posuzovány zvláště hodnoty z první a druhé polohy dalekohledu a výsledný zenitový úhel. Pro každou zkoumanou veličinu byl vyhodnocován aritmetický průměr (3) a výběrová směrodatná odchylka (4):

$$\bar{x} = \frac{x_i}{n}, \quad (3)$$

$$S_x^- = \sqrt{\frac{[v \cdot v]}{n-1}}, \quad (4)$$

kde: x_i - naměřená hodnota,
 n - počet měřených hodnot,
 v - oprava od průměru \bar{x} .

4.1.1 Výsledky z laboratorní základny – Trimble S6

V Tab. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných směrů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 2. V Tab. 3 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky měření vodorovného směru pro ruční i automatické cílení. Z výsledků

vyplývá, že se vzrůstající vzdáleností se hodnoty výběrových směrodatných odchylek zmenšují pro oba typy cílení. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného směru vyplývá, že automatické cílení je přesnější na všech vzdálenostech, kromě nejkratší záměry (1,8 m), (Obr. 18). Z porovnání hodnot měřených směrů vyplývá, že výsledný směr je pro oba dva typy cílení stejný. Rozdíly mezi typy cílení v jednotlivých polohách budou způsobeny systematickou chybou automatického cílení, které cílí v první poloze doleva na hranolu, v druhé poloze doprava.

Tabulka 1 – Vodorovné směry – Trimble S6

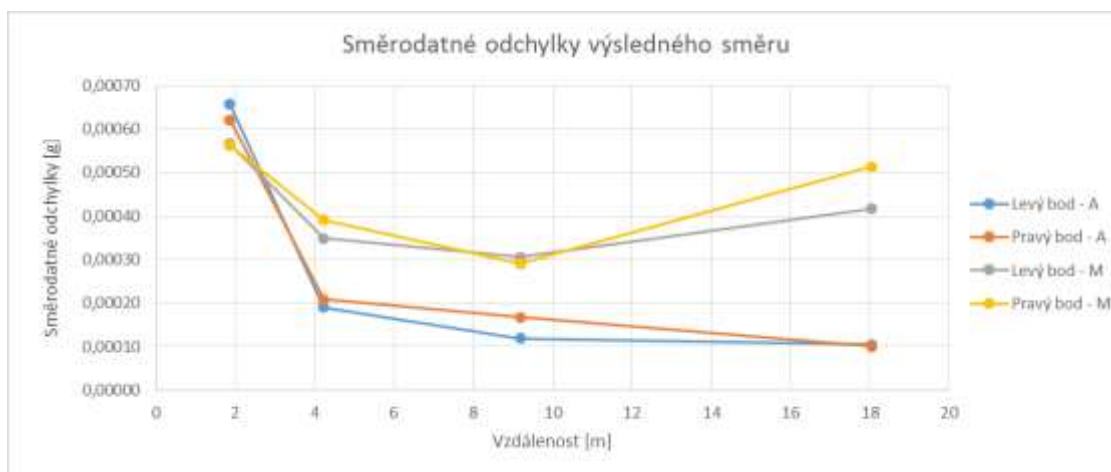
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
1,86	Levý	1,5880	1,5687	201,5967	201,6145	1,5924	1,5916
	Pravý	59,3850	59,3667	259,3929	259,4129	59,3890	59,3898
4,23	Levý	0,5512	0,5458	200,5554	200,5594	0,5533	0,5526
	Pravý	25,1733	25,1669	225,1766	225,1839	25,1749	25,1754
9,19	Levý	0,1401	0,1378	200,1423	200,1438	0,1412	0,1408
	Pravý	11,4325	11,4302	211,4343	211,4372	11,4334	11,4337
18,04	Levý	0,0955	0,0947	200,0967	200,0974	0,0961	0,0961
	Pravý	5,8460	5,8444	205,8471	205,8478	5,8466	5,8461

Tabulka 2 – Rozdíly vodorovných směrů určených manuálně a automaticky – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný směr [gon]
1,86	Levý	0,0193	-0,0178	0,0008
	Pravý	0,0183	-0,0200	-0,0008
4,23	Levý	0,0054	-0,0040	0,0007
	Pravý	0,0064	-0,0073	-0,0005
9,19	Levý	0,0023	-0,0015	0,0004
	Pravý	0,0023	-0,0029	-0,0003
18,04	Levý	0,0008	-0,0007	0,0000
	Pravý	0,0016	-0,0007	0,0005

Tabulka 3 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	Levý	0,72	1,48	0,66	1,49	0,57	0,66
	Pravý	0,79	1,53	0,76	1,18	0,56	0,62
4,23	Levý	0,62	0,55	0,45	0,62	0,35	0,19
	Pravý	0,53	0,51	0,55	0,56	0,39	0,21
9,19	Levý	0,41	0,56	0,79	0,58	0,31	0,12
	Pravý	0,47	0,95	0,43	0,88	0,29	0,17
18,04	Levý	0,46	0,21	0,69	0,18	0,42	0,11
	Pravý	0,92	0,24	0,57	0,24	0,51	0,10



Obr. 18 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty zenitových úhlů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 5. V Tab. 6 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky měření zenitového úhlu pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že se vzrůstající vzdáleností se hodnoty výběrových směrodatných odchylek zmenšují pro oba typy cílení. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného zenitového úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější od vzdálenosti 4,2 m (Obr. 19). Z porovnání hodnot měřených zenitových úhlů vyplývá, že výsledný zenitový úhel je pro oba dva typy cílení stejný. Z porovnání jednotlivých poloh nelze usoudit na systematickou chybu jako u vodorovných směrů.

Tabulka 4 – Zenitové úhly – Trimble S6

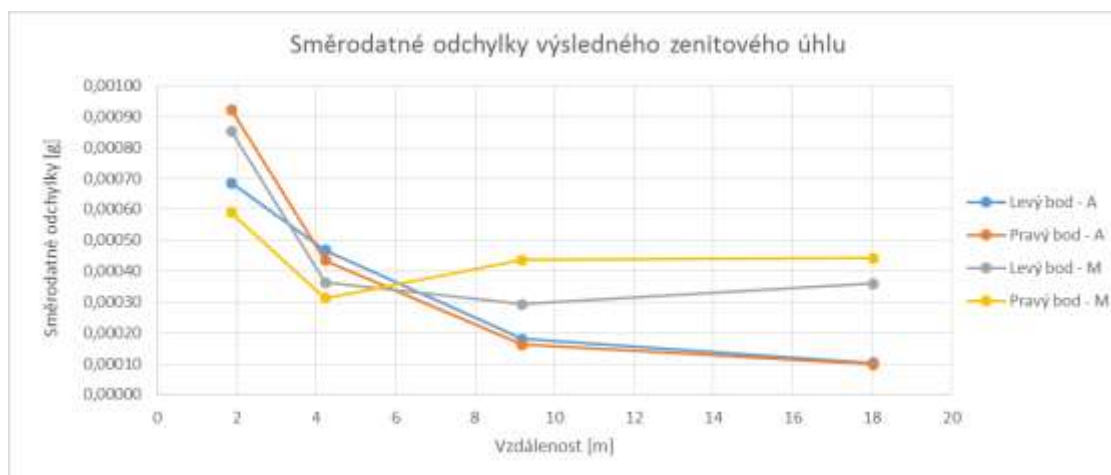
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
1,86	Levý	95,9965	95,9869	304,0011	303,9935	95,9977	95,9967
	Pravý	95,8652	95,8561	304,1328	304,1239	95,8662	95,8661
4,23	Levý	98,3510	98,3546	301,6482	301,6510	98,3514	98,3518
	Pravý	98,2678	98,2697	301,7312	301,7325	98,2683	98,2686
9,19	Levý	99,2065	99,2051	300,7940	300,7931	99,2062	99,2060
	Pravý	99,1646	99,1637	300,8352	300,8349	99,1647	99,1644
18,04	Levý	99,6692	99,6680	300,3300	300,3303	99,6696	99,6689
	Pravý	99,6470	99,6462	300,3518	300,3526	99,6476	99,6468

Tabulka 5 – Rozdíly zenitových úhlů určených manuálně a automaticky – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný úhel [gon]
1,86	Levý	0,0096	0,0076	0,0010
	Pravý	0,0091	0,0089	0,0001
4,23	Levý	-0,0036	-0,0028	-0,0004
	Pravý	-0,0019	-0,0013	-0,0003
9,19	Levý	0,0014	0,0009	0,0002
	Pravý	0,0009	0,0003	0,0003
18,04	Levý	0,0012	-0,0003	0,0007
	Pravý	0,0008	-0,0008	0,0008

Tabulka 6 – Výběrové směrodatné odchytky pro zenitové úhly – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	Levý	1,25	1,47	0,99	0,99	0,85	0,69
	Pravý	0,86	1,56	0,61	1,44	0,59	0,92
4,23	Levý	0,64	1,30	0,55	1,40	0,36	0,47
	Pravý	0,47	1,12	0,49	1,21	0,31	0,43
9,19	Levý	0,38	0,97	0,43	0,94	0,29	0,18
	Pravý	0,54	0,96	0,48	0,93	0,44	0,16
18,04	Levý	0,68	0,31	0,53	0,30	0,36	0,10
	Pravý	0,73	0,43	0,74	0,39	0,44	0,10



Obr. 19 – Směrodatné odchytky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných úhlů a jejich výběrové směrodatné odchytky pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že oba dva způsoby cílení poskytují srovnatelné výsledky. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek vý-

sledného vodorovného úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější od vzdálenosti 4,2 m (Obr. 20).

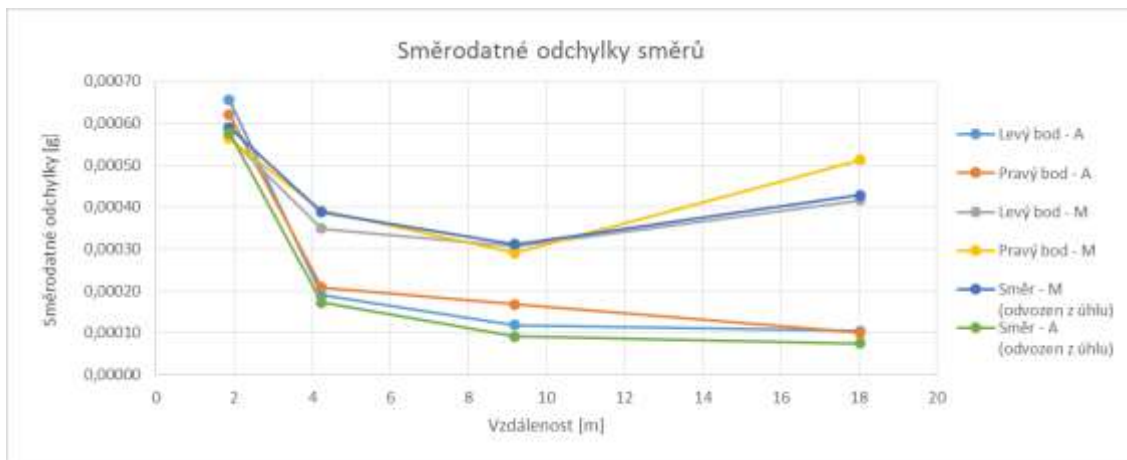
Tabulka 7 – Vodorovné úhly – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Úhel - cílení			Výběrová směrodatná odchylka - cílení	
	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Rozdíl [gon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	57,7966	57,7974	-0,0008	0,84	0,82
4,23	24,6216	24,6228	-0,0012	0,55	0,24
9,19	11,2922	11,2929	-0,0007	0,44	0,13
18,04	5,7505	5,7500	0,0005	0,61	0,11



Obr. 20 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu

V Obr. 21 jsou zobrazeny výběrové směrodatné odchylky pro samostatně měřené směry a směrodatné odchylky odvozené z výběrových směrodatných odchylek úhlů. Z grafu plyne, že hodnoty konvergují a automatické měření je přesnější kromě vzdálenosti 1,8 m.



Obr. 21 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení)

4.1.2 Výsledky z laboratorní základny – Trimble S8

V Tab. 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných směrů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 9. V Tab. 10 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky měření vodorovného směru pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že se vzrůstající vzdáleností se hodnoty výběrových směrodatných odchylek zmenšují, zejména pro automatické cílení. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného směru vyplývá, že automatické cílení je přesnější na všech vzdálenostech, kromě nejkratší záměry (1,8 m), (Obr. 22). Z porovnání hodnot měřených směrů vyplývá, že výsledný směr je pro oba dva typy cílení stejný. Rozdíly mezi typy cílení v jednotlivých polohách budou způsobeny systematickou chybou automatického cílení, které cílí v první poloze doleva na hranolu, v druhé poloze doprava.

Tabulka 8 – Vodorovné směry – Trimble S8

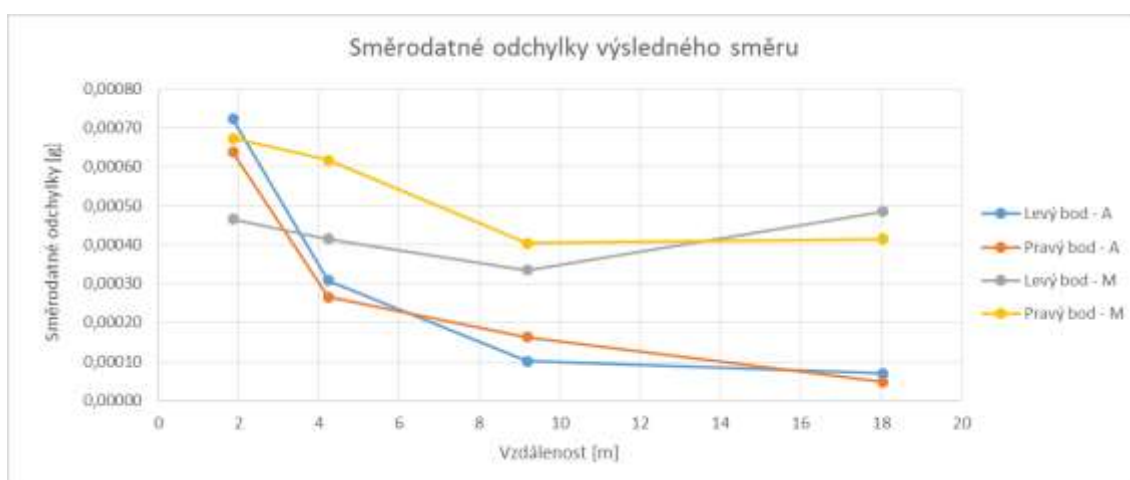
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
1,86	Levý	1,1849	1,1781	201,1873	201,1909	1,1861	1,1845
	Pravý	58,9829	58,9785	258,9840	258,9903	58,9834	58,9844
4,23	Levý	0,6095	0,6083	200,6104	200,6106	0,6100	0,6094
	Pravý	25,2321	25,2330	225,2324	225,2331	25,2322	25,2330
9,19	Levý	0,2114	0,2100	200,2127	200,2132	0,2120	0,2116
	Pravý	11,5039	11,5035	211,5047	211,5058	11,5043	11,5046
18,04	Levý	0,0935	0,0918	200,0942	200,0956	0,0939	0,0937
	Pravý	5,8437	5,8418	205,8442	205,8452	5,8439	5,8435

Tabulka 9 – Rozdíly vodorovných směrů určených manuálně a automaticky – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný směr [gon]
1,86	Levý	0,0068	-0,0036	0,0016
	Pravý	0,0044	-0,0063	-0,0010
4,23	Levý	0,0012	-0,0002	0,0006
	Pravý	-0,0009	-0,0007	-0,0008
9,19	Levý	0,0014	-0,0005	0,0004
	Pravý	0,0004	-0,0011	-0,0003
18,04	Levý	0,0017	-0,0014	0,0002
	Pravý	0,0019	-0,0010	0,0004

Tabulka 10 – Výběrové směrodatné odchytky pro vodorovné směry – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	Levý	0,74	1,50	0,65	1,33	0,47	0,72
	Pravý	0,92	1,21	1,10	1,28	0,67	0,64
4,23	Levý	0,45	0,46	0,57	0,49	0,41	0,31
	Pravý	1,00	0,38	0,62	0,57	0,62	0,27
9,19	Levý	0,41	0,20	0,53	0,25	0,33	0,10
	Pravý	0,50	0,26	0,54	0,38	0,40	0,16
18,04	Levý	0,64	0,10	0,57	0,10	0,49	0,07
	Pravý	0,66	0,07	0,55	0,05	0,41	0,05



Obr. 22 – Směrodatné odchytky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 11 jsou uvedeny průměrné hodnoty zenitových úhlů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 12. V Tab. 13 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchytky měření zenitového úhlu pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že se vzrůstající vzdáleností se hodnoty výběrových směrodatných odchylek zmenšují pro oba typy cílení. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného zenitového úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější od vzdálenosti 18 m (Obr. 23). Z porovnání hodnot měřených zenitových úhlů vyplývá, že výsledný zenitový úhel je pro oba dva typy cílení stejný. Z porovnání jednotlivých poloh lze usoudit na působení systematické chyby u automatického cílení, protože měřené hodnoty jsou vždy menší než z ručního.

Tabulka 11 – Zenitové úhly – Trimble S8

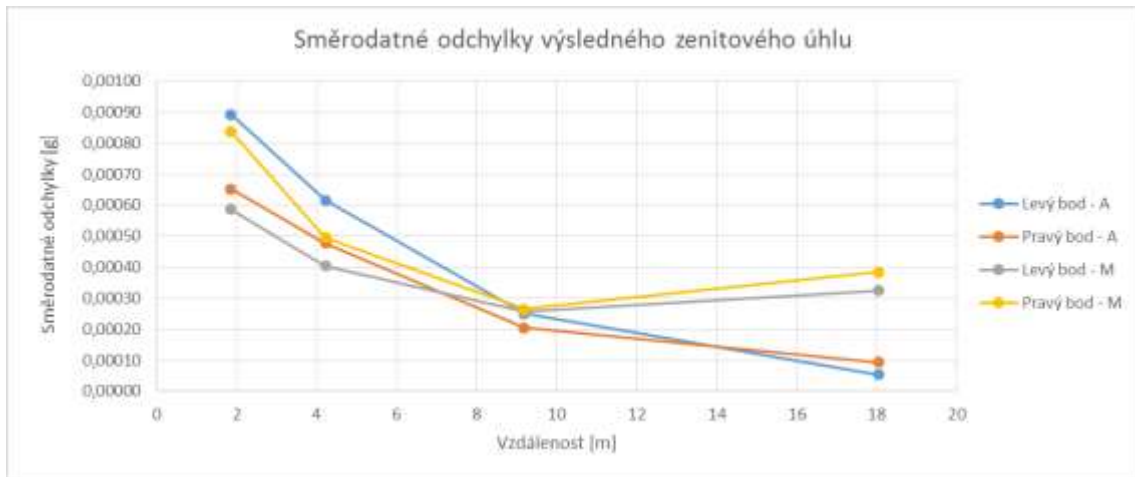
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
1,86	Levý	96,0020	95,9686	304,0028	303,9722	95,9996	95,9982
	Pravý	95,8699	95,8399	304,1355	304,1058	95,8672	95,8670
4,23	Levý	98,3534	98,3385	301,6486	301,6342	98,3524	98,3522
	Pravý	98,2702	98,2564	301,7322	301,7189	98,2690	98,2688
9,19	Levý	99,2070	99,2009	300,7942	300,7881	99,2064	99,2064
	Pravý	99,1650	99,1591	300,8357	300,8295	99,1646	99,1648
18,04	Levý	99,6705	99,6676	300,3312	300,3295	99,6696	99,6691
	Pravý	99,6481	99,6452	300,3530	300,3513	99,6475	99,6469

Tabulka 12 – Rozdíly zenitových úhlů určených manuálně a automaticky – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný úhel [gon]
1,86	Levý	0,0334	0,0306	0,0014
	Pravý	0,0300	0,0297	0,0002
4,23	Levý	0,0149	0,0144	0,0002
	Pravý	0,0138	0,0133	0,0002
9,19	Levý	0,0061	0,0061	0,0000
	Pravý	0,0059	0,0062	-0,0002
18,04	Levý	0,0029	0,0017	0,0005
	Pravý	0,0029	0,0017	0,0006

Tabulka 13 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	Levý	0,70	1,13	0,81	1,61	0,59	0,89
	Pravý	1,06	1,00	1,06	1,29	0,84	0,65
4,23	Levý	0,49	1,20	0,68	1,22	0,40	0,62
	Pravý	0,60	0,95	0,69	1,17	0,49	0,48
9,19	Levý	0,38	0,32	0,35	0,39	0,26	0,25
	Pravý	0,34	0,33	0,42	0,32	0,27	0,20
18,04	Levý	0,61	0,08	0,50	0,12	0,32	0,05
	Pravý	0,62	0,11	0,50	0,18	0,38	0,09

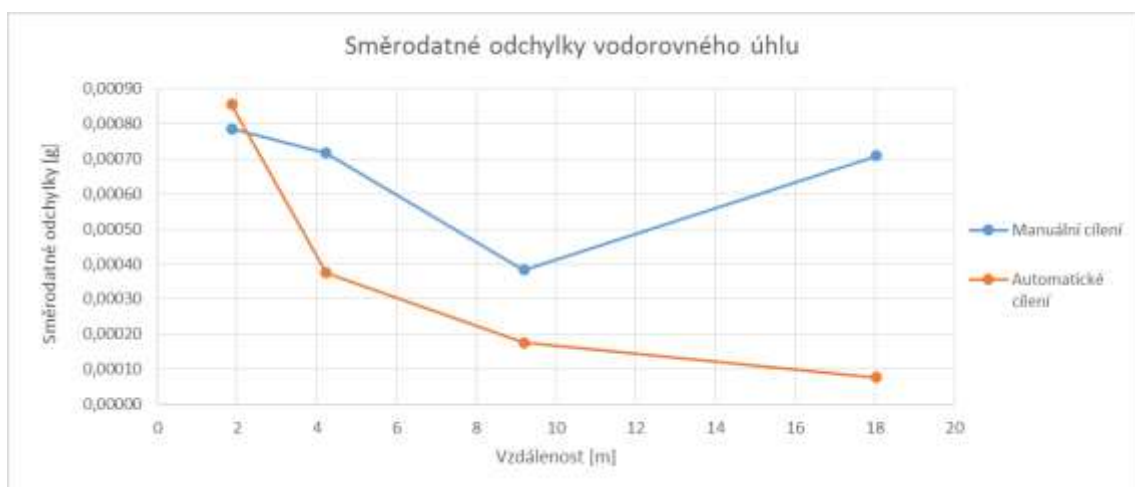


Obr. 23 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 14 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných úhlů a jejich výběrové směrodatné odchylky pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že oba dva způsoby cílení poskytují srovnatelné výsledky. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného vodorovného úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější od vzdálenosti 4,2 m (Obr. 24).

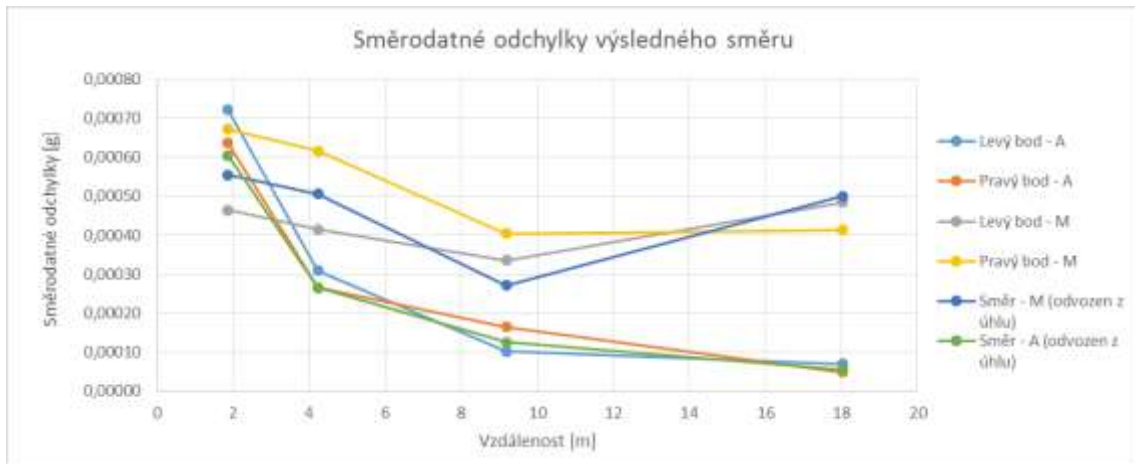
Tabulka 14 – Vodorovné úhly – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Úhel - cílení			Výběrová směrodatná odchylka - cílení	
	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Rozdíl [gon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
1,86	57,7973	57,7999	-0,0026	0,79	0,85
4,23	24,6223	24,6236	-0,0013	0,72	0,38
9,19	11,2923	11,2930	-0,0007	0,38	0,18
18,04	5,7501	5,7498	0,0003	0,71	0,08



Obr. 24 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu

V Obr. 25 jsou zobrazeny výběrové směrodatné odchylky pro samostatně měřené směry a směrodatné odchylky odvozené z výběrových směrodatných odchylek úhlů. Z grafu plyne, že hodnoty konvergují a automatické měření je přesnější kromě vzdálenosti 1,8 m.



Obr. 25 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení)

4.1.3 Výsledky z venkovní dočasné základny – Trimble S6

V Tab. 15 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných směrů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 16. V Tab. 17 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky měření vodorovného směru pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že výběrové směrodatné odchylky automatického cílení jsou do 80 m přibližně konstantní a menší než výběrové směrodatné odchylky ručního cílení. Na délku 100 m si výběrové směrodatné odchylky z ručního a automatického cílení odpovídají (Obr. 26). Z porovnání hodnot měřených směrů vyplývá, že výsledný směr je pro oba dva typy cílení stejný. Rozdíly mezi typy cílení v jednotlivých polohách budou způsobeny systematickou chybou automatického cílení, které cílí v první poloze doprava na hranolu, v druhé poloze doleva.

Tabulka 15 – Vodorovné směry – Trimble S6

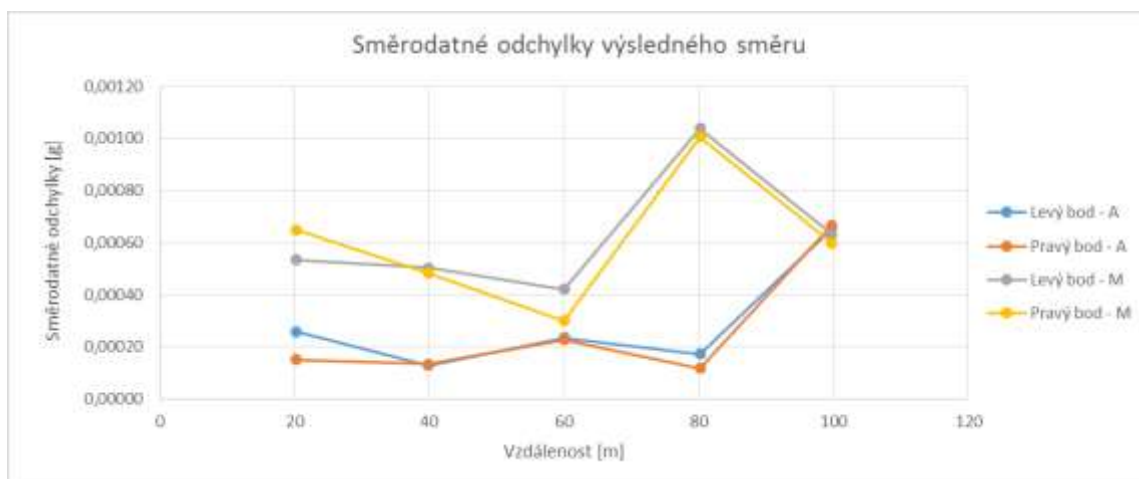
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
20	Levý	0,2340	0,2347	200,2364	200,2336	0,2352	0,2341
	Pravý	26,8276	26,8284	226,8302	226,8272	26,8289	26,8278
40	Levý	0,1677	0,1688	200,1704	200,1685	0,1691	0,1687
	Pravý	13,5500	13,5512	213,5519	213,5507	13,5510	13,5510
60	Levý	0,1671	0,1682	200,1688	200,1666	0,1679	0,1674
	Pravý	9,0639	9,0650	209,0653	209,0633	9,0646	9,0642
80	Levý	0,1321	0,1322	200,1332	200,1302	0,1326	0,1312
	Pravý	6,7797	6,7803	206,7810	206,7780	6,7803	6,7792
100	Levý	0,2451	0,2446	200,2466	200,2425	0,2458	0,2435
	Pravý	5,5884	5,5882	205,5902	205,5859	5,5893	5,5870

Tabulka 16 – Rozdíly vodorovných směrů – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný směr [gon]
20	Levý	-0,0007	0,0028	0,0011
	Pravý	-0,0008	0,0030	0,0011
40	Levý	-0,0011	0,0019	0,0004
	Pravý	-0,0012	0,0012	0,0000
60	Levý	-0,0011	0,0022	0,0005
	Pravý	-0,0011	0,0020	0,0004
800	Levý	-0,0001	0,0003	0,0014
	Pravý	-0,0006	0,0030	0,0011
100	Levý	0,0005	0,0041	0,0023
	Pravý	0,0002	0,0043	0,0023

Tabulka 17 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	Levý	0,65	0,63	0,62	0,66	0,53	0,26
	Pravý	0,69	0,36	0,86	0,50	0,65	0,15
40	Levý	0,55	0,38	0,82	0,28	0,50	0,13
	Pravý	0,62	0,30	0,98	0,24	0,48	0,13
60	Levý	0,50	0,17	0,50	0,35	0,42	0,23
	Pravý	0,41	0,17	0,29	0,34	0,30	0,23
80	Levý	1,18	0,18	1,11	0,27	1,04	0,17
	Pravý	1,03	0,15	1,05	0,22	1,01	0,12
100	Levý	0,77	0,59	0,70	0,74	0,63	0,65
	Pravý	0,76	0,63	0,58	0,73	0,60	0,67



Obr. 26 – Směrodatné odchytky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 18 jsou uvedeny průměrné hodnoty zenitových úhlů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 19. V Tab. 20 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchytky měření zenitového úhlu pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že pro automatické cílení jsou výběrové směrodatné odchytky konstantní a menší než výběrové směrodatné odchytky z ručního měření. Manuální cílení velmi ovlivňovaly podmínky prostředí, viditelnost bodů a výběrové směrodatné odchytky mají přibližně také konstantní velikost (Obr. 27). Z porovnání hodnot měřených zenitových úhlů vyplývá, že výsledný zenitový úhel je pro oba dva typy cílení stejný. Z porovnání jednotlivých poloh nelze usoudit na systematickou chybu jako u vodorovných směrů.

Tabulka 18 – Zenitové úhly – Trimble S6

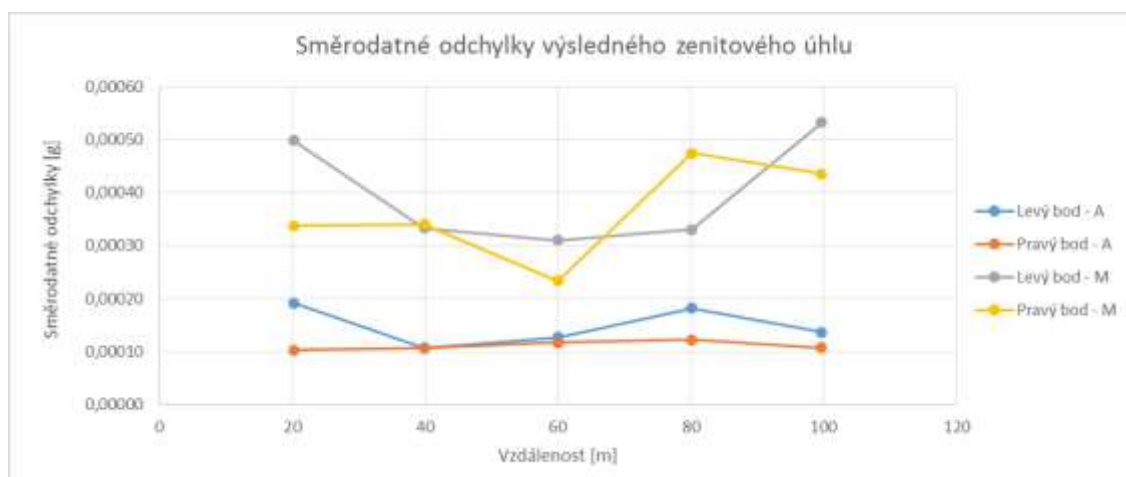
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
20	Levý	101,7111	101,7113	298,2825	298,2826	101,7143	101,7143
	Pravý	102,2505	102,2500	297,7443	297,7438	102,2531	102,2531
40	Levý	101,8068	101,8079	298,1870	298,1879	101,8099	101,8100
	Pravý	102,0859	102,0864	297,9084	297,9091	102,0888	102,0887
60	Levý	101,8040	101,8047	298,1906	298,1908	101,8067	101,8069
	Pravý	101,9900	101,9903	298,0050	298,0052	101,9925	101,9926
80	Levý	101,9453	101,9471	298,0475	298,0481	101,9489	101,9495
	Pravý	102,0829	102,0848	297,9099	297,9104	102,0865	102,0872
100	Levý	101,9363	101,9378	298,0589	298,0589	101,9387	101,9395
	Pravý	102,0499	102,0510	297,9452	297,9456	102,0523	102,0527

Tabulka 19 – Rozdíly zenitových úhlů – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný úhel [gon]
20	Levý	-0,0002	-0,0001	0,0000
	Pravý	0,0005	0,0005	0,0000
40	Levý	-0,0011	-0,0009	-0,0001
	Pravý	-0,0005	-0,0007	0,0001
60	Levý	-0,0007	-0,0002	-0,0002
	Pravý	-0,0003	-0,0002	-0,0001
800	Levý	-0,0018	-0,0006	-0,0006
	Pravý	-0,0019	-0,0005	-0,0007
100	Levý	-0,0015	0,0000	-0,0008
	Pravý	-0,0011	-0,0004	-0,0004

Tabulka 20 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	Levý	0,72	0,40	0,54	0,50	0,50	0,19
	Pravý	0,41	0,24	0,56	0,26	0,34	0,10
40	Levý	0,45	0,26	0,54	0,24	0,33	0,11
	Pravý	0,46	0,15	0,51	0,17	0,34	0,11
60	Levý	0,48	0,34	0,40	0,30	0,31	0,13
	Pravý	0,36	0,35	0,36	0,30	0,23	0,12
80	Levý	0,35	0,25	0,52	0,24	0,33	0,18
	Pravý	0,62	0,21	0,76	0,15	0,48	0,12
100	Levý	0,97	0,30	0,48	0,43	0,53	0,14
	Pravý	0,74	0,31	0,46	0,33	0,44	0,11

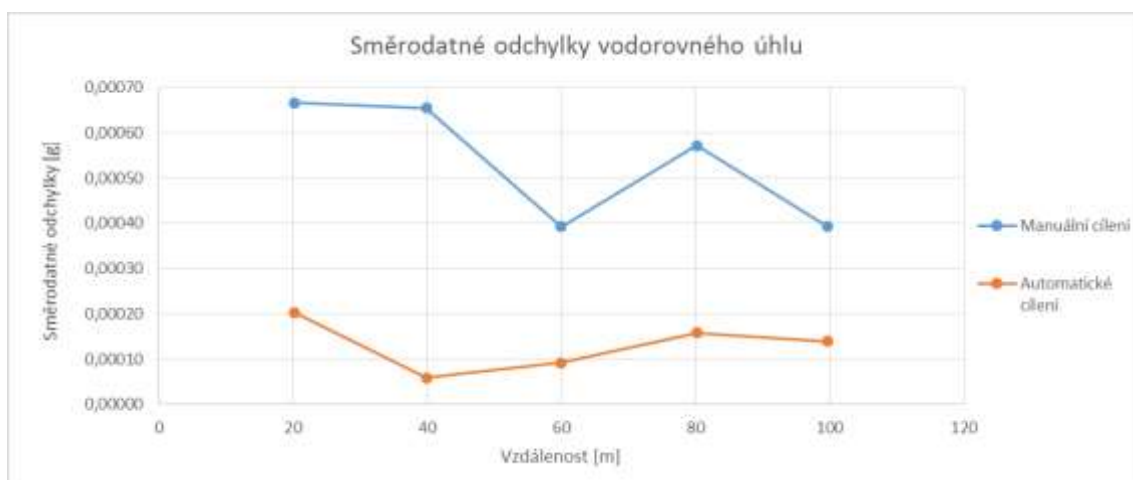


Obr. 27 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 21 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných úhlů a jejich výběrové směrodatné odchylky pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že oba dva způsoby cílení poskytují srovnatelné výsledky. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného vodorovného úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější. Automatické cílení má konstantní přesnost na celé délce, zato manuální cílení se s rostoucí vzdáleností zlepšuje (Obr. 28).

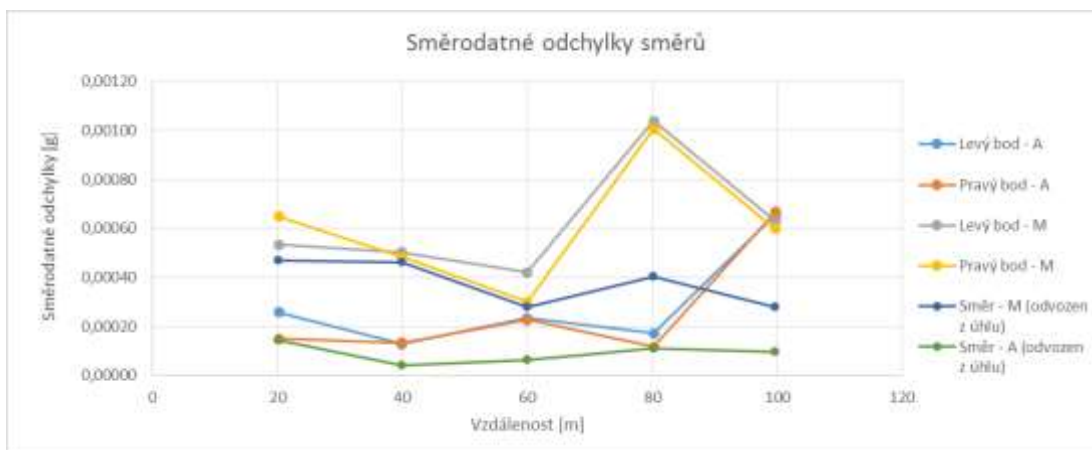
Tabulka 21 – Vodorovné úhly – Trimble S6

Vzdálenost [m]	Úhel - cílení			Výběrová směrodatná odchylka - cílení	
	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Rozdíl [gon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	26,5937	26,5936	0,0001	0,67	0,20
40	13,3819	13,3823	-0,0004	0,65	0,06
60	8,8967	8,8968	-0,0001	0,39	0,09
80	6,6477	6,6480	-0,0003	0,57	0,16
100	5,3435	5,3435	0,0000	0,39	0,14



Obr. 28 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu

V Obr. 29 jsou zobrazeny výběrové směrodatné odchylky pro samostatně měřené směry a směrodatné odchylky odvozené z výběrových směrodatných odchylek úhlů. Z grafu plyne, že odvozená hodnota pro směrodatnou odchylku směru je menší než vypočtené výběrové směrodatné odchylky a je konstantní na celém délkovém intervalu.



Obr. 29 – Směrodatné odchytky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení)

4.1.4 Výsledky z venkovní dočasné základny – Trimble S8

V Tab. 22 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných směrů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 23. V Tab. 24 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchytky měření vodorovného směru pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že se vzrůstající vzdáleností se hodnoty výběrových směrodatných odchylek zmenšují pro manuální cílení. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného směru vyplývá, že automatické cílení je přesnější na všech vzdálenostech a na 100 m je srovnatelné s manuálním cílením (Obr. 30). Z porovnání hodnot měřených směrů vyplývá, že výsledný směr je pro oba dva typy cílení stejný. Rozdíly mezi typy cílení v jednotlivých polohách nemají systematický charakter.

Tabulka 22 – Vodorovné směry – Trimble S8

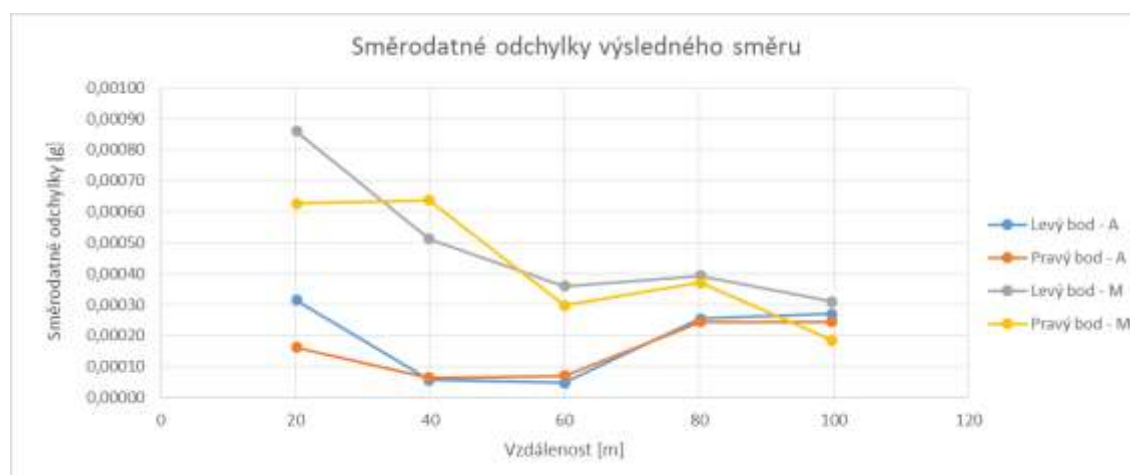
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
20	Levý	0,2716	0,2690	200,2754	200,2779	0,2735	0,2734
	Pravý	26,8655	26,8632	226,8682	226,8713	26,8668	26,8673
40	Levý	0,2370	0,2371	200,2393	200,2406	0,2382	0,2389
	Pravý	13,6192	13,6194	213,6216	213,6229	13,6204	13,6212
60	Levý	0,2321	0,2321	200,2346	200,2339	0,2333	0,2330
	Pravý	9,1287	9,1288	209,1313	209,1307	9,1300	9,1298
80	Levý	0,0611	0,0606	200,0634	200,0624	0,0622	0,0615
	Pravý	6,7087	6,7086	206,7108	206,7103	6,7098	6,7094
100	Levý	0,1046	0,1003	200,1042	200,1025	0,1029	0,1014
	Pravý	5,4444	5,4437	205,4471	205,4458	5,4457	5,4447

Tabulka 23 – Rozdíly vodorovných směrů – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný směr [gon]
20	Levý	0,0026	-0,0025	0,0001
	Pravý	0,0023	-0,0031	-0,0005
40	Levý	-0,0001	-0,0013	-0,0007
	Pravý	-0,0002	-0,0013	-0,0008
60	Levý	0,0000	0,0007	0,0003
	Pravý	-0,0001	0,0006	0,0002
800	Levý	0,0005	0,0010	0,0007
	Pravý	0,0001	0,0005	0,0004
100	Levý	0,0043	0,0017	0,0015
	Pravý	0,0007	0,0013	0,0010

Tabulka 24 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný směr	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	Levý	0,31	0,15	0,80	0,23	0,86	0,31
	Pravý	0,19	0,11	0,63	0,18	0,63	0,16
40	Levý	0,56	0,07	0,81	0,08	0,51	0,06
	Pravý	0,73	0,07	0,97	0,08	0,64	0,06
60	Levý	0,39	0,07	0,49	0,06	0,36	0,05
	Pravý	0,41	0,08	0,40	0,07	0,30	0,07
80	Levý	0,35	0,29	0,59	0,30	0,39	0,26
	Pravý	0,46	0,29	0,46	0,27	0,37	0,24
100	Levý	0,52	0,38	0,34	0,20	0,31	0,27
	Pravý	0,23	0,31	0,37	0,21	0,19	0,24



Obr. 30 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 25 jsou uvedeny průměrné hodnoty zenitových úhlů pro ruční i automatické cílení. Rozdíly těchto hodnot jsou uvedeny v Tab. 26. V Tab. 27 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky měření zenitového úhlu pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že výběrové směrodatné odchylky jsou pro oba dva typy cílení přibližně konstantní a automatické cílení je přesnější (Obr. 31). Z porovnání hodnot měřených zenitových úhlů vyplývá, že výsledný zenitový úhel je pro oba dva typy cílení stejný. Z porovnání jednotlivých poloh vyplývá, že při automatickém cílení je měřena menší hodnota.

Tabulka 25 – Zenitové úhly – Trimble S8

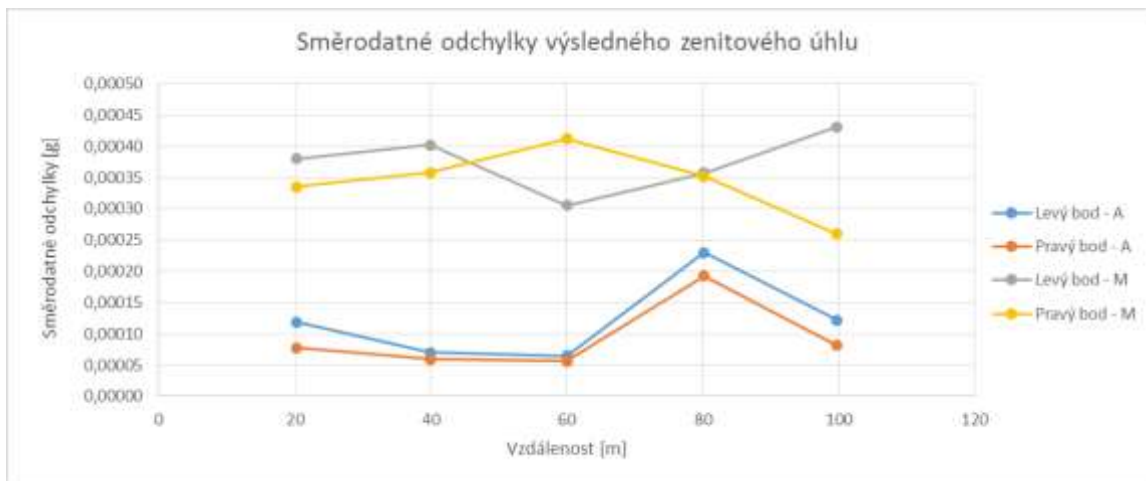
Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Ruční [gon]	Automatické [gon]
20	Levý	101,7162	101,7166	298,2855	298,2883	101,7154	101,7141
	Pravý	102,2553	102,2542	297,7472	297,7483	102,2540	102,2530
40	Levý	101,8112	101,8107	298,1909	298,1910	101,8104	101,8099
	Pravý	102,0908	102,0890	297,9122	297,9119	102,0893	102,0886
60	Levý	101,8084	101,8075	298,1952	298,1940	101,8066	101,8068
	Pravý	101,9945	101,9931	298,0093	298,0083	101,9926	101,9924
80	Levý	101,9506	101,9498	298,0520	298,0509	101,9493	101,9495
	Pravý	102,0883	102,0876	297,9141	297,9131	102,0871	102,0872
100	Levý	101,9412	101,9403	298,0622	298,0610	101,9395	101,9396
	Pravý	102,0544	102,0536	297,9489	297,9480	102,0528	102,0528

Tabulka 26 – Rozdíly zenitových úhlů – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	Výsledný úhel [gon]
20	Levý	-0,0004	-0,0028	0,0013
	Pravý	0,0011	-0,0011	0,0010
40	Levý	0,0005	-0,0001	0,0005
	Pravý	0,0018	0,0003	0,0007
60	Levý	0,0009	0,0012	-0,0002
	Pravý	0,0014	0,0010	0,0002
80	Levý	0,0008	0,0011	-0,0002
	Pravý	0,0007	0,0001	-0,0001
100	Levý	0,0009	0,0012	-0,0001
	Pravý	0,0008	0,0009	0,0000

Tabulka 27 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Cíl	I. poloha - cílení		II. poloha - cílení		Výsledný úhel	
		Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	Levý	0,52	0,26	0,62	0,24	0,38	0,12
	Pravý	0,46	0,16	0,40	0,18	0,33	0,08
40	Levý	0,66	0,12	0,61	0,10	0,40	0,07
	Pravý	0,52	0,11	0,43	0,07	0,36	0,06
60	Levý	0,50	0,16	0,44	0,20	0,31	0,06
	Pravý	0,51	0,14	0,60	0,19	0,41	0,06
80	Levý	0,52	0,44	0,45	0,35	0,36	0,23
	Pravý	0,47	0,23	0,46	0,30	0,35	0,19
100	Levý	0,64	0,21	0,49	0,16	0,43	0,12
	Pravý	0,16	0,16	0,50	0,14	0,26	0,08

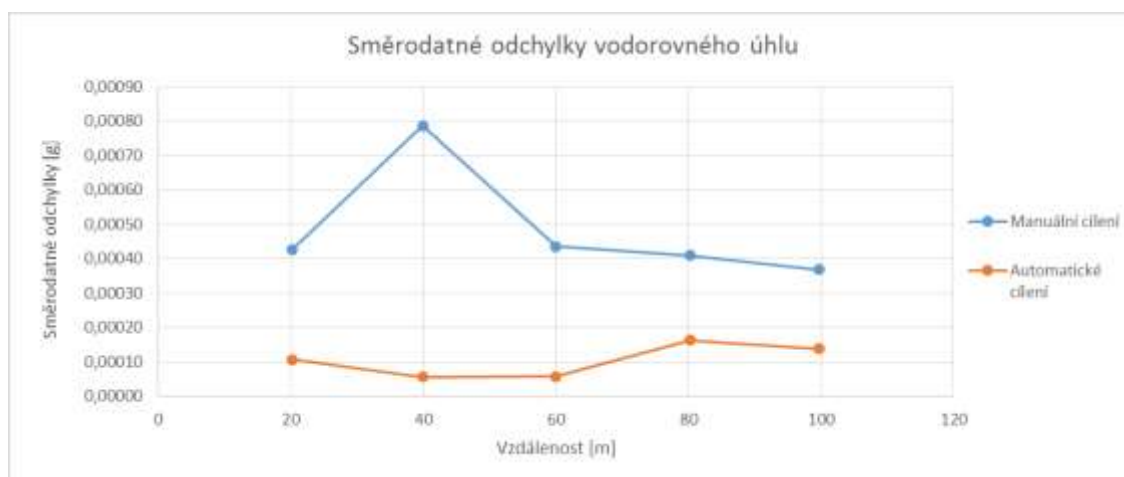


Obr. 31 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení)

V Tab. 28 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodorovných úhlů a jejich výběrové směrodatné odchylky pro ruční i automatické cílení. Z výsledků vyplývá, že oba dva způsoby cílení poskytují srovnatelné výsledky. Z porovnání výběrových směrodatných odchylek výsledného vodorovného úhlu vyplývá, že automatické cílení je přesnější a hodnoty jsou konstantní po celé délce (Obr. 32).

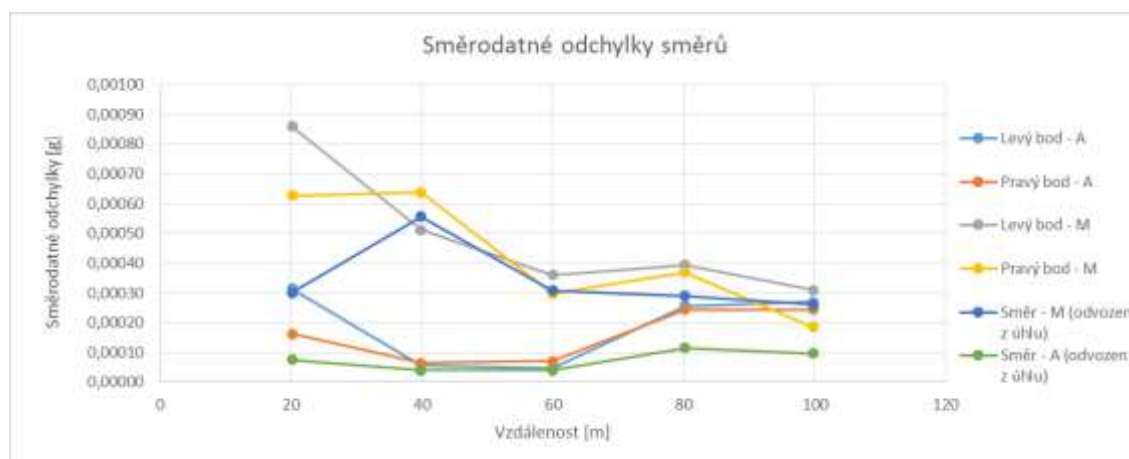
Tabulka 28 – Vodorovné úhly – Trimble S8

Vzdálenost [m]	Úhel - cílení			Výběrová směrodatná odchylka - cílení	
	Ruční [gon]	Automatické [gon]	Rozdíl [gon]	Ruční [mgon]	Automatické [mgon]
20	26,5934	26,5939	-0,0005	0,43	0,11
40	13,3820	13,3823	-0,0002	0,79	0,06
60	8,8966	8,8967	-0,0001	0,44	0,06
80	6,6476	6,6479	-0,0003	0,41	0,16
100	5,3428	5,3433	-0,0005	0,37	0,14



Obr. 32 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu

V Obr. 33 jsou zobrazeny výběrové směrodatné odchylky pro samostatně měřené směry a směrodatné odchylky odvozené z výběrových směrodatných odchylek úhlů. Z grafu plyne, že hodnoty konvergují a automatické měření je přesnější.



Obr. 33 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení)

4.1.5 Zhodnocení testů na základnách

Přístroji Trimble S6 a S8 byly provedeny stejné testy za účelem porovnání přesnosti automatické a manuálního cílení na krátkých vzdálenostech. Z výsledků vyplývá, že automatické cílení je ve všech případech přesnější než manuální, kromě velmi krátké vzdálenosti 1,8 metru. Na intervalu délek od 1,8 m do 18 m se vzrůstající vzdáleností se přesnost cílení obou metod výrazně zlepšuje. Na intervalu délek 20 m až 100 m není pozorovatelná výrazná změna přesnosti cílení u obou dvou metod. Extrémní hodnoty v grafech výběrových směrodatných odchylek mohou být způsobeny náhlými změnami prostředí.

Hodnoty z venkovní dočasné základny mohou být ovlivněny technologií SurePoint. Ta způsobuje, že při opakovaném cílení na stejný bod se přístroj snaží opravit cílení tak, aby odpovídalo prvnímu známému zacílení. Při měření na laboratorní základně byl postup měření upraven tak, aby se technologie SurePoint neuplatnila.

Z výsledků porovnání měřených hodnot pomocí manuálního a automatického cílení v jednotlivých polohách vyplývá, že při automatickém cílení nemusí přístroj cílit přesně do středu hranolu. Z toho plyne, že při měření v jedné poloze by se neměly kombinovat oba dva typy cílení.

4.1.6 Porovnání automatického cílení mezi odrazným hranolem a minihranolem

V rámci experimentálního měření na venkovní dočasné základně bylo pro délku záměr 20 m otestováno automatické cílení na klasický odrazný hranol GPR121 a minihranol GMP101. Konfigurace měření byla stejná jako v celém experimentu.

Z porovnání výsledných měřených hodnot plyne, že pro přístroj Trimble S6 jsou výsledné hodnoty vodorovných směrů menší pro hranol GMP101 (Tab. 29) a výběrové směrodatné odchylky jsou naopak větší (Tab. 30). Rozdílné hodnoty vodorovných směrů mohou být způsobeny excentricitou pomůcek. Zenitové úhly jsou srovnatelné (Tab. 31), ale výběrové směrodatné odchylky jsou pro GMP101 větší (Tab. 32). Výsledný vodorovný úhel je taktéž srovnatelný, ale opět výběrová směrodatná odchylka pro GMP101 je větší (Tab. 33).

Z porovnání výsledných měřených hodnot plyne, že pro přístroj Trimble S8 jsou výsledné hodnoty vodorovných směrů, zenitových úhlů i vodorovného úhlu srovnatelné. Taktéž i výběrové směrodatné odchylky (Tab. 34 – Tab. 38).

Ve všech případech byla dosažena přesnost nižší, než uvádí výrobce, tj. 0,3 mgon.

Tabulka 29 – Vodorovné směry – Trimble S6

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný směr
		Automatické [gon]	Automatické [gon]	Automatické [gon]
GPR121	Levý	0,3716	200,3696	0,3706
	Pravý	26,9651	226,9635	26,9643
GMP101	Levý	0,2347	200,2336	0,2341
	Pravý	26,8284	226,8272	26,8278

Tabulka 30 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S6

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný směr
		Automatické [mgon]	Automatické [mgon]	Automatické [mgon]
GPR121	Levý	0,38	0,32	0,11
	Pravý	0,32	0,23	0,09
GMP101	Levý	0,63	0,66	0,26
	Pravý	0,36	0,50	0,15

Tabulka 31 – Zenitové úhly – Trimble S6

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný úhel
		Automatické [gon]	Automatické [gon]	Automatické [gon]
GPR121	Levý	101,7101	298,2826	101,7137
	Pravý	102,2507	297,7421	102,2543
GMP101	Levý	101,7113	298,2826	101,7143
	Pravý	102,2500	297,7438	102,2531

Tabulka 32 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S6

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný úhel
		Automatické [mgon]	Automatické [mgon]	Automatické [mgon]
GPR121	Levý	0,20	0,26	0,16
	Pravý	0,20	0,22	0,12
GMP101	Levý	0,40	0,50	0,19
	Pravý	0,24	0,26	0,10

Tabulka 33 – Vodorovné úhly – Trimble S6

Typ hranol	Vodorovný úhel	Výběrové směrodatné odchylky
	Automatické c. [gon]	Automatické c. [mgon]
GPR121	26,5937	0,09
GMP101	26,5936	0,20

Tabulka 34 – Vodorovné směry – Trimble S8

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný směr
		Automatické [gon]	Automatické [gon]	Automatické [gon]
GPR121	Levý	0,2702	200,2777	0,2740
	Pravý	26,8648	226,8709	26,8678
GMP101	Levý	0,2690	200,2779	0,2734
	Pravý	26,8632	226,8713	26,8673

Tabulka 35 – Výběrové směrodatné odchytky pro vodorovné směry – Trimble S8

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný směr
		Automatické [mgon]	Automatické [mgon]	Automatické [mgon]
GPR121	Levý	0,12	0,13	0,08
	Pravý	0,13	0,11	0,10
GMP101	Levý	0,15	0,23	0,11
	Pravý	0,11	0,18	0,12

Tabulka 36 – Zenitové úhly – Trimble S8

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný úhel
		Automatické [gon]	Automatické [gon]	Automatické [gon]
GPR121	Levý	101,7161	298,2898	101,7132
	Pravý	102,2567	297,7491	102,2538
GMP101	Levý	101,7166	298,2883	101,7141
	Pravý	102,2542	297,7483	102,2530

Tabulka 37 – Výběrové směrodatné odchytky pro zenitové úhly – Trimble S8

Typ hranol	Cíl	I. poloha - cílení	II. poloha - cílení	Výsledný úhel
		Automatické [mgon]	Automatické [mgon]	Automatické [mgon]
GPR121	Levý	0,33	0,30	0,14
	Pravý	0,24	0,29	0,11
GMP101	Levý	0,26	0,24	0,12
	Pravý	0,16	0,18	0,08

Tabulka 38 – Vodorovné úhly – Trimble S8

Typ hranol	Vodorovný úhel	Výběrové směrodatné odchytky
	Automatické c. [gon]	Automatické c. [mgon]
GPR121	26,5939	0,10
GMP101	26,5939	0,11

4.2 Experimentální měření v síti

Cílem experimentálních měření v sítích bylo určit reálnou přesnost automatického cílení vybraných totálních stanic. Veškerá měření byla zpracována v programu GNU Gama 1.7.09 [8]. Měření byla prováděna ve třech skupinách a do vstupního souboru pro vyrovnání

vstupovaly měřené hodnoty z každé skupiny jednotlivě. Apriorní směrodatná odchylka byla vždy volena 1. Všechny sítě byly měřeny v místním souřadném systému.

Vyhodnocení sítí probíhalo iterativně tak, že byly měněny směrodatné odchylky měřených veličin, dokud nebylo dosaženo aposteriorní směrodatné odchylky cca 1. Stěžejním parametrem bylo měření směrů, proto byly nejprve vyhodnocovány sítě pouze s vodorovnými směry. Počáteční volená přesnost byla 0,6 mgon. Postupným vyrovnáním byla měněna směrodatná odchylka směru, pokud se v souboru vyskytla výrazně odlehlá hodnota, byla ji přiřazena větší směrodatná odchylka, aby se neuplatňovala při vyrovnání sítě.

Po určení reálné směrodatné odchylky vodorovného směru bylo provedeno vyrovnání sítě se všemi měřenými parametry. Vyrovnání probíhalo opět iterativně, kdy byly měněny směrodatné odchylky zenitového úhlu a šikmé délky. Výjimečně byla změněna i směrodatná odchylka vodorovného směru. Toto hodnocení je již závislé na předchozím zpracování a není jednoznačné, proto je nutné jej nebrat jako exaktní, ale pouze jako přibližné a v rámci experimentu jako doplňkové.

V následujících tabulkách jsou uvedeny hlavní parametry řešených sítí a výsledné směrodatné odchylky automatického měření v sítích.

4.2.1 Výsledky laboratoř – malá síť

Síť byla tvořena 10 stanovisky. Délky záměr byly 1,8 m až 3,1 m.

Tabulka 39 - Vyhodnocení malé laboratorní sítě – Trimble S6

	Pouze směry	Směry, zenitové úhly, délky
Počet neznámých:	30	40
Počet měření:	126	378
Počet nadbytečných:	100	342
Počet odlehlých:	4	56
Aposteriorní směrodatná odchylka:	0,96	0,99
σ_{φ} [mgon]:	1,5	1,5
σ_z [mgon]:	-	3,0
σ_d [mm]:	-	1

(σ_{φ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

Tabulka 40 - Vyhodnocení malé laboratorní sítě – Trimble S8

	Pouze směry	Směry, zenitové úhly, délky
Počet neznámých:	30	40
Počet měření:	126	378
Počet nadbytečných:	100	342
Počet odlehlých:	12	64
Aposteriorní směrodatná odchylka:	0,95	1
σ_{φ} [mgon]:	1,1	1,1
σ_z [mgon]:	-	2,5
σ_d [mgon]:	-	0,4

(σ_{φ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

4.2.2 Výsledky laboratoř – velká síť

Síť byla tvořena 10 stanovisky. Délky záměr byly 2,3 m až 5,3 m.

Tabulka 41 - Vyhodnocení velké laboratorní sítě – Trimble S6

	Pouze směry	Směry, zenitové úhly, délky
Počet neznámých:	18	24
Počet měření:	66	198
Počet nadbytečných:	52	178
Počet odlehlých:	1	14
Aposteriorní směrodatná odchylka:	1,03	1,18
σ_{φ} [mgon]:	1,1	1,1
σ_z [mgon]:	-	2,5
σ_d [mm]:	-	2

(σ_{φ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

Tabulka 42 - Vyhodnocení velké laboratorní sítě – Trimble S8

	Pouze směry	Směry, zenitové úhly, délky
Počet neznámých:	18	24
Počet měření:	66	198
Počet nadbytečných:	52	178
Počet odlehlých:	1	18
Aposteriorní směrodatná odchylka:	1,04	1,03
σ_{φ} [mgon]:	0,7	0,8
σ_z [mgon]:	-	2,7
σ_d [mgon]:	-	2

(σ_{φ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

4.2.2 Výsledky venkovní síť

Síť byla tvořena 10 stanovisky. Délky záměr byly cca 30 m. Oproti předchozím experimentům byla použita kromě přístrojů Trimble S6 a S8 ještě totální stanice Leica TS60 zapůjčená společností Inset s.r.o. na testování.

Tabulka 43 - Vyhodnocení venkovní síť – Trimble S6

	Pouze směry – 18.3.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 18.3.2016	Pouze směry – 1.5.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 1.5.2016
Počet neznámých:	24	30	24	30
Počet měření:	120	360	120	360
Počet nadbytečných:	100	334	100	334
Počet odlehlých:	2	2	0	0
Aposteriorní směrodatná odchylka:	1,00	0,90	1,02	0,96
σ_{ϕ} [mgon]:	0,4	0,4	0,3	0,3
σ_z [mgon]:	-	0,4	-	0,4
σ_d [mm]:	-	1	-	1

(σ_{ϕ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

Tabulka 44 - Vyhodnocení venkovní síť – Trimble S8

	Pouze směry – 18.3.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 18.3.2016	Pouze směry – 1.5.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 1.5.2016
Počet neznámých:	24	30	24	30
Počet měření:	120	360	120	360
Počet nadbytečných:	100	334	100	334
Počet odlehlých:	0	0	0	0
Aposteriorní směrodatná odchylka:	1,03	1,00	1,12	0,97
σ_{ϕ} [mgon]:	0,3	0,3	0,3	0,3
σ_z [mgon]:	-	0,3	-	0,3
σ_d [mm]:	-	0,8	-	0,8

(σ_{ϕ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

Tabulka 45 - Vyhodnocení venkovní sítě – Leica TS60

	Pouze směry – 18.3.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 18.3.2016	Pouze směry – 1.5.2016	Směry, zenitové úhly, délky – 1.5.2016
Počet neznámých:	24	30	24	30
Počet měření:	120	360	120	360
Počet nadbytečných:	100	334	100	334
Počet odlehlých:	0	0	0	0
Aposteriorní směrodatná odchylka:	1,07	1,02	0,91	0,97
σ_{φ} [mgon]:	0,2	0,5	0,3	0,3
σ_z [mgon]:	-	0,5	-	0,5
σ_d [mm]:	-	1	-	0,6

(σ_{φ} – směrodatná odchylka směru; σ_z – směrodatná odchylka zenitového úhlu; σ_d – směrodatná odchylka délky)

4.2.3 Zhodnocení sítí

Na základě výsledků z vyhodnocení laboratorních sítí se potvrzuje domněnka, že se vzrůstající délkou záměr klesá směrodatná odchylka automatického měření. Při vyhodnocení laboratorních sítí bylo identifikováno značné množství odlehlých hodnot. Tento počet může být způsoben zejména excentricitou pomůcek, která se projevuje zejména na krátkých vzdálenostech a také možnou nestabilitou pilířových trojnožek. Hodnota směrodatných odchylek směrů se pohybuje od 0,7 mgon do 1,5 mgon.

Na základně výsledků z vyhodnocení venkovní sítě se ukazuje, že přístroje Trimble S6 a S8 mají srovnatelnou přesnost v měření vodorovných směrů – 0,3 mgon. Výsledná směrodatná odchylka automatického měření odpovídá výrobcem udávané směrodatné odchylce. U přístroje Leica TS60 se výsledná směrodatná odchylka měření vodorovného směru pohybuje v intervalu 0,2 mgon až 0,5 mgon. Tyto hodnoty jsou větší, než udává výrobce přístroje. Při vyhodnocení nebyla identifikována odlehlá měření.

5 Závěr

V rámci bakalářské práce byly navrženy a provedeny dva experimentální postupy za účelem určení přesnosti automatického měření totálních stanic.

Totálními stanicemi Trimble S6 a S8 byl proveden experiment porovnávající přesnost manuálního a automatického cílení. Experiment byl proveden v laboratoři pro délky záměr 1,8 metru až 18 metrů a v terénu pro délky záměr pro délky 20 až 100 metrů. Při pokusu bylo opakovaně ve 25 skupinách měřeno na dva odrazné minihranoly Leica GMP101. Z výsledků vyplývá, že přesnost automatického měření je lepší pro všechny délky záměr, kromě nejkratší délky 1,8 metru. Z výsledků plyne, že konečné měřené hodnoty jsou stejné pro oba dva typy cílení. Při měření pouze v jedné poloze se nedoporučuje kombinovat typy cílení, protože u automatického cílení se projevují systematické chyby. Směrodatné odchylky měření se s rostoucí vzdáleností zlepšují až do délky 20 metrů, od této vzdálenosti jsou přibližně konstantní. Z 25 opakování byly pro přístroj Trimble S6 určeny výběrové směrodatné odchylky měření vodorovného směru 0,3 mgon až 0,6 mgon. Pro přístroj Trimble S8 byly určeny hodnoty 0,05 mgon až 0,7 mgon.

Dále byl proveden experiment automatického měření v mikrosítích. Přístroji Trimble S6 a S8 byly změřeny dvě laboratorní mikrosítě o velmi krátkých délkách (do 5 metrů) a z jejich vyhodnocení plyne, že na přesnost měření mají podstatný vliv excentricity pomůcek, o čemž svědčí velké množství odlehlých hodnot při vyrovnání. Pro směrodatné odchylky vodorovného směru byly získány hodnoty 0,7 mgon až 1,5 mgon, což je více než výrobcem udávaná přesnost přístroje, ovšem ve velmi atypických podmínkách (zejména délka záměr). Přístroji Trimble S6, S8 a Leica TS60 byla změřena dvakrát venkovní mikrosítě o délkách záměr 30 metrů. Z vyhodnocení venkovní sítě plyne, že u přístrojů Trimble směrodatné odchylky měření odpovídají výrobcem udávané přesnosti 0,3 mgon. Pro přístroj Leica TS60 byla zjištěna přesnost měření v rozmezí 0,2 mgon až 0,3 mgon, což je více než udává výrobce přístroje.

Funkce automatického cílení je u současných totálních stanic dostatečně spolehlivá a při použití vhodného cíle přesnost automatického měření překonává kvalitou a rychlostí manuálního měření. Směrodatné odchylky měření se mění se vzrůstající vzdáleností a proto je pro rozbor přesnosti vhodné určit reálnou přesnost pro konkrétní vzdálenost, například navrženými experimenty.

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vodorovné směry – Trimble S6.....	31
Tabulka 2 – Rozdíly vodorovných směrů určených manuálně a automaticky – Trimble S631	
Tabulka 3 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S6	31
Tabulka 4 – Zenitové úhly – Trimble S6.....	32
Tabulka 5 – Rozdíly zenitových úhlů určených manuálně a automaticky – Trimble S6.....	33
Tabulka 6 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S6.....	33
Tabulka 7 – Vodorovné úhly – Trimble S6.....	34
Tabulka 8 – Vodorovné směry – Trimble S8.....	35
Tabulka 9 – Rozdíly vodorovných směrů určených manuálně a automaticky – Trimble S8	35
Tabulka 10 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S8	36
Tabulka 11 – Zenitové úhly – Trimble S8.....	37
Tabulka 12 – Rozdíly zenitových úhlů určených manuálně a automaticky – Trimble S8	37
Tabulka 13 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S8.....	37
Tabulka 14 – Vodorovné úhly – Trimble S8.....	38
Tabulka 15 – Vodorovné směry – Trimble S6.....	40
Tabulka 16 – Rozdíly vodorovných směrů – Trimble S6.....	40
Tabulka 17 – Výběrové směrodatné odchylky pro vodorovné směry – Trimble S6	40
Tabulka 18 – Zenitové úhly – Trimble S6.....	41
Tabulka 19 – Rozdíly zenitových úhlů – Trimble S6.....	42
Tabulka 20 – Výběrové směrodatné odchylky pro zenitové úhly – Trimble S6.....	42
Tabulka 21 – Vodorovné úhly – Trimble S6.....	43
Tabulka 22 – Vodorovné směry – Trimble S8.....	44
Tabulka 23 – Rozdíly vodorovných směrů – Trimble S8.....	45

Tabulka 24 – Výběrové směrodatné odchytky pro vodorovné směry – Trimble S8	45
Tabulka 25 – Zenitové úhly – Trimble S8.....	46
Tabulka 26 – Rozdíly zenitových úhlů – Trimble S8	46
Tabulka 27 – Výběrové směrodatné odchytky pro zenitové úhly – Trimble S8.....	47
Tabulka 28 – Vodorovné úhly – Trimble S8.....	48
Tabulka 29 – Vodorovné směry – Trimble S6.....	50
Tabulka 30 – Výběrové směrodatné odchytky pro vodorovné směry – Trimble S6	50
Tabulka 31 – Zenitové úhly – Trimble S6.....	50
Tabulka 32 – Výběrové směrodatné odchytky pro zenitové úhly – Trimble S6.....	50
Tabulka 33 – Vodorovné úhly – Trimble S6.....	50
Tabulka 34 – Vodorovné směry – Trimble S8.....	51
Tabulka 35 – Výběrové směrodatné odchytky pro vodorovné směry – Trimble S8	51
Tabulka 36 – Zenitové úhly – Trimble S8.....	51
Tabulka 37 – Výběrové směrodatné odchytky pro zenitové úhly – Trimble S8.....	51
Tabulka 38 – Vodorovné úhly – Trimble S8.....	51
Tabulka 39 - Vyhodnocení malé laboratorní sítě – Trimble S6	52
Tabulka 40 - Vyhodnocení malé laboratorní sítě – Trimble S8	53
Tabulka 41 - Vyhodnocení velké laboratorní sítě – Trimble S6	53
Tabulka 42 - Vyhodnocení velké laboratorní sítě – Trimble S8	53
Tabulka 43 - Vyhodnocení venkovní sítě – Trimble S6.....	54
Tabulka 44 - Vyhodnocení venkovní sítě – Trimble S8.....	54
Tabulka 45 - Vyhodnocení venkovní sítě – Leica TS60.....	55

Seznam obrázků

Obr. 1 - Totální stanice Trimble S6	10
Obr. 2 - Totální stanice Trimble S8	14
Obr. 3 - Leica Nova TS60.....	17
Obr. 4 – Trojnožka GDF111-1	20
Obr. 5 – Trn GRT144 Basic.....	20
Obr. 6 – Minihranol GMP101	21
Obr. 7 – Odrazný hranol GPR121	21
Obr. 8 – Stabilizační trojnožky s odraznými hranoly	23
Obr. 9 – Venkovní dočasná základna	24
Obr. 10 – Odrazný hranol GPR121 na základně před budovou FSv.....	25
Obr. 11 – Odrazný mini hranol GMP101 na základně před budovou FSv	25
Obr. 12 – Malá laboratorní síť	26
Obr. 13 – Malá laboratorní síť	27
Obr. 14 – Speciální uchycení na základně interferometru.....	27
Obr. 15 – Velká laboratorní síť	28
Obr. 16 – Síť před budovou FSv.....	29
Obr. 17 – Síť před budovou FSv.....	29
Obr. 18 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)..	32
Obr. 19 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení).....	33
Obr. 20 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu.....	34
Obr. 21 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení).....	34

Obr. 22 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)..	36
Obr. 23 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení).....	38
Obr. 24 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu.....	38
Obr. 25 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení).....	39
Obr. 26 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)..	41
Obr. 27 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení).....	42
Obr. 28 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu.....	43
Obr. 29 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení).....	44
Obr. 30 – Směrodatné odchylky výsledného směru (A – automatické cílení, M – manuální cílení)..	45
Obr. 31 – Směrodatné odchylky zenitového úhlu (A – automatické cílení, M – manuální cílení).....	47
Obr. 32 – Směrodatné odchylky vodorovného úhlu.....	48
Obr. 33 – Směrodatné odchylky směrů (M – Manuální cílení, A – automatické cílení).....	48

Literatura

- [1] Trimble S6 – Datasheet. [Online] 2013. [Citace: 28. duben 2016.]
http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-218010/022543-098L-CZE_TrimbleS6_DS_0613_LR.pdf
- [2] Trimble S8 – Datasheet [Online] 2015. [Citace: 28. dubna 2016.]
http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390412/022543-410H_TrimbleS8_DS_0115_LR_sec.pdf
- [3] Leica Nova TS60 – Datasheet [Online] 2015. [Citace: 28. dubna 2016.]
http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/tps/nova/ts60/leica_nova_ts60_ds_en.pdf
- [4] Trojnožky a centrace. [Online] 2012. [Citace: 28. duben 2016.]
<http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/59/trojnodlky-a-centrace>
- [5] Minihranoly. [Online] 2012. [Citace: 28. duben 2016.]
<http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/145/minihranoly>
- [6] Odrazné hranoly. [Online] 2012. [Citace: 28. duben 2016.]
<http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/60/odrazne-hranoly>
- [7] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [8] GNU Gama [Online] 2013. [Citace 28. dubna 2016.]
<https://www.gnu.org/software/gama/>

Seznam elektronických příloh

- Příloha 1 – S6_sit_lab_data.txt
- Příloha 2 – S6_sit_out_data_01052016.txt
- Příloha 3 – S6_sit_out_data_18032016.txt
- Příloha 4 – S6_zakladna_lab_data.txt
- Příloha 5 – S6_zakladna_out_data.txt
- Příloha 6 – S8_sit_lab_data.txt
- Příloha 7 – S8_sit_out_data_01052016.txt
- Příloha 8 – S8_sit_out_data_18032016.txt
- Příloha 9 – S8_zakladna_lab_data.txt
- Příloha 10 – S8_zakladna_out_data.txt
- Příloha 11 – TS60_sit_out_data_01052016.txt
- Příloha 12 – TS60_sit_out_data_18032016.txt
- Příloha 13 – S6_sit_lab_vypocet.xlsx
- Příloha 14 – S6_sit_out_vypocet_01052016.xlsx
- Příloha 15 – S6_sit_out_vypocet_18032016.xlsx
- Příloha 16 – S6_zakladna_lab_vypocet.xlsx
- Příloha 17 – S6_zakladna_out_vypocet.xlsx
- Příloha 18 – S8_sit_lab_vypocet.xlsx
- Příloha 19 – S8_sit_out_vypocet_01052016.xlsx
- Příloha 20 – S8_sit_out_vypocet_18032016.xlsx
- Příloha 21 – S8_zakladna_lab_vypocet.xlsx
- Příloha 22 – S8_zakladna_out_vypocet.xlsx
- Příloha 23 – TS60_sit_out_vypocet_01052016.xlsx
- Příloha 24 – TS60_sit_out_vypocet_18032016.xlsx
- Příloha 25 – S6_sit_lab_4000_smer.gkf
- Příloha 26 – S6_sit_lab_4000_vse.gkf

Příloha 27 – S6_sit_lab_6000_smer.gkf
Příloha 28 – S6_sit_lab_6000_vse.gkf
Příloha 29 – S6_sit_out_smer_01052016.gkf
Příloha 30 – S6_sit_out_smer_18032016.gkf
Příloha 31 – S6_sit_out_vse_01052016.gkf
Příloha 32 – S6_sit_out_vse_18032016.gkf
Příloha 33 – S8_sit_lab_4000_smer.gkf
Příloha 34 – S8_sit_lab_4000_vse.gkf
Příloha 35 – S8_sit_lab_6000_smer.gkf
Příloha 36 – S8_sit_lab_6000_vse.gkf
Příloha 37 – S8_sit_out_smer_01052016.gkf
Příloha 38 – S8_sit_out_smer_18032016.gkf
Příloha 39 – S8_sit_out_vse_01052016.gkf
Příloha 40 – S8_sit_out_vse_18032016.gkf
Příloha 41 – TS60_sit_out_smer_01052016.gkf
Příloha 42 – TS60_sit_out_smer_18032016.gkf
Příloha 43 – TS60_sit_out_vse_01052016.gkf
Příloha 44 – TS60_sit_out_vse_18032016.gkf
Příloha 45 – S6_sit_lab_4000_smer_vypocet.txt
Příloha 46 – S6_sit_lab_4000_vse_vypocet.txt
Příloha 47 – S6_sit_lab_6000_smer_vypocet.txt
Příloha 48 – S6_sit_lab_6000_vse_vypocet.txt
Příloha 49 – S6_sit_out_smer_vypocet_01052016.txt
Příloha 50 – S6_sit_out_smer_vypocet_18032016.txt
Příloha 51 – S6_sit_out_vse_vypocet_01052016.txt
Příloha 52 – S6_sit_out_vse_vypocet_18032016.txt
Příloha 53 – S8_sit_lab_4000_smer_vypocet.txt

Příloha 54 – S8_sit_lab_4000_vse_vypocet.txt

Příloha 55 – S8_sit_lab_6000_smer_vypocet.txt

Příloha 56 – S8_sit_lab_6000_vse_vypocet.txt

Příloha 57 – S8_sit_out_smer_vypocet_01052016.txt

Příloha 58 – S8_sit_out_smer_vypocet_18032016.txt

Příloha 59 – S8_sit_out_vse_vypocet_01052016.txt

Příloha 60 – S8_sit_out_vse_vypocet_18032016.txt

Příloha 61 – TS60_sit_out_smer_vypocet_01052016.txt

Příloha 62 – TS60_sit_out_smer_vypocet_18032016.txt

Příloha 63 – TS60_sit_out_vse_vypocet_01052016.txt

Příloha 64 – TS60_sit_out_vse_vypocet_18032016.txt