



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV GEODÉZIE**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEODESY

# TESTOVÁNÍ ROBOTICKÝCH TOTÁLNÍCH STANIC LEICA TCRP 1205+ A TOPCON GPT 9001A

TESTING OF ROBOTIC TOTAL STATIONS LEICA TCRP 1205+ AND TOPCON GPT 9001A

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MICHAL GAŠPARÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Michal Gašparík
<b>Název</b>	Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

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

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

## **Podklady a literatura**

Manuály a technické specifikace testovaných přístrojů.

## **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Uskutečňte testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A. Zaměřte se na funkce automatického cílení a sledování hranolu. Kde bude možné porovnejte výsledky testů s údaji výrobce.

## **Struktura bakalářské/diplomové 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. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Bakalárska práca Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A sa zaoberá overením automatizovaných funkcií robotických totálnych staníc. Teoreticky a prakticky rozoberá technológiu automatického cielenia a sledovania hranola. Praktická časť testovania bola uskutočnená najskôr v ideálnych laboratórnych podmienkach, potom boli pokusy zopakované v reálnom prostredí, v teréne. Pri testovaní automatického sledovania hranola sa pozoroval najmä vplyv prekážok a okolia. Testovanie automatického cielenia bolo porovnávané s cielením manuálnym. Záver práce konfrontuje dosiahnuté výsledky s firemnými údajmi.

## **Klíčové slová**

robotická totálna stanica, testovanie, Topcon GPT 9001A, Leica TCRP 1205+

## **Abstract**

Bachelor's thesis Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A deals with the verification of automated features of robotic total stations. It discusses the technology of automatic targeting and tracking the prism theoretically and practically. The practical part of the test was performed first in ideal laboratory conditions, and then experiments were repeated in a real environment, in the field. Mainly the influence of barriers and environment was observed during the testing of automatic tracking the prism. The testing of automatic targeting was compared with the manual targeting. The conclusion of the thesis confronts achieved results with the corporate specifications.

## **Keywords**

robotic total station, testing, Topcon GPT 9001A, Leica TCRP 1205+

## **Bibliografická citácia VŠKP**

GAŠPARÍK, Michal. Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A. Brno, 2014. 60 s., 37 s. příl. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedúci práce Ing. Radovan Machotka, Ph.D..

**Čestné vyhlásenie:**

Vyhlasujem, že som bakalársku prácu s názvom Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A spracoval samostatne s použitím uvedených informačných zdrojov.

V Brne dňa 30.5.2014

.....  
podpis autora  
Michal Gašparík

**Podakovanie:**

Moja vďaka patrí vedúcemu bakalárskej práce Ing. Radovanovi Machotkovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a odborné pripomienky pri spracovaní práce.

V Brne dňa 30.5.2014

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Prístroje a pomôcky</b>	<b>11</b>
1.1 Historický vývoj merania uhlov a dĺžok	11
1.2 Topcon GPT 9001A	15
1.3 Leica TCRP 1205+	16
1.4 Technické dáta	17
1.5 Leica GRZ 4 360°	17
<b>2 Analýza robotických funkcií</b>	<b>18</b>
2.1 Topcon 9001A	18
2.1.1 Princíp detekcie polohy hranola	18
2.1.2 Rozsah pre automatické cielenie a sledovanie	19
2.1.3 Automatické vyhľadanie reflektora	19
2.2 Leica 1205+	20
2.2.1 Princíp automatického rozpoznania cieľa - ATR	20
2.2.2 Presnosť automatického cielenia	21
2.2.3 Automatizované vyhľadanie reflektora	22
<b>3 Testovanie v laboratórnych podmienkach</b>	<b>23</b>
3.1 Prostredie a podmienky merania	23
3.2 Porovnávací test cielení	23
3.2.1 Manuálne cielenie	24
3.2.2 Automatizované zacielenie	25
3.2.3 Výsledky experimentu	25
3.2.3.1 Test extrémnych odchýlok od priemeru	25
3.2.3.2 Test strednej chyby	26
3.3 Automatické sledovanie hranola	32
3.3.1 Priebeh merania	32
3.3.2 Výsledky pokusov	33
<b>4 Testovanie v teréne</b>	<b>35</b>
4.1 Lokalita a okolné podmienky	35
4.2 Porovnávací test cielení	36
4.2.1 Manuálne cielenie	36
4.2.2 Automatizované zacielenie	37
4.2.3 Výsledky experimentu	37
4.3 Automatické sledovanie hranola	40



4.3.1	Voľba lokality . . . . .	40
4.3.2	Priebeh merania . . . . .	41
4.3.2.1	Test úplného zakrytia reflektora . . . . .	41
4.3.2.2	Test čiastočného zakrytia reflektora . . . . .	41
4.3.3	Vyhodnotenie pokusov . . . . .	44
4.3.3.1	Test úplného zakrytia reflektora . . . . .	44
4.3.3.2	Test čiastočného zakrytia reflektora . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Vyhodnotenie testov</b>	<b>47</b>
5.1	Porovnanie dosiahnutých výsledkov . . . . .	47
5.1.1	Test cielení . . . . .	47
5.1.2	Test automatického sledovania reflektora . . . . .	48
5.2	Zhodnotenie udávaných presností . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>53</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>55</b>
	<b>Zoznam symbolov, veličín a skratiek</b>	<b>57</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>60</b>

---

## ÚVOD

Od druhej polovice 20. storočia bol s nástupom výpočtovej techniky zaznamenaný rýchly rozvoj vo všetkých odvetviach. Optické a mechanické geodetické prístroje začali postupne nahrádzať elektronické, ktoré značne urýchlili zememeračské práce v teréne. V roku 1990 uviedla na trh švédská firma AGA prvé robotické totálne stanice *System 4000*, ktoré sa s využitím servo motorov dokázali automaticky natáčať k určitému bodu. Toto vylepšenie umožnilo diaľkové meranie bez závislosti od obsluhy prístroja.

Moderné prístroje sú v dnešnej dobe schopné merať geometrické veličiny s vysokou presnosťou. Presnosť je závislá od mnohých faktorov, ktoré zafážujú meranie chybami a ich odstránenie býva kvôli ich pôvodu problematické. Bakalárska práca Testování robotických totálních stanic Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A sa zaoberá testovaním technológie automatického cielenia a sledovania hranola robotickými totálnymi stanicami Leica TCRP 1205+ a Topcon GPT 9001A.

Cieľom práce bolo zistiť či údaje uvádzané výrobcom sú spoľahlivé aj pri bežnom meraní. Naše testovanie prebiehalo najskôr v laboratórnych podmienkach za konštantných atmosférických podmienok, neskôr sme meraním v teréne zisťovali presnosť nameraných dát zafážených rôznymi vplyvmi prostredia.

V jednotlivých kapitolách práce sú popísané testované prístroje s ich charakteristikami presnosti, pomôcky použité pri testovaní a automatizované technológie totálnych staníc. Na to naväzujú kapitoly s popisom metodiky vlastných experimentov a ich vyhodnotením. V závere práce sú zhodnotené dosiahnuté výsledky a následne konfrontované s firemnými údajmi.

# 1 PRÍSTROJE A POMÔCKY

## 1.1 Historický vývoj merania uhlov a dĺžok

Uhlové merania využívané pri mapovaní, v kartografii, či navigácii majú dlhú históriu. Základy, vedúce k zdokonaleniu jednoduchých astrometrických prístrojov, vznikli zrejme už v antike, hoci prvé nástroje boli známe približne od roku 400. Prvý písomný dokument o prístroji, považovaný za akéhosi predchodcu teodotitu, bol vytvorený Heronom z Alexandrie. Toto zariadenie nazval *Dioptra* (obr. 1.1). Dioptra sa skladala z ozubených kovových častí, umožňujúcich nastavenie požadovaného smeru.[1] Súčasťou Heronovej Dioptry bol aj nivelačný prístroj, ktorý sa nasadzoval na ozubený kovový kruh. Vodorovná rovina bola realizovaná pomocou urovňovania dvoch spojených nádob naplnených vodou.[20]



Obr. 1.1: Dioptra

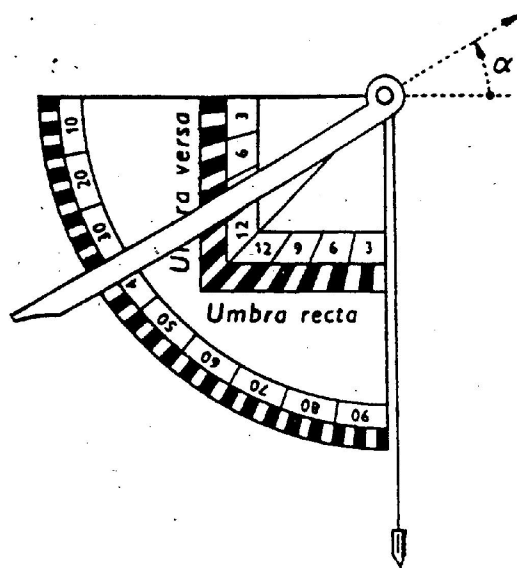


Obr. 1.2: Ahmadov astroláb

V stredoveku, kvôli presadzovaniu duchovných právd z Biblie, nastal v zememeračstve a kartografii úpadok. Vzdelanosť v týchto oblastiach sa k nám dostala až po osídlení Pyrenejského poloostrova Arabmi. Za rozvojom stredovekých uhloerných prístrojov - *astrolábov*, vznikom odbornej zememeračskej terminológie a zavedením desiatkovej početnej sústavy stojí vplyv arabských krajín. Najstarší zachovaný astroláb bol vyrobený arabským astronómom Ahmadom ibn Chaláfom (obr. 1.3) z roku okolo 950. Boli to závesné kotúče s vyznačenými stupňami na kruhovej stupnici, spojené s otočným ramenom, tzv.

alhidádou, slúžiace na odčítanie zvislých uhlov.

Za najrozšírenejšiu stredovekú uhlo-  
mernú pomôcku v astronómii, zeme-  
meračstve a navigácii sa považoval  
kvadrant. Jeho hlavnú stupnicu tvo-  
ril štvrtinový výsek kružnice, na kto-  
rej bolo možné odčítať výškový uhol,  
buď pomocou alhidády alebo olovnice.  
Kvadrant mohol byť doplnený o stup-  
nicu pre určenie tangensu uhlu.[16]  
Zlepšenie presnosti astrometrických  
a geodetických prístrojov zaznamenalo  
v 15. storočí pokrok, keď viedenský  
profesor astronómie Georg von Peuer-  
bach začal uvádzať na prístrojoch hod-  
noty tabulovaných trigonometrických  
funkcií. Najznámejším predstaviteľom  
sa stal *Puerbachov geometrický štvorec*, kde bol primárne zameraný tangens uhlu,  
ktorý sa previedol do stupňovej podoby.[4]



Obr. 1.3: Kvadrant



Obr. 1.4: Prístroj na meranie uhlov  
nazvaný Instrument Topographicall

pôvodne označenie pre horizontálny kruh, čo sa neskôr prenieslo na pomenovanie

V 16. storočí sa začal rozvoj prvých  
nástrojov navrhnutých pre presné meranie  
uhlov v horizontálnej a vertikálnej rovine  
pre účely mapovania. Najstaršia zmienka  
o dovedy najpresnejšom uhlovom prístroji  
s názvom *Polimetrum*, sa nachádza v spise  
Gregora Reische *Margarita Philosophica*,  
zostrojenom v roku 1512. Neskôr v roku  
1571 popísal anglický vedec Leonard Dig-  
ges vo svojej práci *A Geometrical Prac-  
tise named Pantometria* sériu troch me-  
račských nástrojov. "V první knize Lon-  
gimetria, kap. 27, je nadpis *The compo-  
sition of the instrument called Theodoli-  
tus, v němž je poprvé použit název teodo-  
litu.*"[4] Ich kombináciou vznikol prístroj  
umožňujúci meranie horizontálnych a ze-  
nitových uhlov, ktorý dostal názov *Instru-  
ment Topographicall*. [1] Theodelitus bolo

pre celý prístroj. 17. storočie prinieslo ďalšie zlepšenie prístrojov nahradením drevených konštrukcií za kovové, ale najmä zabudovanie optického ďalekohľadu.

V 19. storočí Francúz Moinot doplnil teodolit *nitkovým dialkomerom*, čím umožnil rozvoj novej meračskej metódy - *tachymetrie*. Takto navrhnutý teodolit dostal názov *tachymeter*, ktorý bol neskôr rôzne zdokonaľovaný a na prelome 20. storočia bol už relatívne ľahkým a univerzálnym meracím prístrojom. O ďalší významný vývoj teodolitu sa zaslúžil švajčiarsky konštruktér Heinrich Wild. Ten od roku 1905 pripravoval návrh svojho nového univerzálneho sekundového teodolitu minimálnych rozmerov (výška 24 cm a váha 4,5 kg). Išlo o prístroj vybavený optickým dostredovačom a novou konštrukciou dvoch sústredných uhlových stupníc. Tento nový *dvojkruhový teodolit* sa začal vyrábať od roku 1921 v Heerbrugu.[16]



Obr. 1.5: Tachymeter

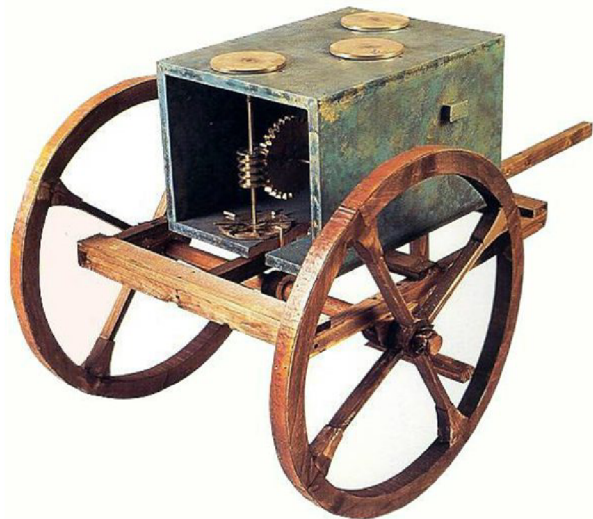


Obr. 1.6: Teodolit Wild Th1

"Vývoj měřických metod byl značně pomalý. Až do poloviny 20. století výrazně zaostával za teodolity." [13] Medzi jednu z najstarších pomôcok na určovanie vzdialeností patrí meračský *povraz*, využívaný v Egypte od 14. storočia pred naším letopočtom. Spolu s povrazom boli používané aj meračské *laty* a *prúty*. Približne v 1. storočí pr. n. l. rímsky staviteľ Pollio Vitruvius popísal meračské *koleso* s automatickou registráciou - *hodometer*. Meračský *reťazec* ako predchodca pásma bol prvýkrát použitý v novoveku na území Holandska.[4] Hlavné nevýhody meračského povrazu, ktorý sa vplyvom vlhkosti preťahoval a meračského reťazca, ktorý sa rýchlo opotreboval, v neskorších dobách nahradilo používanie *ocelového pásma*. [5] Začiatok 19. storočia odštartoval vývoj *nitkových dialkomerov*. [4]

Skutočné uľahčenie merania vzdialeností predstavovalo až použitie optických dialkometerov na prelome 19. a 20. storočia. Najväčší rozvoj optických dialkomerných prístrojov sa pripisuje švajčiarskej firme Kern v Aarau. S ohľadom na požadovanú presnosť bolo možné určovať vzdialenosti do 140 m.[16] Prelom v technológii určovania vzdialeností spočíval vo využití elektromagnetického vlnenia, ktoré výrazne skrátilo čas merania a pozitívne ovplyvnilo aj presnosť nameraných dĺžok.

Švédsky fyzik Erik Bergstrand začal s pokusmi využitia svetelného žiarenia a v roku 1947 uskutočnil prvé meranie s prototypom elektronického dialkomeru zostrojeného firmou AGA. Neskôr sa tento dialkometer začal komerčne predávať pod názvom *Geodimeter*. [1] Prvý elektronický teodolit, ktorý kombinoval uhlomerne a dialkomerné zariadenie, sa vyrobil pod názvom *Geodimeter 700*. Pojem totálna stanica sa začal používať po uvedení *Geodimeteru 140*, ktorý bol vybavený technológiou elektronického merania uhla a obsahoval dvojsový kompenzátor. Začiatkom 90. rokov začala spoločnosť integrovať do prístrojov servo motory. Prvým predstaveným modelom bol *System 4000*, ktorý odštartoval éru robotických totálnych staníc. [6]



Obr. 1.7: Hodometer



Obr. 1.8: Geodimeter 142



Obr. 1.9: Geodimeter System 4000

## 1.2 Topcon GPT 9001A

Totálna stanica (TS) je vybavená úplným stupňom motorizácie. Farebné užívateľské rozhranie beží na operačnom systéme *Windows CE*, ktorý obsahuje programové vybavenie pre geodetické merania *TopSURV*. Na meranie neprístupných vzdialeností je TS vybavená bezhranolovým režimom. Veľké vzdialenosti je možné merať v dlhom bezhranolovom móde, ktorého dosah výrobca uvádza na 2000 metrov. Sledovanie a vyhľadanie cieľa je realizované pomocou laserového lúča, vychádzajúceho zo šošovky objektívu. O sledovaní cieľa prístrojom informuje LED dióda, umiestnená v hornej časti ďalekohľadu. Namerané dáta sú automaticky ukladané do internej pamäte prístroja alebo na pamäťovú kartu. Pri testovanej TS je možnosť použiť spojenie s osobným počítačom, ktorým sa pomocou komunikačných príkazov dajú ovládať robotické funkcie stanice. Natočenie TS alebo ďalekohľadu umožňuje dvojica automatických pohyboviek *Jog-Schuttle*. Hrubá pohybovka *Schuttle* má význam približného nastavenia smeru. Disponuje siedmimi rýchlosťami otáčania TS, čo umožňuje značný uhlový posun za minimálny čas. Zatiaľ, čo jemná pohybovka *Jog* je využívaná na presné docielenie. Jej minimálny uhlový krok zodpovedá hodnote asi 1".[19]



Obr. 1.10: Robotická totálna stanica Topcon GPT 9001A

### 1.3 Leica TCRP 1205+

Rovnako ako prvá TS je aj Leica vybavená plným stupňom motorizácie. Bez-káblková komunikácia s príslušenstvom je zabezpečená rádiovým spojením. Programové prostredie, zobrazené vysoko kontrastným farebným dotykovým displejom, je tvorené operačným systémom *Windows CE*. Dáta je možné zaznamenať do internej pamäti prístroja alebo pre rýchlejšiu integráciu s inými prístrojmi na pamäťovú kartu *CompactFlash*. V časti teleskopu sú integrované viaceré komponenty ako elektronický dialkomer, vytyčovacie svetlo obsahujúce blikajúcu žltú a červenú diódu, snímač pre funkciu ATR, vysielač a prijímač signálov pre funkciu Power Search. Elektronický dialkomer disponuje v bezhranolovom režime technológiou PinPoint. Tá jednak zvyšuje dosah nameraných vzdialeností pri vhodnej reflektivite až na 1200 m a zároveň minimalizuje veľkosť viditeľnej laserovej bodky, slúžiacej na signalizáciu smeru. Pomocou zabudovanej Bluetooth bezkáblovej technológie je možná výmena dát s PDA alebo mobilným telefónom. Pre kompletnú správu a spracovanie nameraných údajov je možné využiť kancelársky softvér *Leica Geo Office*. Manuálne celenie je možné prostredníctvom dvoch nekonečných mechanických pohyboviek.[9],[8]



Obr. 1.11: Robotická totálna stanica Leica TCRP 1205+



## 1.4 Technické dáta

Schopnosti a parametre totálnych staníc sú deklarované ich technickými dátami, ktoré sú rozhodujúce pre voľbu prístrojového vybavenia v rôznych geodetických úlohách. Tieto údaje bývajú uvedené v manuáloch vydávaných k TS a obsahujú kompletné informácie o vlastnostiach prístroja a jeho stredných chybách. Z dôvodu veľkého rozsahu tejto kapitoly by nebolo účelné uvádzať všetky dáta, ale len vybrané časti dôležité pre testovanie.

Tab. 1.1: Vybrané technické dáta testovaných totálnych staníc

	Topcon GPT 9001A	Leica TCRP 1205+
Presnosť merania uhlov <sup>1</sup>	0,3 mgon	1,5 mgon
Minimálne čítanie	0,1 mgon	0,1 mgon
Presnosť merania dĺžok	2 mm + 2 [ppm]	1 mm + 1.5 [ppm]
Zorné pole	1,66 gon	1,66 gon
Zväčšenie ďalekohľadu	30 x	30 x
Max. rýchlosť rotácie	85°/sec	45°/sec
Uhlová presnosť aut. cielenia	2"	1"
Max. rýchlosť aut. sledovania	15°/sec	14°/sec
Min. vzdialenosť pre aut. cielenie	neuvadené	1,5 m
Min. vzdialenosť pre aut. sledovanie	8 m	5 m

## 1.5 Leica GRZ 4 360°

Panoramatický reflektor firmy Leica pozostáva zo šiestich samostatných hranolov rovnomerne rozmiestnených po celom obvode. Tým je zaručený odraz signálu z ľubovlného smeru. Jeho vrchnú a spodnú stranu dopĺňujú dve širšie gumené časti, tvoriace ochrannú funkciu voči nárazu. Celková priestorová presnosť reflektora je 5 mm. Cielením na stranu označenú žltou šipkou je však možné zlepšiť ju na 2 mm. Uvádzaná konštanta hranola +23,1 mm.[12]



Obr. 1.12: Reflektor Leica GRZ 4 360°

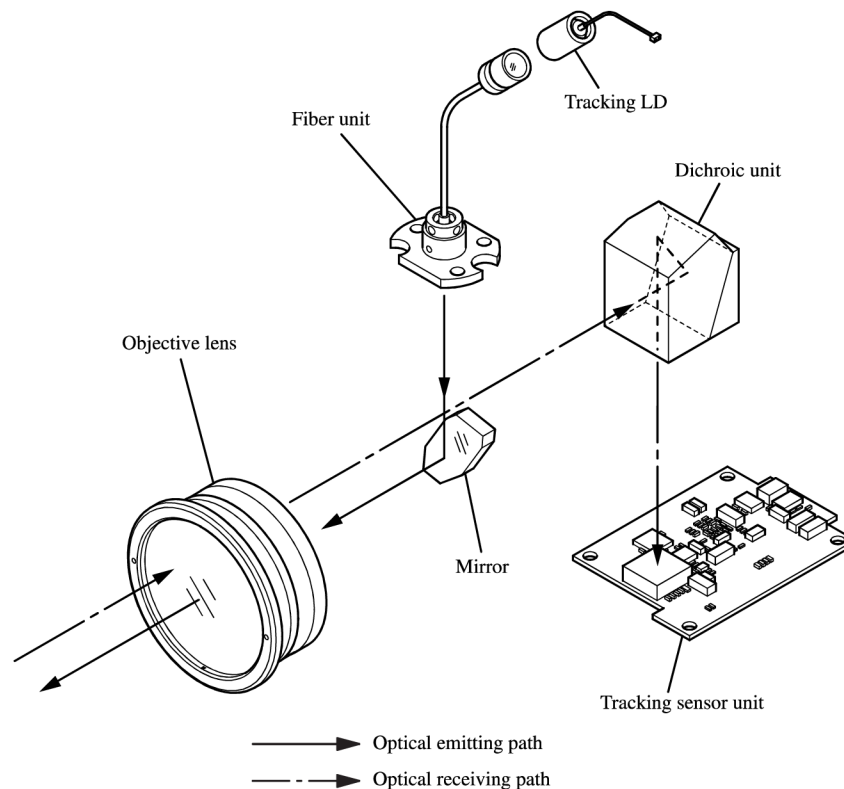
<sup>1</sup>V prípade TS Topcon je certifikovaná podľa DIN 18723, v prípade TS Leica podľa ISO 17123-3.

## 2 ANALÝZA ROBOTICKÝCH FUNKCIÍ

### 2.1 Topcon 9001A

#### 2.1.1 Princíp detekcie polohy hranola

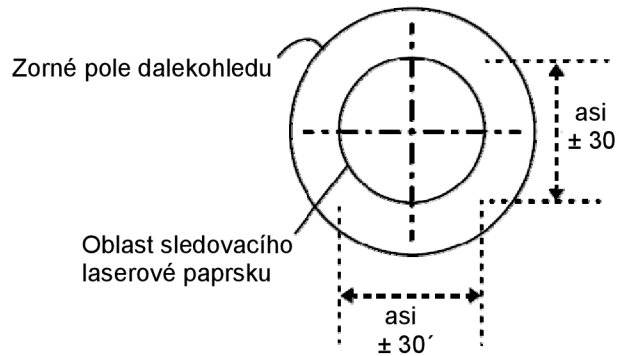
Totálna stanica vyšle laserový lúč prostredníctvom optickej vyžarovacej jednotky. Základom vyžarovacej jednotky je laserová dióda, ktorá produkuje svetelný lúč o vlnovej dĺžke 690 nm. Lúč vyslaný diódou prechádza cez kondenzátorovú šošovku, vlákno, zrkadlo a šošovku objektívu. Pri výstupe z optickej sústavy dochádza k rozptylu svetelného lúča. Reflektované svetlo sa pomocou odrazového hranola vracia späť. Najskôr prechádza cez šošovku objektívu a postupuje popri zrkadle, až dorazí k dichroickému hranolu. Svetlo, ktoré prejde vnútrom tohoto hranola, je vo finálnej fáze zachytené CCD čipom. Ten je súčasťou sledovacej jednotky. Princíp detekcie zmeny polohy hranola spočíva v zmene jeho obrazu na CCD čipe. To znamená, že ak sa zmení poloha odrazového hranola, tak sa zmení aj obraz jeho polohy na čipe. Pomocou motorov sa prístroj snaží vrátiť prijatý signál do východiskovej polohy, čím dochádza k zacieleniu ďalekohľadu. Princíp šírenia svetelného lúča a jeho detekcie snímačom totálnej stanice je znázornený na obr. 2.1.[18]



Obr. 2.1: Princíp detekcie polohy hranola

### 2.1.2 Rozsah pre automatické cielenie a sledovanie

Rozptyl laserovej stopy od optickej osi ďalekohľadu je v prípade veľkej vzdialenosti udávaný hodnotou asi  $\pm 30'$ . Tento rozsah zobrazuje schéma na obr. 2.2. Pri sledovaní reflektora na krátku vzdialenosť je rozsah laserovej stopy totožný s oblasťou zorného poľa. Pri automatickom celení je možné hrubé zacielenie objektívom na hranol, v rámci vyhľadávacej oblasti s rozsahom  $\pm 5^\circ$ . [19]



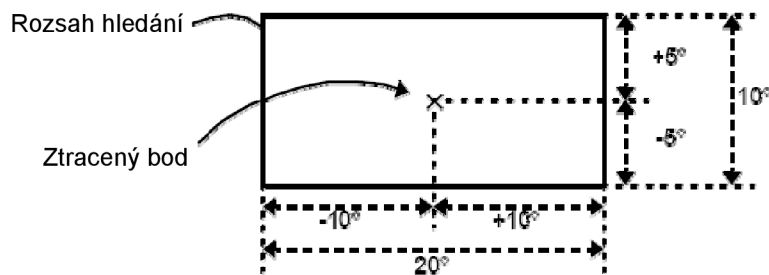
Obr. 2.2: Rozsah laserového lúča na veľkú vzdialenosť

### 2.1.3 Automatické vyhľadanie reflektora

Pri strate signálu sa prístroj automaticky prepne do režimu čakania. Ak sa v rámci čakania hranol nájde, pokračuje TS v jeho sledovaní. Po uplynutí čakacej doby sa spustí funkcia automatického vyhľadávania, pomocou otáčania prístroja.

Vyhľadanie hranola je možné vykonať podľa dvoch šablón. Prvá prehľadáva oblasť straty hranola pseudo-špirálovitým pohybom, druhá hľadá hranol vo veľmi krátkej dobe. Vyhľadanie podľa zvolenej šablóny prebehne dvakrát po sebe. Po neúspešnom hľadaní sa prístroj prepne do manuálneho režimu.

Po výbere vyhľadávacej šablóny je nutné nastaviť oblasť automatického hľadania. Tá určuje plochu, v ktorej dochádza k rotácii ďalekohľadu. Za stred plochy je považované miesto straty signálu. Táto oblasť sa nazýva rozsah hľadania a príklad jej konfigurácie zobrazuje obr. 2.3. [19]



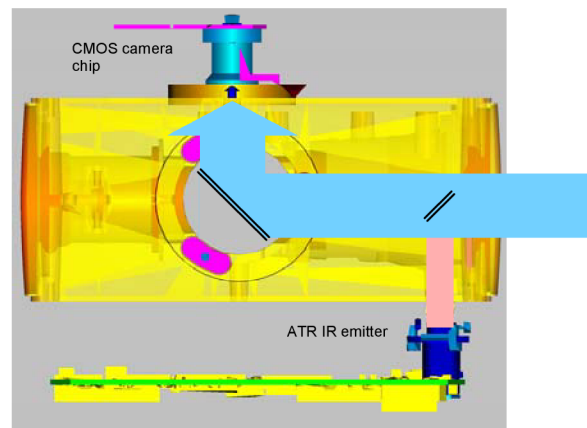
Obr. 2.3: Rozsah hľadania: Hz  $10^\circ$ , V  $5^\circ$

## 2.2 Leica 1205+

### 2.2.1 Princíp automatického rozpoznania cieľa - ATR

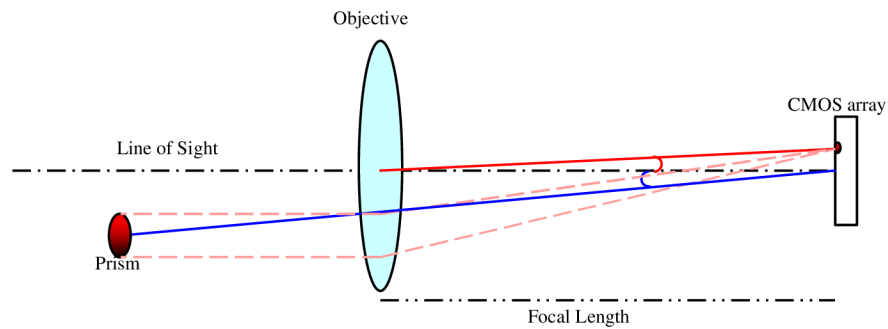
Firma Leica označuje svoju technológiu automatického vyhľadania termínom Automatic Target Recognition, v skratke ATR. Je to vlastne pomenovanie pre senzor, ktorý dokáže identifikovať hranol a súčasne určiť jeho polohu pomocou pozície na obrazovom čipe. Narozdiel od predošlých generácií, využívajúce na snímanie obrazu CCD, je v testovanom prístroji použitý snímací čip CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) s dvojrozmernou oblasťou. Jeho výhoda spočíva v rozpoznaní jasného a ostrého obrazu aj v žiarivom prostredí a v jeho rýchlom spracovaní. Použitý CMOS senzor má pixel s veľkosťou  $6 \mu\text{m}$ . Táto veľkosť dokázala zvýšiť rozlíšenie obrazu a teda zvýšiť aj presnosť merania.

Princíp detekcie hranola je založený na vyslaní infračerveného laserového lúča. Ten sa šíri priestorom, totožne s osou ďalekohľadu. Laserový lúč, odrazený od reflektora v zornom poli, sa vracia späť k prístroju. Ten je prenesený optickou sústavou k CMOS čipu, kde sa zaznamená jeho obraz. Schému snímača ATR popisuje obr. 2.4. Generátor laserového lúča je umiestnený v spodnej časti ďalekohľadu a vo vrchnej časti sa nachádza čip CMOS.

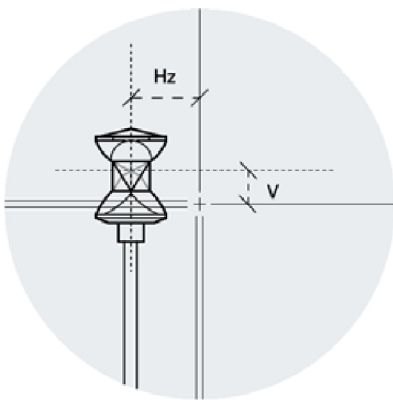


Obr. 2.4: Uloženie ATR snímača

Meranie, využívajúce obrazovú technológiu, je založené na určení polohovej informácie pixlu. V dvojrozmernej oblasti CMOS snímača sa preto nachádzajú pixle v horizontálnom a vertikálnom smere. Týmto usporiadaním vytvárajú pixle miestny súradnicový systém a vďaka tomu má každý pixel svoje súradnice  $x$ ,  $y$ . Polohu (súradnice) stredu hranola na CMOS snímači geometricky zobrazuje obr. 2.5. Obraz reflektora sa cez optickú sústavu preniesie na plochu snímača CMOS. Pri známej ohniskovej vzdialenosti a veľkosti pixlu dokáže stanica spočítať uhol (odchýlku) medzi stredovou líniou (bodkočiarkovaná línia) a spojnicou stredu objektívu so stredom obrazu na snímači (červená línia). Tento uhol je totožný s uhlom zovretým medzi priamou líniou a spojnicou stredu hranola a stredu snímača CMOS (modrá línia). Takto dokáže TS zistiť reálnu polohu reflektora voči stredu CMOS snímača.



Obr. 2.5: Princíp detekcie polohy hranola



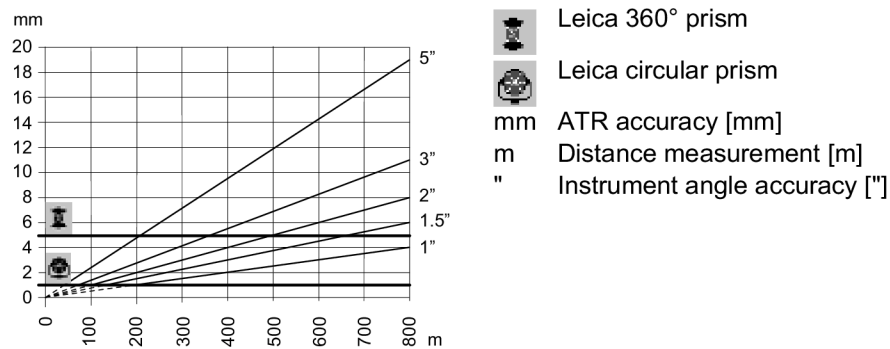
Obr. 2.6: Hz a V odchýlka

Aby mohol nastať pohyb zámerného kríža, musí sa meraním polohy pixlu na snímači určiť horizontálna (Hz) a vertikálna (V) odchýlka reflektora od stredovej línie (obr. 2.6). Zistené odchýlky sú potom využité buď na motorizované navedenie teleskopu smerom do stredu hranola, alebo na určenie definitívneho uhla. Rozsah, v ktorom je možné určiť skutočný uhol, sa mení v závislosti od zvolenej presnosti merania dĺžky. Pri najpresnejšom režime (STD) sa prístroj natáča do stredu hranola v rámci uhlovej odchýlky 50 cc od stredu.

Po dosiahnutí odchýlky sa konečný uhol určí algoritmom. Pri menej presných režimoch (FAST, TRK) je finálny uhol určený v rámci odchýlky 400 cc. Softvérové určenie definitívneho uhla znižuje čas potrebný na meranie.[11]

### 2.2.2 Presnosť automatického cielenia

Presnosť určenia polohy pomocou ATR je závislá od viacerých faktorov. Medzi ne radíme vnútornú presnosť ATR, uhlovú presnosť prístroja, typ hranola a režim merania dĺžok. Nominálne je základná polohová presnosť ATR uvádzaná v podobe smerodajnej odchýlky s hodnotou  $\pm 1$  mm. Udávaná uhlová presnosť ATR vo vodorovnom a zvislom smere má veľkosť 1", avšak so zvyšujúcou sa vzdialenosťou začne prevládať uhlová presnosť prístroja. Miera presnosti ATR v závislosti od typu hranola a presnosti použitej TS je zobrazená na grafe (obr. 2.7).[9]

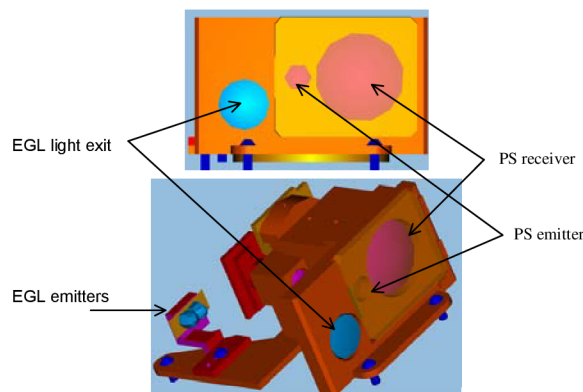


Obr. 2.7: Graf závislosti presnosti ATR od meranej vzdialenosti

### 2.2.3 Automatizované vyhľadanie reflektora

Základnú možnosť ako vyhľadať stratený reflektor, ponúka senzor ATR. Rozsah ATR je daný veľkosťou zorného poľa ďalekohľadu. Ak sa v rámci zorného poľa reflektor nenachádza, ATR ho začne vyhľadávať podľa preddefinovanej vyhľadávacej šablóny. Avšak v prípade, že hranol nie je v rámci tejto šablóny nájdený, vyhľadávacie okno sa iteratívne zväčšuje. Vyhľadávacie okno nadobúda charakter zväčšujúceho sa obdĺžnika. Možnosť vyhľadania reflektora pomocou ATR býva častokrát zdĺhavá a vyžaduje si obsluhu pri opakovaní vyhľadávacieho cyklu.

Pomocou senzoru Power Search (PS) dokáže TS vyhľadať hranol do desiatich sekúnd. Senzor PS sa skladá z dvojice snímačov (žiarič a prijímač) umiestených v hornej časti teleskopu (obr. 2.8). Pri spustení vyhľadávania funkciou PS začne prístroj rotovať okolo svojej osi. Zo žiariča je kontinuálne vysielaný laserový pás s vertikálnym rozmerom  $20^\circ$  a šírkou  $10^\circ$  v horizontálnom smere. Akonáhle zaznamená prijímač odrazený lúč, TS sa zastaví. Následne začne senzor ATR prehľadávať už len vertikálny smer. Ak ATR hranol nenájde, pokračuje prehľadávanie pomocou PS.



Obr. 2.8: Poloha žiariča a prijímača senzoru PS

## 3 TESTOVANIE V LABORATÓRNYCH PODMIENKACH

### 3.1 Prostredie a podmienky merania

Prvá časť pokusov na totálnych stanicích bola vykonaná v laboratóriu ústavu geodézie. Išlo o miestnosť B150 s osadenými piliermi, kde niektoré z nich boli využité ako stanoviská. Dôvodom pre merania v interiéri boli hlavne takmer nemenné poveternostné podmienky. V priemere sa tu teplota pohybovala okolo 20°C. Osađením prístroja a cieľa na piliere, teda nútenou centráciou, sme taktiež eliminovali niektoré náhodné vplyvy, ktoré by mohli narušiť kvalitu zberaných dát. Išlo predovšetkým o vylúčenie vplyvu sadania, alebo vytlačania statívu, vplyvu osvetlenia statívu a prístroja a porušenie centrácie a horizontácie prístroja alebo terča pri neopatrnnej manipulácii.



Obr. 3.1: Pilierová miestnosť B150

### 3.2 Porovnávací test cielení

Prvý test sa sústredil na overenie presnosti automatického a ručného cielenia. Testovaním za laboratórnych podmienok a minimalizáciou nepresností pri manuálnom cielení sme sa obmedzili na prítomnosť prístrojových chýb. Dosiahnuté presnosti boli porovnávané s firemnými údajmi.

### 3.2.1 Manuálne cielenie

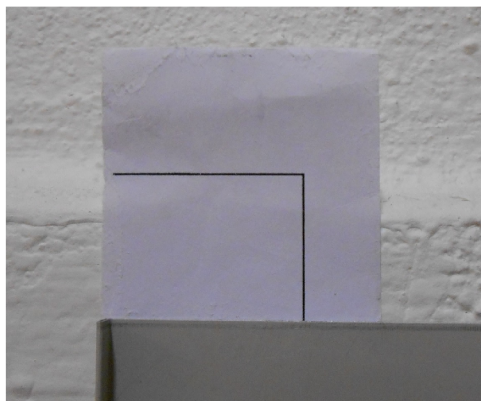
Pred samotným započatím experimentu bolo nutné stanoviť si technológiu merania a pripraviť vhodný cieľ. Keďže výrobca oboch TS sľubuje vysokú presnosť robotického cielenia, museli sme čo najviac zvýšiť presnosť cielenia manuálneho. *"Presnost cílení má více povahu fyziologickou než technickou. Je chybou náhodnou a řídí se v určitém intervalu, který je dán rozlišovací mezí systému dalekohled - oko, vzájemným tvarem záměrného obrazce a cíle, kontrastem obrazu a dalšími podmínkami, zákonem stejné pravděpodobnosti."* [14] Odhad strednej chyby v cielení nie je jednoznačný. Závisí od tvaru cieľa, zámerného kríža, od kvality ďalekohľadu. Pre odhad strednej chyby je možné použiť vzorec

$$m_z \approx p_z \left( z \sqrt{3} \right)^{-1}, \quad (3.1)$$

kde hodnota  $p_z$  závisí od typu cieľa a  $z$  je zväčšenie ďalekohľadu. Pri cielení ryskou na bod je hodnota  $p_z \approx 180^{\text{cc}}$ . Pri koincidencii dvojrysky na bod je  $p_z \approx 90^{\text{cc}}$  a pri optickej koincidencii dvojrysky na rysku je možné dosiahnuť hodnoty  $p_z \approx 30^{\text{cc}}$ . [14]

Uvedené fakty sme využili pri navrhovaní cieľa. Ten náš bol tvorený dvoma navzájom kolmými ryskami, začínajúcimi v ich spoločnom priesečníku a pokračujúcimi smerom dolava a nadol. Z vyššie uvedeného vzťahu 3.1, sme tak dokázali určiť teoretickú presnosť cielenia na  $p_z \approx 0,6^{\text{cc}}$ . Línie terča boli vytlačené čiernou farbou na tvrdý biely papier (maximálny kontrast). Terč bol vyrovnaný do vodorovnej, resp. zvislej polohy podľa nitkového kríža ďalekohľadu. Jeho poloha bola zafixovaná páskou.

Na cieľovú značku terča sme opakovane mierili z ôsmich rôznych smerov (zhora, zdola, sprava, zľava a po diagonálach). V praxi to vyzeralo tak, že terč (príp. reflektor) ležiaci v rámci zorného poľa, sa nachádzal vždy v jednom z ôsmich smerov od stredu nitkového kríža. Z tohoto stavu bolo následne manuálne, resp. automaticky zacielené na stred cieľa. Cielenie nebolo uskutočnené podľa žiadnej šablóny. Vybraný smer bol volený náhodne s ohľadom na rovnomerné zastúpenie všetkých smerov. Takýmto spôsobom bol simulovaný priebeh bežného uhlového merania, kde je smer docielenia volený podľa aktuálneho rozhodnutia merača.



Obr. 3.2: Terč v laboratóriu



### 3.2.2 Automatizované zacielenie

Tento experiment spočíval vo využití cielenia pomocou totálnej stanice. Mierilo sa na panoramatický hranol, umiestnený na najvzdialenejšom pilieri vo vzdialenosti 12 metrov. V testoch bol použitý iba reflektor Leica GRZ4 360°. Dôvodom bolo jeho časté využívanie v spojení s robotickou TS. Špeciálne bola vybraná tá strana reflektora, kde sa nachádzala žltá šípka. Tu sľubuje výrobca najvyššiu polohovú presnosť, konkrétne 2 mm.[12] Hranol na strane so šípkou bol ďalej veľmi presne natočený na totálnu stanicu, aby nedochádzalo k excentrickým odrazom.

Postup merania bol realizovaný rovnakou technológiou ako pri pokuse s manuálnym cielením. Opakovane sa teda určovala poloha stredu reflektora, navádzaním zámerného kríža, z ôsmich smerov. Rozdiel nastal iba pri zázname dát. K meraným hodnotám sa pripisoval aj smer, v ktorom sa pred docielením nachádzal odrazový hranol. Graficky je vzájomná poloha hranola a zámerného kríža pred docielením zobrazená v prílohe A.1. Aby sa minimalizoval čas, potrebný na vyhľadanie reflektora, nachádzal sa vždy len v oblasti zorného poľa. Navrhnutým spôsobom sme chceli odhaliť systematickú chybu prístroja, resp. prístrojovú vadu, ktorá by mohla vzniknúť pri docielení z konkrétneho smeru a nepriaznivo by ovplyvňovala presnosť automatického cielenia.

### 3.2.3 Výsledky experimentu

Každý nameraný súbor dát je potrebné vyhodnotiť. Aby mal patričnú výpovednú hodnotu, je nutné si zvoliť kvantifikovateľné parametre. Tomuto účelu sa podriaďuje aj technológia získavania potrebných údajov. Metodikou zberu dát sme sa podrobne zaoberali pri každom teste.

Pri analýze nameraných veličín je podľa [17] nutné overiť, či sú tieto dáta získané s požadovanou presnosťou. Na to, aby sme mohli túto presnosť zhodnotiť, slúžia štatistické testy hypotéz. Nami vybrané testy boli smerodajné pri rozhodovaní o vylúčení odľahlých meraní a pri porovnaní stredných chýb. Výpočty štatistických testov a patričné kritické hodnoty sú uvedené v prílohách B.1.2 a B.1.3.

#### 3.2.3.1 Test extrémnych odchýlok od priemeru

Najskôr bola potreba zamedziť tomu, aby náš výberový súbor bol zaťažený hrubými chybami. Podľa [17] je možné sa obmedziť na hodnoty, ktoré sa významne neodlišujú od aritmetického priemeru  $\bar{x}$ . Toho je možné docieľiť buď pri známej strednej chybe pomocou *McKayovho testu*, alebo testom *Grubbovým*, kde je stredná chyba neznáma. Na podklade testu je možné sa rozhodnúť (s určitou neistotou  $\alpha$ ), ktoré meranie pravdepodobne narúša kvalitu súboru a je účelné ho vylúčiť.

Presnosť, resp. stredná chyba sa zisťuje postupom uvedeným v príslušnej norme. V prípade ATR sa jeho stredná chyba určí podľa normy ISO 17123-3 a v prípade automatického cielenia TS Topcon podľa DIN 18723. V testoch sme uplatnili vlastnú technológiu merania, ktorá mala čo najvernejšie odrážať postup pri bežnom meraní uhlov. Z toho dôvodu sme nemohli použiť smerodajnú odchýlku, udávanú výrobcom. Naše dáta sme preto otestovali Grubbsovým testom. Prehľad výsledkov Grubbsovho testu je v prílohe B.1.2.

Postup testu [17] :

1. výpočet aritmetického priemeru  $\bar{x}$  súboru a strednej opravy  $m_v$  podľa vzorca

$$m_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot v_i}{n}} \quad (3.2)$$

2. výpočet hodnoty testovacieho kritéria pre podozrivú hodnotu  $x_e$  podľa vzorca

$$T = \frac{|\bar{x} - x_e|}{m_v} \quad (3.3)$$

3. vyhľadanie kritickej hodnoty  $T_k$  pre zvolené riziko  $\alpha$  a pre počet meraní (tabuľka kritických hodnôt  $T_k$ )
4. vylúčenie podozrivej hodnoty ak  $T > T_k$ .

### 3.2.3.2 Test strednej chyby

Tento štatistický test bol z dostupnej literatúry [17] vybraný pre overenie dosiahnutej strednej chyby merania. Prostredníctvom testu je možné dozvedieť sa, či je vypočítaná stredná chyba do určitej miery akceptovateľná v rámci zvolenej základnej strednej chyby  $\bar{m}$ . Testom je teda možné potvrdiť alebo zamietnuť dodržanie požadovanej presnosti.

Postup testu:

1. výpočet odhadu strednej chyby  $m$  z výberového súboru
2. výpočet testovacieho kritéria  $b$  podľa vzorca

$$b = \frac{m^2}{\bar{m}^2} \cdot (n - 1), \quad (3.4)$$

kde  $\bar{m}$  je uvažovaná základná stredná chyba a  $n$  je počet meraní

3. vyhľadanie kritickej hodnoty  $\chi_k^2$  z tabuľky Pearsonovho rozdelenia pre zvolené riziko  $\alpha$  a pre počet stupňov voľnosti  $k = n - 1$
4. zamietnutie hypotézy, že stredná chyba  $m$  odpovedá základnej strednej chybe  $\bar{m}$  ak  $b > \chi_k^2$ , v opačnom prípade nie je dôvod túto hypotézu zamietnuť.

Vypočítané parametre testu strednej chyby a výsledky testovania sú zobrazené v prílohe B.1.3.

## Výsledky experimentu

Pred vyhodnotením testov bolo nutné zistiť všetky potrebné základné stredné chyby. Tie slúžili ako podklad pre rozbor presnosti experimentov a zároveň pre zhodnotenie empiricky dosiahnutej presnosti. Z technických údajov uvedených v tabuľke 1.1 boli pre rozborov našich experimentov najdôležitejšie stredné chyby automatického a manuálneho cielenia. Od týchto hodnôt sa odvíjalo prijatie alebo zamietnutie zhody výberovej a základnej strednej chyby (s predom zvoleným rizikom). Nemenej dôležitým aspektom bola presnosť použitého hranola. Pri jeho natočení na stranu označenú žltou šipkou sa dá dosiahnuť polohová presnosť na úrovni 2 mm. U oboch TS bol použitý rovnaký odrazový hranol. Overenie požadovanej presnosti zberu dát spočívalo v aplikácii testu strednej chyby na meraný súbor. Tu bolo nutné najskôr určiť odhad strednej chyby súboru. Na určenie odhadu bol použitý vzorec pre výpočet strednej empirickej chyby podľa [17]

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}. \quad (3.5)$$

Experimenty zahrnuté do testovania si brali za cieľ poukazovať na reálnu presnosť, ktorú je možné dosiahnuť pri zvyčajnom meraní uhlov, prípadne pri ich vytyčovaní. V prevažnej väčšine sú tieto merania uskutočnené v jednej polohe ďalekohľadu. Preto bola tomuto účelu prispôbená aj metodika zberu dát.

V manuáloch k TS sú uhlové presnosti určené na základe postupu, stanovenom v príslušnej norme. V prípade stanice Topcon je uhlová presnosť určená na základe normy DIN 18723. Z výkladu tejto normy podľa zememeračského magazínu [3] sa charakteristika presnosti uhlomerného prístroja vyjadruje ako štandardná odchýlka smeru meraného v dvoch polohách ďalekohľadu. Prístroj Leica má presnosť uhlového merania certifikovanú podľa normy ISO 17123-3. Podľa postupov uvedených v tejto norme, ktoré sú popísané v diplomovej práci [3], je smerodajná odchýlka vodorovného smeru a zenitového uhlu určená z merania v oboch polohách ďalekohľadu. Bolo teda nutné, zistiť strednú chybu smeru v jednej polohe ďalekohľadu.

"Je-li střední chyba směru určeného z měření ve dvou polohách dalekohledu  $m_r$ , pak střední chyba směru měřeného pouze v jedné poloze je  $m_r \sqrt{2}$ ." [17] Pri vyjdení z tejto úvahy môžeme pre výpočet presnosti smeru určeného v jednej polohe ďalekohľadu  $m_r^{I.pol}$ <sup>2</sup>

$$m_r^{I.pol} = m_r \sqrt{2}. \quad (3.6)$$

Zaznamenávaný údaj o polohe sa v prípade testu cielení skladal vždy z dvoch hodnôt. Jeden údaj teda obsahoval hodnotu smeru v horizontálnej a vo vertikálnej

<sup>2</sup>Presnosť v jednej polohe ďalekohľadu  $m_r^{I.pol}$  je pre zhodnotenie výberových stredných chýb  $m$  referenčná. V ďalšom texte bude preto presnosť v jednej polohe ďalekohľadu myslená ako uvažovaná základná stredná chyba  $\bar{m}$  a bude zahrnutá do výpočtu testovacieho kritéria  $b$  podľa vzorca 3.4.

rovine. Primárne sme teda mohli určiť strednú empirickú chybu len v rámci jedného smeru. Pre výpočet celkovej presnosti  $m_c$  nameraných údajov sme upravili vzťah, definujúci presnosť určenia polohy  $m_p$  (3.7-vľavo), uvedený v učebných textoch z inžinierskej geodézie.[17] Odvođený vzorec (3.7-vpravo) vyjadrujúci charakteristiku celkovej presnosti smeru  $m_c$  má tvar

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad m_c = \sqrt{m_{hz}^2 + m_{vz}^2}. \quad (3.7)$$

Stredné chyby  $m_{hz}$  a  $m_{vz}$  vyjadrujú presnosti v jednotlivých smeroch.

Z metódy zápisu polohy reflektora, popisovanej v časti 3.2.2, sme dokázali stanoviť stredné chyby (podľa vzorca 3.5) automatickej technológie pri docielení z jednotlivých smerov. Takýto súbor dát, nameraný jednotlivo pre každý smer, obsahoval v priemere 22 meraní. Stredná chyba automatického cielenia vypočítaná zo všetkých meraní, reprezentovala presnosť pri docielení z ľubovoľného smeru. Zhrnutie dosiahnutej presnosti cielenia z ľubovoľného smeru a presností v jednotlivých smeroch znázorňuje tabuľka 5.1 v piatej kapitole.

Vo vyhodnoteniach sú pre lepšiu interpretáciu výsledkov použité grafy. Tie sú kvôli prehľadnosti farebné odlišené podľa použitého prístroja. Grafy prístroja Topcon obsahujú farbu sivú pre vodorovný a žltú pre zvislý smer. V prípade TS Leica sú farby grafov ladené do čiernej pre vodorovný a zelenej pre zvislý smer.

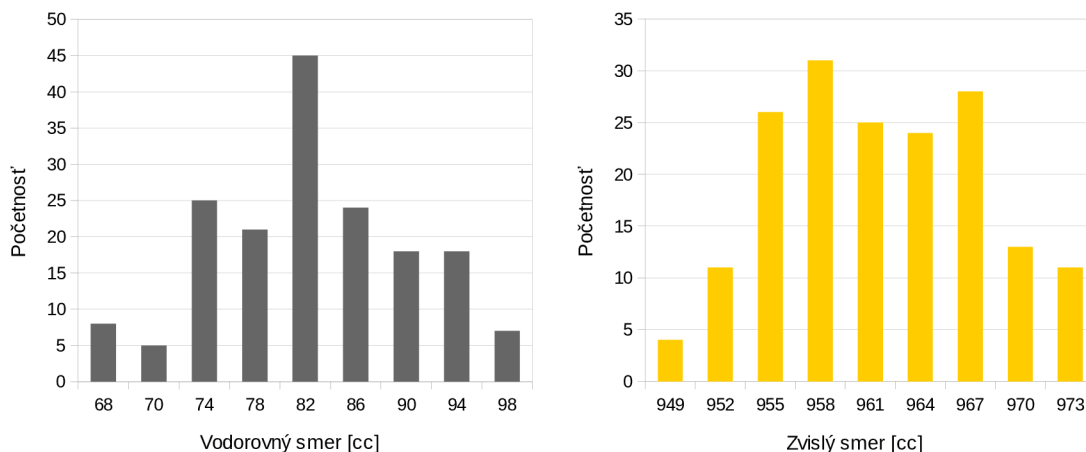
Prehľad všetkých stredných chýb dosiahnutých v rámci porovnávacích testov cielení je zhrnutý v tabuľkách 5.1 až 5.4 v piatej kapitole.

## Topcon

Súbor dát nameraných pomocou automatického cielenia obsahoval celkovo 175 pokusov. Vyššie popisovaným testom odľahlých hodnôt sa nepreukázal výskyt odľahlých meraní. V druhej fáze hodnotenia dát sme porovnávali dosiahnutú (empirickú) strednú chybu s chybou udávanou výrobcom. Štandardná uhlová odchýlka  $3,1^{cc}$ , uvedená v užívateľskom manuále Topcon [19], je určená z meraní v dvoch polohách ďalekohľadu. V našich testoch sme sa zaoberali určením presnosti len v polohe prvej. S odvolaním sa na vyššie uvedený vzťah 3.6 sme uhlovú presnosť v jednej polohe stanovili na hodnotu  $4,4^{cc}$ . Presnosť automatického cielenia, pôvodne určená na  $6,2^{cc}$ , má po identickej úprave pre jednu polohu hodnotu  $8,8^{cc}$ . Prepočty použitých základných stredných chýb na chyby empirické a výpočty výberových stredných chýb sú uvedené v prílohe B.1.1.

Z laboratórnych testov vyplynulo, že výberová stredná chyba vo vodorovnom smere má hodnotu  $8,3^{cc}$  a v zvislom smere má  $6,3^{cc}$ . Tento rozptyl (najmä vo vertikálnom smere) demonštrujú aj histogramy na obr. 3.3. Grafy ďalej ukazujú, že merania sa približujú k strednej hodnote. Celková chyba automatického cielenia na reflektor z rôznych smerov dosiahla hodnoty  $10,4^{cc}$ . Najmenšia celková stredná chyba

( $9,0^{cc}$ ) vzniká, ak sa odrazový hranol pred zahájením cielenia nachádza v spodnej časti zorného poľa. Naopak najväčšia stredná chyba ( $12,1^{cc}$ ) sa prejavila pri počítačovej polohe hranola v pravej hornej časti objektívu. Štatistický test strednej chyby odhalil prekročenie kritickej hodnoty. Na tomto podklade sme usúdili dosiahnutie nižšej presnosti, než akú deklaruje výrobca.



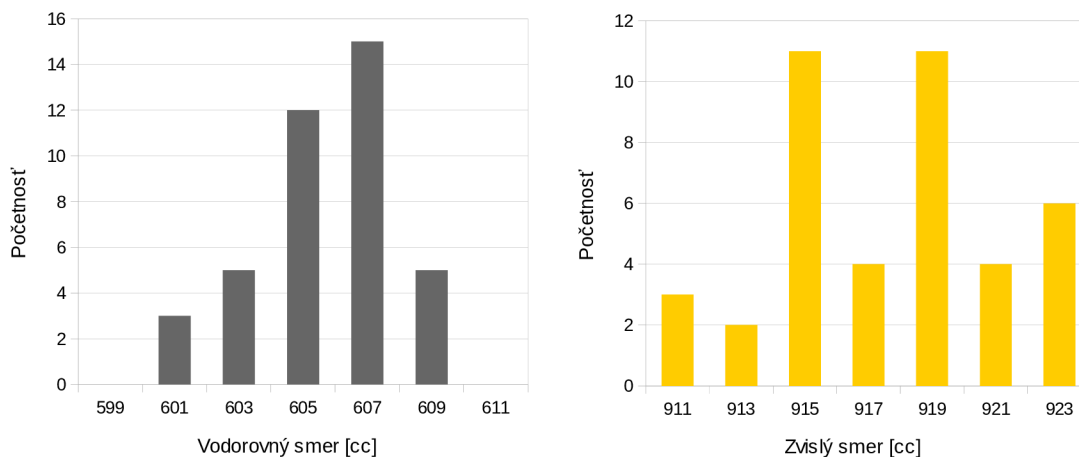
Obr. 3.3: Histogramy rozptylu pri automatickom cielení (Topcon)

Rovnaký postup pri vyhodnotení dát sme uplatnili aj pri spracovaní súboru z manuálneho cielenia. Grubbsov test neodhalil žiadne odľahlé merania, takže sme mohli použiť všetky dáta pre výpočet empirickej strednej chyby. V horizontálnom smere mala empirická chyba hodnotu  $3,4^{cc}$  a vo vertikálnom  $2,5^{cc}$ . Histogramy rozptylu na obr. 3.4 nám znova ukazujú, že merania majú tendenciu približovať sa strednej hodnote. V prípade zvislého smeru je ale neistota určenia strednej hodnoty väčšia než v prípade smeru vodorovného. Celková chyba pri optickom cielení na rysky terča z rôznych smerov dosiahla hodnoty  $4,3^{cc}$ . Z výsledkov štatistického testu strednej chyby teda môžeme konštatovať, že manuálnym cielením je možné dosiahnuť udávanú presnosť  $4,4^{cc}$ .

Keďže testy prebiehali v laboratórnych podmienkach a prístroje boli postavené na pilieroch, nebolo by účelné sledovať systematické zmeny vznikajúce vplyvom prostredia. Týmto zmenám sme sa venovali až v prípade terénnych testov.

## Leica

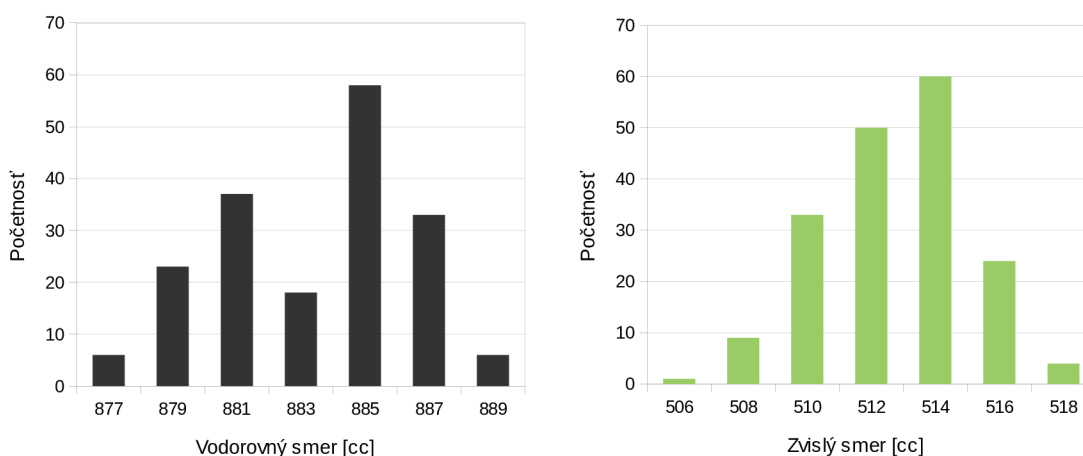
Spracovávaný súbor, nameraný automatizovanou technológiou ATR, obsahoval celkovo 181 pokusov. Overenie homogenity dát Grubbsovým testom neodhalilo žiadne hodnoty nápadne odlišujúce sa od priemeru. Z následného určenia výberových stredných chýb vplynula presnosť  $3,0^{cc}$  v horizontálnom a  $2,3^{cc}$  vo vertikálnom smere.



Obr. 3.4: Histogramy rozptylu pri manuálnom cielení (Topcon)

Rozptyl oboch presností ATR zobrazujú histogramy na obr. 3.5. Opäť je možné sledovať, že namerané veličiny konvergujú k strednej hodnote.

Charakteristiky presnosti docielenia na reflektor z jednotlivých smerov v automatickom režime sa pri vzájomnom numerickom porovnaní javili harmonicky. Totožná hodnota najmenej strednej chyby  $3,3^{cc}$  bola dosiahnutá pri dvoch počiatočných polohách hranola. Išlo o prípady, keď sa hranol pred automatickým docielením nachádzal na vrchnom a spodnom ohraničení vertikálnej priamky zámerného kríža. Najhoršia presnosť  $5,4^{cc}$  bola zistená v prípade, že sa reflektor pred jeho zameraním nachádzal v ľavom hornom rohu zorného poľa. Prehľad stredných chýb automatického cielenia pri rôznych východiskových polohách odrazového hranola ukazuje tabuľka 5.1.

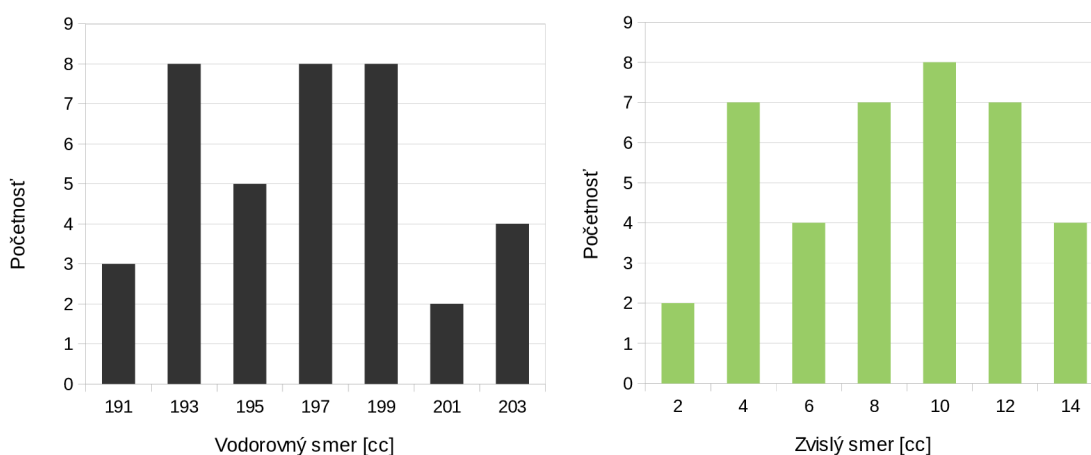


Obr. 3.5: Histogramy rozptylu pri automatickom cielení (Leica)

Z technických údajov k prístroju Leica [9] sme vyčítali štandardnú odchýlku au-

tomatizovaného merania uhlov  $3,1^{\text{cc}}$ . Keďže údaje o uhlovej presnosti, certifikované podľa príslušnej normy, sú určené z merania v dvoch polohách teleskopu, museli sme túto presnosť opäť previesť na tvar vyhovujúci konfrontácii s dosiahnutými strednými chybami. Presnosť ATR v jednej polohe ďalekohľadu má na základe vzťahu 3.6 hodnotu  $4,4^{\text{cc}}$ . Celková empirická presnosť v laboratórnom teste dosiahla  $3,8^{\text{cc}}$ . Testom sa podarilo potvrdiť teoretickú presnosť automatického cielenia.

Pri manuálnom cielení sa súbor obmedzil na 40 pokusov, z ktorých sa ani jeden neprejavil odľahlosťou. Zo súboru sme určili výberovú strednú chybu vodorovného smeru  $4,0^{\text{cc}}$  a zvislého smeru na hodnotu  $3,8^{\text{cc}}$ . Z histogramov na obr. 3.6 je oproti automatickým meraniam badateľné početnejšie zastúpenie nameraných smerov v rámci celého rozptylu. Pri ich porovnaní s charakterom histogramov, určených presnejšími metódami, môžeme konštatovať, že tento fakt bol z veľkej časti zapríčinený horšou uhlovou presnosťou prístroja. V nej sa odzrkadľujú aj systematicky pôsobiace prístrojové vady. Mieru systematických chýb testy merané v jednej polohe ďalekohľadu nedokázali stanoviť. Základná presnosť uhlu v dvoch polohách je podľa technických dát [9]  $15^{\text{cc}}$ . Po prevedení na presnosť smeru v jednej polohe podľa 3.6 má stredná chyba hodnotu  $21,2^{\text{cc}}$ . S celkovou výberovou strednou chybou  $5,5^{\text{cc}}$  sme s veľkou istotou splnili teoretickú presnosť uhlového merania. Na to, aby sme tejto základnej presnosti vyhovelí, by teda nemali mať vplyv ani kvalitatívne nároky na signalizáciu terča. Zhrnutie dosiahnutých stredných chýb v automatickom a manuálnom režime v laboratóriu sa nachádza v tabuľkách 5.1 a 5.2. Tabuľka 5.8 zase obsahuje hodnoty očakávaných a dosiahnutých stredných chýb.



Obr. 3.6: Histogramy rozptylu pri manuálnom cielení (Leica)

### 3.3 Automatické sledovanie hranola

Ďalší pokus predstavoval overenie schopnosti totálnych staníc sledovať reflektor. V rámci nášho laboratórneho experimentu bola testovaná možnosť opätovného zachytenia signálu po predikcii jeho pohybu prístrojom. Vďaka funkcii predikcie pohybu môže TS pokračovať v rotácii v predpokladom smere pohybu reflektora. Funkcia sa uplatní v prípade, že je optická cesta medzi prístrojom a reflektorom rušená prekážkou.[19]

Ako odrazové zariadenie bol opäť zvolený panoramatický hranol, ktorý dokáže odraziť signál z akéhokoľvek smeru. Tým sme vylúčili vplyv nedostatočného natočenia odrazovej plochy na snímače a teda zlé vyhodnotenie pokusu.

#### 3.3.1 Pribeh merania

Prvou úlohou bolo nájsť prekážku zodpovedajúcich parametrov. Hlavný dôraz bol kladený na jej celistvosť tak, aby nedochádzalo k prepusteniu signálu k reflektoru. Na to, aby sme overili rozsah automatického sledovania hranola, sme museli výšku hranola úmyselne meniť. To znamená, že medzi vstupom a výstupom z prekážky musela byť možnosť vyznačiť na obštrukcii rôzne výškové úrovne. Zábrana musela byť zároveň aj dostatočne dlhá na to, aby sa využilo predikcie nastavenej na hodnotu 3 sekúnd. Tieto požiadavky splňovala z dostupného inventára v miestnosti doska tabule.

Na začiatku sme tabuľu umiestnili tak, aby bol možný pochod za ňou a aby sa po oboch stranách nachádzal dostatočný priestor. Ten slúžil na to, aby sa figurant s hranolom rozbíhal na konštantnú rýchlosť. Vyvinutá rýchlosť musela zodpovedať asi 2,5 sekundovému prechodu za tabuľou, aby sa čo najlepšie vyskúšala nastavená predikcia smeru. Po opustení prekážky pokračoval figurant v rovnakom pohybe až po koniec dráhy. V tomto úseku sa sledovalo, či sa TS dokáže chytiť reflektora a pokračovať v jeho sledovaní.

V podkapitole 2.1.2 sme z užívateľského manuálu pre TS Topcon zistili rozsah automatického sledovania hranola. Výrobcom uvedenú hodnotu ( $\pm 30'$ ) sme overovali nasledujúcim postupom. Na tabuľi sme určili smer pohybu hranola pomocou rozdielnych výšok na začiatku a konci prekážky. Tie boli vyznačené vodiacimi linkami po okrajoch tabule. Linky slúžili jednak figurantovi pre realizáciu požadovaného smeru, ale aj pre kontrolu správneho vykonania pokusu zo strany pozorovateľa. Najskôr bol reflektor vedený vodorovným smerom, potom bola rýska na konci tabule výškovo posunutá o určitú hodnotu voči počiatočnej. Realizácia experimentu je znázornená na obrázku 3.7.





Obr. 3.7: Laboratórny test automatického sledovania hranola

### 3.3.2 Výsledky pokusov

Namerané dáta bolo treba získať postupom, ktorý by preukázal ich platnosť. Niektoré pokusy ale mali charakter odľahlých hodnôt. Tie vznikali vo chvíli, keď sa figurant s hranolom nepohyboval konštantnou rýchlosťou. Nameraný súbor by potom obsahoval aj neplatné pokusy. Pozorovaním polohy hranola pri výstupe z tabule sme dokázali tieto merania odhaliť a následne sme ich do súboru nezaraďovali. Všetky pokusy boli hodnotené pozorovateľom, ktorý stál za prístrojom. Experiment skončil pri dosiahnutí 40 pokusov.

Metodika merania bola popisovaná v podkapitole 3.3.1. Vyplynulo z nej, že sa experiment skladá z dvoch častí. V prvej časti bol prechod za prekážkou vykonaný vo vodorovnej rovine. V druhej časti pokusu bola poloha hranola na konci prekážky zmenená o určitú hodnotu. Tá mala práve vystihovať rozsah automatického sledovania. Ofsetové vzdialenosti od referenčnej roviny sú uvedené v prílohe B.2.1.

#### Topcon

Pri prechode za prekážkou vo vodorovnej rovine dopadol test najlepšie. Prístroj sa chytil 32-krát zo 40 pokusov. Percentuálne vyjadrená úspešnosť predstavuje 80%. Vodorovná rovina tvorila akúsi referenčnú priamku, od ktorej boli v ďalšej časti realizované ofsety.

Ďalej sme pomocou určitých hodnôt odsadení od referenčnej priamky zisťovali akýsi trend v opätovnej detekcii hranola. Voľbou viacerých odsadení sme sa ne-sústredili len na spoľahlivosť detekcie v limitnej oblasti sledovania laserového lúča, ale aj na reakcie prístroja pri objavení hranola v rôznych miestach sledovacej oblasti.

Zvolené odsadenie začalo na hodnote 5 cm od referenčnej priamky. V rámci zorného poľa, ktorý má rozsah  $\pm 45'$  od zámerného kríža, mal tento posun na vzdialenosť 16 metrov skoro  $11'$ . Úspešnosť pokusov bola 75%, keďže TS Topcon nedokázala 10-krát hranol detekovať po strate. Pri odsadení 10 cm ( $21'$ ) sa šanca rapídne znížila na 18%. Pri maximálnom odsadení 15 cm ( $32'$ ) od referenčnej roviny sa úspešnosť ďalej zmenšila na 13%. Pri testoch opätovnej detekcie hranola po prechode za prekážkou sme zistili, že úspešnosť napojenia nebola nikdy úplne zaručená. S narastajúcim odsadením od horizontálnej roviny sa postupne znižovala.

### **Leica**

Pri sledovaní napojenia prístroja na smer hranola vo vodorovnej rovine, prístroj stratil reflektor len v dvoch prípadoch. Jeho úspešnosť teda predstavovala 95%.

Rozsah automatického sledovania hranola bol v tomto prípade determinovaný zorným poľom prístroja. Preto bola testom overovaná aj táto limitná hodnota. Výsledky prvého odsadenia o 5 cm ( $11'$ ) sa líšili len zanedbateľne voči pokusom bez posunu. Spoľahlivosť detekcie bola reprezentovaná 93%. Pri posune reflektora voči horizontálnej rovine o 15 cm sa šanca na nasledovanie hranola znížila na 73%. Pri testovaní predikcie na hranici zorného poľa mal uhlový posun hodnotu  $43'$ . Uhol predstavoval zvislý posun o 20 cm oproti referenčnej priamke vo vzdialenosti 16 m. Posledná časť testu dopadla s úspešnosťou 28%. Všetky dosiahnuté výsledky sú zhrnuté v časti 5.1.2 v tabuľke 5.5.

## 4 TESTOVANIE V TERÉNE

### 4.1 Lokalita a okolné podmienky

V druhej časti našich pokusov sme sa s prístrojovým vybavením presunuli do terénu. Poľným meraním sme chceli zhodnotiť uvádzanú presnosť za premenlivých okolitých podmienok. Medzi ne môžeme zaradiť hlavne vplyvy počasia (teplota, tlak, vietor a iné) a rôzne vibrácie, ktoré sa šíria z prostredia a ovplyvňujú tak samotnú presnosť. Rovnako významným argumentom bola možnosť väčšieho rozsahu vzdialenosti, než dovoľovalo laboratórium.

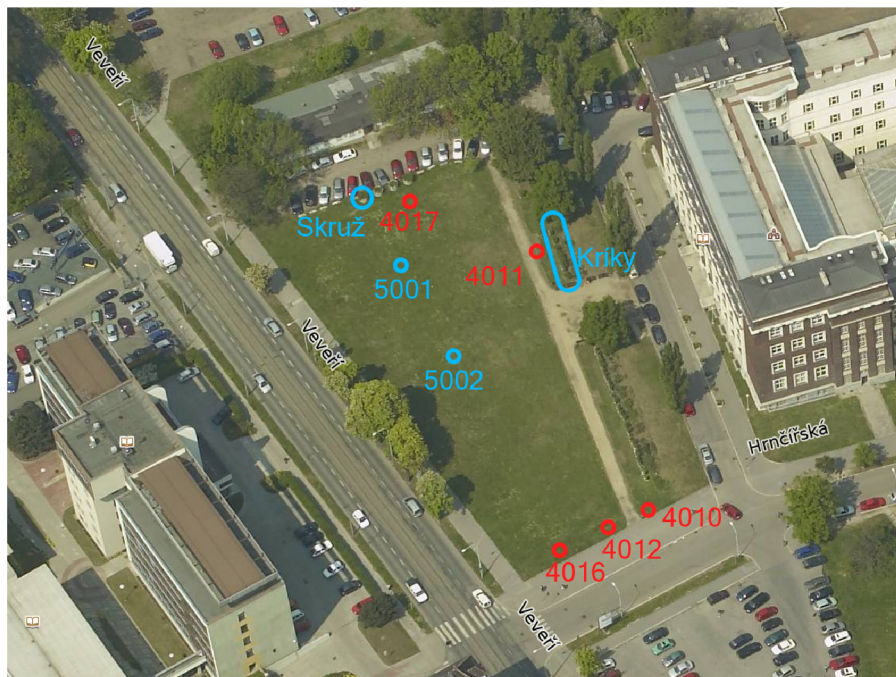
Samotnému meraniu predchádzal výber vhodnej lokality. Jednu z hlavných požiadaviek tu zohrávala jej dostupnosť. Keďže merania s prístrojmi nebolo možné vykonávať simultánne a z laboratórnych pokusov bolo zrejmé, že zaobstaranie väčšieho objemu dát je časovo náročné, bolo nevyhnutné brať do úvahy opakovaný príchod. Tieto aspekty taktiež kládli nároky na kvalitnú stabilizáciu a dobrú signalizáciu stanovísk. Ďalším, už spomenutým hľadiskom, zostávala možnosť umiestniť terč do väčších vzdialeností. Vybraná lokalita tak musela byť dostatočne rozmerná. Špecifické požiadavky boli kladené aj na prírodné prekážky, nachádzajúce sa v lokalite. Tomuto problému je venovaná časť 4.3.1 Voľba prostredia. Všetkým spomenutým požiadavkám vyhovovala vybudovaná účelová sieť ústavu geodézie, nachádzajúca sa medzi ulicou Veverí a Právnickou fakultou Masarykovej univerzity. Z celkového počtu ôsmich stanovísk sme rekognoskáciou zistili nadmerné poškodenie dvoch stabilizácií. Zo vzájomnej polohy zostávajúcich bodov sme potom hľadali čo najlepšiu konfiguráciu pre naše pokusy. Popisom metód merania sa budeme venovať samostatne v každom teste.

V norme, ktorá sa zaoberá určovaním presnosti teodolitov [2] je uvedené, že terénne testy by mali brať v úvahu rôzne vplyvy prostredia. Preto by sa mali vykonať dvomi sériami meraní pri rozličných podmienkach. Diametrálne odlišné podmienky sme dosiahli meraním v teréne a v laboratórnom prostredí. Na základe porovnania stredných chýb dosiahnutých v jednotlivých prostrediach, sme dokázali odhadnúť veľkosť poveternostných vplyvov. Väčšina terénnych testov prebiehala v marci. Meteorologické podmienky, najmä teplota, boli nestále a často sa počas dňa výrazne menili. V blízkosti lokality prebiehala rekonštrukcia na budove právnickej fakulty. Tá mala za následok šírenie vibrácií, s ktorými sa často stretávame pri vytyčovaní na stavbách. Aby sme do značnej miery zabránili šíreniu systematických chýb, prístroj sme pred použitím temperovali. Dobu temperovania sme určovali vzhľadom na okolitú teplotu.

## 4.2 Porovnávaci test cielení

Test bol technologicky takmer identický ako v laboratóriu. Zmena nastala iba v tom, že pribudol väčší rozsah vzdialeností, v ktorých sa nachádzal cieľ. Meranie začalo postavením prístroja na stanovisko 4010 a cieľa na 4012, kde dĺžka zámery mala 2,59 m. Potom sme cieľ premiestnili na bod 4011. Tu vzájomná vzdialenosť dosahovala 64,22 m. Ďalej sme premiestnili prístroj na bod 4019. Medzi ním a terčom bola vzdialenosť 27,30 m. Nakoniec sme postavili prístroj na bod 4016 a cieľ na 4017. Zameraná dĺžka tu mala 86,90 m. Vzájomnú polohu stanoviska a cieľa znázorňuje schéma na obr. 4.1. Veličiny sme zapisovali v poradí, v akom boli nameňované. Týmto spôsobom sa zistovala prítomnosť náhodných chýb z okolia na výberový súbor s narastajúcim časom. V rámci každej dvojice stanovísk nadväzovalo po manuálnom cielení automatické, aby nedošlo k väčším poveternostným zmenám. Postup pri cielení sa technologicky zhodoval s tým, ktorý sme použili v laboratóriu.

Experimentom sme sa zamerali na overenie presnosti cielenia v manuálnom a automatickom režime v závislosti od vzdialenosti v reálnych podmienkach.



Obr. 4.1: Schéma bodového poľa

### 4.2.1 Manuálne cielenie

Papierový cieľ tvorili znova dve navzájom kolmé línie. Tie viedli od stredu smerom doľava a nadol. Kolimáciou dvojrýskami nitkového kríža na rysku terča sme chceli minimalizovať chybu pri cielení (podrobne v časti 3.2.1). Cieľ bol nalepený

na plastový terč Zeiss s nainštalovanou krabicovou libelou. Po horizontácii terča, musel byť lepený cieľ veľmi kvalitne vyrovnaný do vodorovnej, resp. zvislej polohy, aby nedochádzalo k chybnjej kolimácii. Vyrovnanie cieľa bolo opäť realizované pomocou nitkového kríža presne zhorizontovanej totálnej stanice. Terč bol upevnený na statív a scentrován pomocou olovnice.

### 4.2.2 Automatizované zacielenie

Pri všetkých poľných pokusoch automatického zacielenia bol použitý panoramatický reflektor Leica GRZ4 360°. Ten sme pripevnili na statív a centrovali nad bodom pomocou optickej olovnice. Postup cielenia spočíval v opakovanom posune zámerného kríža do rôznych častí zorného poľa ďalekohľadu, tak ako to popisujú laboratórne merania. Pri zápise dát už nebol zaznamenávaný smer, z ktorého sa vykonalo zacielenie. Laboratórne testy totiž nezaznamenali významné zhoršenie presnosti v určitom smere, z ktorého docielenie nastalo.

### 4.2.3 Výsledky experimentu

Poľné merania sme oproti laboratórnym testom rozšírili o pokusy na väčšie vzdialenosti, medzi prístrojom a hranolom, resp. terčom. Cieľom testu bolo určiť mieru presnosti cielenia ručného a automatického v závislosti od vzdialenosti hranola, resp. terča. Popri tom sme sa snažili odhaliť vplyv prostredia na presnosť merania.

Vyhodnotenie experimentu opäť spočívalo v odstránení odľahlých hodnôt a v stanovení a porovnaní výberovej strednej chyby so základnou. Pri každom prístroji sú rozobrané dosiahnuté presnosti v rámci jednotlivých vzdialeností.

Všetkým dátam pri terénnych testoch bolo prisúdené poradie. Na základe neho sme sa pokúsili poukázať na systematické vplyvy, vznikajúce s narastajúcim časom. Tie majú za následok zhoršenie celkovej presnosti súboru. Názorné ukážky priemerných hodnôt smerov v určitom časovom úseku sú vynesené na grafoch, ktoré sú súčasťou prílohy C.

#### Topcon

Prvá časť pokusov bola meraná v najkratšej zvolenej vzdialenosti 2,59 m. Grubbsov test odhalil prítomnosť jedného odľahlého merania pri automatickom cielení. Po odstránení odľahlej hodnoty obsahoval súbor dát meraných automaticky 40 pokusov a manuálne 42. Z testov v automatickom režime vyplynula empirická presnosť v horizontálnom smere  $5,0^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $14,8^{cc}$  a teda celková empirická presnosť  $15,6^{cc}$ . Z manuálneho cielenia bola určená empirická presnosť v horizontálnom smere  $15,3^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $4,8^{cc}$  a celková empirická chyba na hodnotu

16,0<sup>cc</sup>. Základnú presnosť merania v jednej polohe ďalekohľadu sme pri automatickom cielení odvodili na základe vzorca 3.6 na 8,8<sup>cc</sup> a rovnakým spôsobom pri manuálnom cielení na 4,4<sup>cc</sup>. Pri teste strednej chyby sa zhoda so základnou presnosťou zamietla pri oboch technológiách.

Ako druhá testovaná bola vybraná zámerna s dĺžkou 27,30 m. Grubbsov test odhalil znova prítomnosť jedného odľahlého merania v prípade automatického režimu. Výberový súbor mal 41 meraní v automatickom režime a v manuálnom 45. Z pokusov vyšli nasledujúce charakteristiky presnosti. Pre automatickú technológiu bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere 5,9<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 2,9<sup>cc</sup> a celková empirická presnosť 6,5<sup>cc</sup>. Pre manuálne cielenie bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere 4,7<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 4,2<sup>cc</sup> a celková empirická chyba 6,3<sup>cc</sup>. Z testu strednej chyby vyšlo zamietnutie dosiahnutej chyby pri manuálnom cielení, presnosť automatického režimu testu vyhovela.

Dĺžka na treťom úseku dosahovala 64,22 m. Grubbsov test tentokrát odhalil hrubé chyby pri manuálnom cielení. Dohromady sme zo súboru odstránili počiatočné 4 hodnoty, ktoré sa výrazne líšili od priemernej hodnoty. Konečný objem dát v súbore s manuálnym meraním obsahoval 38 pokusov a 43 pokusov pri automatickom zameriavaní. Zo vzorcov pre určenie charakteristík presnosti sme dostali nasledujúce údaje. V prípade automatického cielenia bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere 11,9<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 5,6<sup>cc</sup> a celková empirická presnosť 13,1<sup>cc</sup>. Pri manuálnom cielení bola zistená empirická stredná chyba v horizontálnom smere 5,5<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 5,2<sup>cc</sup> a celková empirická chyba 7,6<sup>cc</sup>. Z testu strednej chyby vyšlo zamietnutie hypotézy, že by empirická stredná chyba odpovedala základnej presnosti v prípade oboch metód.

Pri najvzdialenejších stanoviskách dosahovala dĺžka v štvrtjej časti 86,90 m. Grubbsov test odhalil 2 hrubé chyby pri manuálnom cielení a jednu v cielení automatickom. Celkovo bolo zahrnutých 41 pokusov meraných automaticky a 42 pokusov pri manuálnom cielení. Vzorcami pre určenie výberových charakteristík presnosti sme určili nasledujúce hodnoty. V prípade automatického cielenia bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere 11,9<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 4,3<sup>cc</sup> a celková empirická presnosť 12,7<sup>cc</sup>. Pri manuálnom cielení bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere 6,9<sup>cc</sup>, vo vertikálnom smere 4,1<sup>cc</sup> a celková empirická chyba 8,0<sup>cc</sup>. Ani pri jednej metóde sa nepodarilo vyhovieť kritickým hodnotám testu stredných chýb.

## Leica

Postupnosť jednotlivých experimentov bola rovnaká ako v prípade TS Topcon. Prvá zámerna bola najkratšia a mala 2,59 m. Grubbsov test odhalil prítomnosť jed-

nej odľahlej hodnoty z automatického cielenia. Súbor dát získaných prostredníctvom ATR mal 44 pokusov a manuálne meraný obsahoval 42 pokusov. Z testov v automatickom móde (ATR) vyplynula empirická presnosť v horizontálnom smere  $7,2^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $2,5^{cc}$  a teda celkovú empirickú presnosť sme mohli stanoviť na  $7,6^{cc}$ . Pri manuálnom cielení nastal značný rozptyl v horizontálnom smere. Jeho empirickú presnosť sme určili na  $24,1^{cc}$ . Vo vertikálnom smere bola dosiahnutá presnosť  $3,5^{cc}$  a celková empirická chyba dosahovala  $24,4^{cc}$ . Referenčná presnosť ATR bola podľa vzorca 3.6 určená na  $4,4^{cc}$ , presnosť pri manuálnom cielení mala hodnotu  $21,2^{cc}$ . Testu strednej chyby vyhovelo v rámci uhlovej presnosti len manuálne cielenie.

Rovnako aj druhá zámera mala dĺžku 27,30 m. Grubbsov test odhalil znova prítomnosť jedného odľahlého merania v prípade použitia ATR. Oba výberové súbory obsahovali 42 opakovaných pokusov. Z nich sme určili nasledujúce charakteristiky presnosti. Pre metódu ATR bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere  $8,4^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $2,3^{cc}$  a celková empirická presnosť dosiahla  $8,8^{cc}$ . Pri cielení pohybovkami bola empirická stredná chyba v horizontálnom smere  $12,7^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $4,7^{cc}$  a celková empirická chyba činila  $13,5^{cc}$ . Testu strednej chyby vyhovelo znova len manuálne cielenie.

Dĺžka medzi tretím stanoviskom a cieľom dosahovala 64,22 m. Grubbsov test odhalil výskyt hrubej chyby pri manuálnom cielení. Súbor dát získaných manuálne obsahoval 41 pokusov a automaticky 44 pokusov. Empirická stredná chyba ATR vo vodorovnom smere je v tomto prípade  $3,5^{cc}$ , v zvislom smere  $3,4^{cc}$  a celková empirická presnosť  $4,9^{cc}$ . Pri manuálnom cielení bola zistená empirická stredná chyba vo vodorovnom smere  $3,1^{cc}$ , vo vertikálnom smere  $4,8^{cc}$  a celková empirická chyba  $5,7^{cc}$ . Testu strednej chyby vyhoveli obe dosiahnuté presnosti.

Pri poslednej časti pokusu dosahovala dĺžka medzi stanoviskami 86,90 m. Grubbsov test odhalil jedno odľahlé meranie a to pri použití ATR. Výberový súbor automatického cielenia tak obsahoval 44 pokusov a súbor s cielením manuálnym 45 pokusov. V prípade ATR bola empirická stredná chyba vo vodorovnom smere  $6,9^{cc}$ , v zvislom smere  $3,2^{cc}$  a celková empirická presnosť  $7,6^{cc}$ . Manuálne cielenie preukázalo empirickú strednú chybu vo vodorovnom smere  $9,6^{cc}$ , v zvislom smere  $3,6^{cc}$  a celkovú empirickú chybu  $10,3^{cc}$ . Dosiahnutie požadovanej presnosti sa podarilo pomocou manuálneho cielenia.

Všetky dosiahnuté presnosti z automatického merania sú komplexne zhrnuté v tabuľke 5.3, manuálneho cielenia sa týka tabuľka 5.4. Porovnanie s referenčnými a laboratórnymi hodnotami je spracované v tabuľke 5.8.

## 4.3 Automatické sledovanie hranola

V poslednom experimente bola testovaná schopnosť totálnych staníc sledovať hranol pri jeho stratení zo zorného poľa. Pokusy sa odohrávali v teréne, čo bolo dôvodom pre využitie poľných prekážok. Tu sme sa obmedzili na dva typy prekážok, ktoré simulovali len čiastočný alebo žiadny prechod signálu k hranolu. Na základe toho sme sledovali mieru spoľahlivosti sledovania v závislosti od charakteru prekážky.

### 4.3.1 Voľba lokality

Pred experimentom sledovania hranola v teréne musela vybraná lokalita obsahovať vhodné terénne prekážky. Ich voľbou sme sa pokúsili simulovať typ prekážok, s ktorými je možné sa najbežnejšie stretnúť pri poľnom meraní. Pre naše účely plne vyhovovala lokalita, kde prebiehali všetky predchádzajúce terénne pokusy. Prvý typ obštrukcie tvorila väčšia betónová skruž s priemerom 2 metre, nachádzajúca sa na okraji lokality, ktorá plnila funkciu súvislej zábrany, podobne ako tabuľa v laboratóriu. Ďalší charakter prekážky už nebol simulovaný v priestoroch laboratória. Išlo o výber prekážky, ktorá nezabráni v šírení laserového lúča na dlhší časový úsek, ale zároveň ho na veľmi malú chvíľu neprepustí k reflektoru. Pre tento účel slúžili kroviny (obr. 4.2), ktoré zaručili, že príjem odrazeného signálu nebol kontinuálny. Prvá, redšia časť, sa nachádza v ľavej polovici obrázku. Druhá polovica zobrazuje hustejšiu oblasť.



Obr. 4.2: Ukážka prekážky tvorenej krovunami



### 4.3.2 Priebeh merania

Test sledovania hranola mal dve fázy. Prvá pozostávala z pokusu sledovania hranola, kde medzi ním a prístrojom bola súvislá prekážka. V druhej časti si experiment kládol za cieľ sledovať vplyv necelistvej prekážky na odraz svetelného lúča. Realizácia pokusu si vyžadovala zabezpečiť veľmi krátkodobé prepustenie signálu k hranolu. Podrobnejší postup merania je popísaný pri každom teste zvlášť.

#### 4.3.2.1 Test úplného zakrytia reflektora

Hlavný účel tohoto pokusu bolo vyzorovať, či sa TS dokáže spoľahlivo chytiť reflektora po predikovaní jeho smeru pri poľnom meraní. K predikovaní smeru došlo v momente zakrytia reflektora betónovou skružou. Tá simulovala napríklad prejazdy nákladných a osobných automobilov medzi reflektorom a prístrojom, prechod hranola za objektami (stĺpy, kmene stromov, pomníky a iné), za časťou murovaného plota, za násypom a inými prekážkami tohoto charakteru, s ktorými je možné sa bežne stretnúť pri reálnom meraní.

Lokalita dovoľovala rozšíriť experiment aj o ďalšie vzdialenosti než bolo v priestorovo determinovanom laboratóriu. Test bol preto uskutočnený na troch rôznych stanoviskách. Išlo konkrétne o bod 5001, ktorý sa nachádzal vo vzdialenosti 16,4 m. Ďalšie stanovisko tvoril bod 5002 s odstupom od hranola vo vzdialenosti 36,0 m a najdlhšia vzdialenosť 90,7 m bola dosiahnutá postavením prístroja na bod 4016. Poloha bodov je znázornená schematicky na obr. 4.1. Na každom stanovisku sa sledoval prejazd hranola prekážkou v dvoch rovinách. Prvá rovina bola vodorovná. Tá druhá bola realizovaná ako vertikálny posun vstupného smeru reflektora. Pri výstupe z prekážky bola teda výška hranola zmenená o určitú hodnotu. Hodnota bola vypočítaná z údajov o automatickom sledovaní, uvedené v referenčnom manuáli. Metodika práce figuranta spočívala opäť vo vyvinutí konštantnej rýchlosti prejazdu. Tým sa zamedzilo vychýleniu hranola mimo sledovaný rozsah pri výstupe z prekážky. Na konci nej sa sledovalo napojenie TS na reflektor a jeho ďalšie nasledovanie.

#### 4.3.2.2 Test čiastočného zakrytia reflektora

Narozdiel od predchádzajúcich experimentov tento už nebol uskutočnený v laboratórnych podmienkach. Nebolo by účelné ho napodobňovať v interiéri, nakoľko sa s týmto typom obštrukcie stretávame vo valnej väčšine v teréne. Testom sme sa pokúšali zistiť, ako reaguje prístroj na postupné redukovanie odrazeného signálu v sledovacom režime. Toto bolo docielené výberom nehomogénneho typu prekážky.

V referenčnom manuáli výrobcovia tvrdia, že rýchlosť, ktorou prístroj dokáže sledovať reflektor, môže dosahovať až  $15^\circ$  za sekundu. Tento údaj ale nemusí byť vždy



Obr. 4.3: Ukážka prechodu za betónovou skružou

záväzný. V závislosti od rušivých elementov, zabraňujúcich odrazu signálu od reflektora môže byť automatické sledovanie chvíľkovo nestabilné.[19]

V prvej časti pokusu sme sa rozhodli overiť limitnú hodnotu rotácie prístroja. Aby nedochádzalo k rušeniu schopnosti sledovania, v zornom poli sa nenachádzala žiadna prekážka. Test bol realizovaný pohybom hranola po oblúku, ktorého rýchlosť bola totožná s maximálnou rýchlosťou sledovania. Zo zadávanej uhlovej rýchlosti sme si museli vyjadriť kvantifikovateľné veličiny. Z nich mohla byť potom určená dosiahnutá uhlová rýchlosť a následne porovnaná s referenčnou.

Podľa Reichla [15] je uhlová rýchlosť  $\omega$  definovaná ako podiel uhla  $\varphi$  (uhlovej dráhy) a času  $t$ , za ktorý bol uhol prejdený, teda

$$\omega = \frac{\varphi}{t}. \quad (4.1)$$

Reichl ďalej uvádza, že dĺžku oblúku  $s$ , ktorú opíše hmotný bod vo vzdialenosti  $r$  od prístroja, je určená podľa

$$s = \varphi r, \quad (4.2)$$

a pre rýchlosť, ktorou sa bod pohybuje platí

$$v = \frac{s}{t} = \frac{r\varphi}{t} = r\omega. \quad (4.3)$$

Experiment začal vytýčením uhla. Pre väčšie využitie rozsahu otáčania sme zvolili uhlovú dráhu  $60^\circ$ . Čas prejdenia dráhy určený z rovnice 4.1 sa z dôvodu odlišnej maximálnej rotácie prístrojov pri sledovaní reflektora mierne odlišoval. Vzdialenosť od prístroja bola určená s ohľadom na dosiahnutie požadovanej uhlovej rýchlosti

( $15^\circ \cdot s^{-1}$ ) figurantom. Zároveň musela byť dostatočne veľká na to, aby nedochádzalo k náhlej strate hranola zo zorného poľa, ktorá by mohla byť spôsobená kývavým pohybom figuranta. Pre minimalizáciu nežiaduceho kývavého pohybu sme uprednostnili rýchlu chôdzu namiesto behu. Pri dĺžke zábery 8 metrov dosahovala podľa vzorca 4.3 rýchlosť na oblúku  $2,1 m \cdot s^{-1}$ . Táto rýchlosť vyhovovala pohybu rýchlou chôdzou. Čas obehu oblúka sa zaznamenával pre určenie priemernej uhlovej rýchlosti.

V ďalšej časti pokusu sme si všímali správanie TS pri prechode hranola za kríkmi. Tie sa nachádzali vo vzdialenosti 8 m od prístroja. Pásmo krovín bolo rozdelené na dve oblasti v závislosti od ich hustoty. V prvej oblasti sa nachádzali kríky s redším počtom halúzok. Druhá oblasť bola špecifická nielen v tom, že hustota kríkov bola oproti prvej vyššia, ale lineárne tu hustota halúzok narastala smerom ku koncu testovacej dráhy. Dráha hranolu v redšej oblasti bola absolvovaná pri rôznych rýchlostiach. V hustejšej oblasti sme sa sústredili len na jednu rýchlosť prechodu. Pre určenie priemerných uhlových rýchlostí boli opäť zaznamenávané časy. Všetky tieto údaje sú uvedené vo vyhodnotení experimentu.



Obr. 4.4: Rušenie optickej cesty kríkmi

### 4.3.3 Vyhodnotenie pokusov

Pred začatím vyhodnotenia sme opäť museli odstrániť odľahlé hodnoty, ktoré by skresľovali pravdivosť pokusu. Príčinu vzniku a spôsob ich odhalenia sme analyzovali v časti 3.3.2. Po zhromaždení 40 platných pokusov sme experiment ukončili.

#### 4.3.3.1 Test úplného zakrytia reflektora

Testy sledovania hranola po prechode celistvej prekážky boli koncipované do rôznych vzdialeností. Narozdiel od laboratórnych testov sme v teréne overovali skoro limitný rozsah sledovania hranola pre Topcon  $\pm 30'$  a aj jeho polovičnú hodnotu. Ofsetové vzdialenosti od referenčnej roviny sú pre každú dĺžku vypočítané v prílohe B.2.1.

#### Topcon

Pri postavení na stanovisko 5001 bola vzdialenosť medzi prístrojom a reflektorom rovnaká ako v laboratóriu. V prípade prechodu hranola za skružou vo vodorovnej rovine bola šanca jeho detekcie 80%. Pri zvislom odsadení o 7 cm (15') sa možnosť opätovného chytenia mierne znížila na 78%. Z maximálneho zvoleného odsadenia o 12 cm (26') sme pokusmi zistili šancu 43% na zaznamenanie polohy reflektora.

Medzi stanoviskom 5002 a prekážkou bol rozdiel zámery dvojnásobný. Po prechode vo vodorovnej rovine sme indikovali zlepšenie detekcie na 88%. Dokonca pri odsadení o 15 cm (15') testy preukázali ďalšie zvýšenie šance opätovného sledovania na 90%. Pri poslednom odsadení o 23 cm (22') sa možnosť detekcie opakovane znížila. Výsledná šanca bola 38%.

Posledné stanovisko bolo totožné s bodom 4016. Dĺžka zámery mala okolo 90 m. Pri prechode v nemennej rovine sme dokázali dosiahnuť 90% šancu detekcie. Posun o 38 cm (15') preukázal len nadpolovičnú šancu so 68%. Následným posunom o 45 cm (17') klesla šanca detekcie na 33%. Pri poslednom testovanom odsadení prístroj nedokázal nadviazať kontakt s hranolom a úspešnosť pokusu bola nulová.

#### Leica

S prístrojom Leica sme pokračovali v testovaní podľa predošlej šablóny. Na prvom stanovisku bola v prípade prechodu hranola vo vodorovnej rovine zistená šanca detekcie 100%. Pri odsadení o 7 cm (15') bola možnosť opätovného chytenia rovnaká, teda 100%. Posledné odsadenie o 12 cm (26') znížilo šancu len minimálne na 95%.

V ďalšej časti sme sa postavili na stanovisko 5002. Horizontálny prechod znamenal opätovnú polohu hranola na 98%. Odsadenie o 15 cm (15') preukázalo

rovnaký trend ako pri kratšej vzdialenosti, teda znova 100% šanca. Pri poslednom odsadení o 23 cm (22') sa možnosť detekcie opakovane znížila na 95%.

Na poslednom stanovisku dĺžka zámery dosahovala znova 90,7 m. Pri prechode v horizontálnej rovine sme testom potvrdili 100% šancu detekcie. Posun o 38 cm (15') preukázal opätovne 100% spoľahlivosť pri sledovaní. Pri predposlednom posunutí o 45 cm (17') bola preukázaná úspešnosť 93%. Pri poslednom testovanom odsadení sa úspešnosť znížila na 85%

Úspešnosti sledovania hranola pri úplnom zakrytí signálu vyjadruje tabuľka 5.6 v časti 5.1.2.

#### 4.3.3.2 Test čiastočného zakrytia reflektora

Posledným testom sme zisťovali, do akej miery je možné rušiť optickú cestu medzi hranolom a prístrojom a pritom nestratiť jeho zacielenie. Najskôr sme vyhodnocovali správanie prístrojov pri dosiahnutí udávaných rýchlostí. Pri tomto teste nebola optická dráha rušená. Potom sme zhodnotili možnosti sledovania cieľa v závislosti od hustoty prekážok a rýchlosti prejazdu figuranta. Priemerná rýchlosť figuranta bola spočítaná z priemerného času prechodu a z prejdenej dráhy. Časy sa registrovali pri každom pokuse. Výpočty obvodových a uhlových rýchlostí pre jednotlivé časy prejazdu sú uvedené v prílohe B.2.2.

#### Topcon

V prvej časti bola overovaná možnosť dosiahnuť maximálnu udávanú rýchlosť ( $15^{\circ}.s^{-1}$ ). S hranolom sme oblúk  $60^{\circ}$  prešli v priemere za 3,85 s. Teda skutočná obvodová rýchlosť vypočítaná podľa vzťahu 4.3 bola v priemere vyššia a mala asi  $2,2m.s^{-1}$ . Skutočná uhlová rýchlosť bola podľa rovnice 4.1  $15,6^{\circ}.s^{-1}$ . Úspešnosť prístroja pri sledovaní dosiahla 100%. Referenčnú hodnotu rýchlosti sme na základe pokusu mohli prehlásiť za vierohodnú.

V ďalšej časti sme skúmali spoľahlivosť sledovania hranola v závislosti od rýchlosti prejazdu figuranta. Prvý úsek kríkov meral 7,2 metrov. Pri priemernom čase prejazdu 8,62 sekúnd sa nám podarilo vyvinúť obvodovú rýchlosť  $0,8m.s^{-1}$ , resp. uhlovú rýchlosť  $6,0^{\circ}.s^{-1}$ . Pri tejto rýchlosti sme dosiahli 100% spoľahlivosť v sledovaní. Pri zvýšení obvodovej rýchlosti na  $1,3m.s^{-1}$ , resp. uhlovej na  $9,4^{\circ}.s^{-1}$  bola úspešnosť pokusov 90%. Ďalšie zvýšenie obvodovej rýchlosti na hodnotu  $1,8m.s^{-1}$ , resp.  $12,8^{\circ}.s^{-1}$  v prípade uhlovej poukázalo na neschopnosť prístroja sledovať hranol. Prístroj strácal spojenie s reflektorom už na začiatku testovacej dráhy. V hustejšom úseku kríkov dosahovala ich dĺžka 5,5 m. Pri vyvinutí obvodovej rýchlosti  $0,9m.s^{-1}$ , resp. uhlovej rýchlosti  $6,8^{\circ}.s^{-1}$  sa podarilo sledovať hranol s úspešnosťou 85%.

## Leica

Pri overení maximálnej rýchlosti rotácie mala dosiahnutá obvodová rýchlosť v priemere asi  $2,1 m.s^{-1}$ , z čoho vyplýva uhlová rýchlosť  $14,9^{\circ}.s^{-1}$ . Dosiahnutá rýchlosť presiahla referenčnú hodnotu a spoľahlivosť v sledovaní bola 100%. Preto budeme považovať limitnú hodnotu sledovania za vierohodnú.

V ďalšej časti pokusov bolo skúmané správanie prístroja pri rušení signálu. Úseky boli identické ako v prípade prístroja Topcon. V prvom úseku sa nám pri priemernom čase prejazdu 8,20 sekúnd podarilo vyvinúť obvodovú rýchlosť  $0,9 m.s^{-1}$ , teda uhlovú rýchlosť  $6,3^{\circ}.s^{-1}$ . Pri tejto rýchlosti sme dosiahli 100% spoľahlivosť v sledovaní reflektora. Pri zvýšení obvodovej rýchlosti na  $1,3 m.s^{-1}$ , resp. uhlovej na  $8,9^{\circ}.s^{-1}$ , bola úspešnosť pokusov 90%. Aj po následnom zrýchlení na hodnotu obvodovej rýchlosti  $1,8 m.s^{-1}$ , resp.  $13,0^{\circ}.s^{-1}$  v prípade uhlovej dokázal prístroj sledovať reflektor so spoľahlivosťou 93%. V hustejšom úseku kríkov sme vyvinuli obvodovú rýchlosť  $0,9 m.s^{-1}$ , resp. uhlovú  $6,7^{\circ}.s^{-1}$ . Hranol sa podarilo sledovať len s úspešnosťou 20%. Takéto extrémne zníženie schopnosti sledovania bolo zapríčinené lineárnym nárastom hustoty prekážky smerom ku koncu testovacej dráhy. Práve v blízkosti konca trasy snímač ATR už nedokázal pokračovať v sledovaní reflektora.

Tabuľka 5.7 v časti 5.1.2 percentuálne znázorňuje všetky dosiahnuté úspešnosti pri čiastočnom rušení optickej cesty.

## 5 VYHODNOTENIE TESTOV

### 5.1 Porovnanie dosiahnutých výsledkov

Táto kapitola sa týka hodnotenia dosiahnutých výsledkov. Podstata našej bilancie tkvie v porovnaní testov pri laboratórnych a pri terénnych podmienkach. Pri každom experimente sme na podklade ich vyhodnotenia konštatovali dosiahnuté stredné chyby. Pre prehľadnosť sú výsledky všetkých testov zobrazené v tabuľkách.

#### 5.1.1 Test cielení

Prvá zložka experimentov sa týkala porovnania automatického a manuálneho cielenia. Z výsledkov laboratórneho testovania automatického cielenia je zrejmé, že väčší rozptyl, resp. horšia presnosť sa u oboch prístrojov prejavila pri meraní vodorovných smerov. Technológia ATR zabudovaná v prístroji Leica bola v porovnaní s automatickým cielením TS Topcon takmer 3-krát presnejšia. Z metodiky automatického merania v laboratóriu bolo možné určiť charakteristiky presnosti vzťahnuté k smeru, z ktorého prístroj vykonal cielenie. Dôvodom pre ich vyhodnotenie bolo zistenie prístrojových väd pri cielení z určitého smeru. V tabuľke 5.1 je poloha hranola prezentovaná ako smer, v ktorom sa hranol vzhľadom k zámernému krížu nachádzal pred samotným docielením. Vzájomná poloha hranola a nitkového kríža je zakreslená v zápisníkoch v prílohe A.1. Zo stredných chýb, určených pri každej polohe hranola, nie je zřejmý žiaden rizikový smer pri oboch prístrojoch.

poloha hranola	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
hore	9, 1	6, 9	<b>11, 4</b>	3, 0	1, 5	<b>3, 3</b>
dole	7, 3	5, 2	<b>9, 0</b>	2, 5	2, 2	<b>3, 3</b>
vľavo	9, 4	4, 6	<b>10, 5</b>	2, 8	2, 2	<b>3, 6</b>
vpravo	8, 2	7, 0	<b>10, 8</b>	2, 6	2, 3	<b>3, 5</b>
hore-vľavo	7, 8	7, 4	<b>10, 7</b>	4, 1	3, 5	<b>5, 4</b>
hore-vpravo	9, 7	7, 3	<b>12, 1</b>	3, 4	2, 5	<b>4, 2</b>
dole-vľavo	9, 0	6, 1	<b>10, 8</b>	2, 9	2, 2	<b>3, 7</b>
dole-vpravo	6, 6	6, 4	<b>9, 2</b>	2, 9	2, 0	<b>3, 5</b>
celkovo	8, 3	6, 3	<b>10, 4</b>	3, 0	2, 3	<b>3, 8</b>

Tab. 5.1: Presnosti z laboratórnych experimentov v automatickom režime

Uhlová presnosť prístroja by sa primárne mala premietnuť do presnosti manuálneho cielenia. TS Topcon má podľa technických dát lepšiu presnosť merania uhlov

než Leica. Laboratórny test týkajúci sa manuálneho cielenia tento fakt na základe porovnania stredných chýb potvrdil, avšak rozdiel medzi ich hodnotami bol minimálny. Z histogramov rozptylu manuálneho cielenia stanice Leica bolo možné vidieť, že oproti presnejším metódam majú smery podobnú početnosť v rámci celého intervalu strednej chyby. Z toho môžeme jednak potvrdiť horšiu uhlovú presnosť prístroja a zároveň aj výskyt systematických chýb vo väčšej miere než u prístroja Topcon. Najvyššiu presnosť v laboratóriu sme dosiahli pri použití ATR.

poloha hranola	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
celkovo	3, 4	2, 5	<b>4, 3</b>	4, 0	3, 8	<b>5, 5</b>

Tab. 5.2: Presnosti z laboratórnych experimentov pri ručnom cielení

Oproti laboratórnym testom sa kvalita merania pri poľnom meraní predvídateľne zhoršila. Chyba určenia vodorovného smeru bola jednoznačne horšia skoro pri všetkých experimentoch. Pri automatickom meraní totálnymi stanicami sa celkovo ukázala vyššia presnosť technológie ATR. Pri manuálnom cielení prevládla vyššia presnosť stanice Topcon. Najvyššia priemerná presnosť ( $7,2^{cc}$ ) bola dosiahnutá pri meraní s využitím ATR. Naopak najnižšiu priemernú presnosť ( $13,5^{cc}$ ) sme dosiahli pri manuálnom cielení TS Leica.

Merané dáta boli zapisované chronologicky. Preto bolo možné sledovať, ako sa hodnoty meraných smerov s časom menia. Najväčšie systematické zmeny v súboroch dát vznikali pri pôsobení vetra a vplyvom gradientu teploty. Časovú zmenu hodnôt smerov demonštrujú grafy v prílohe C.

dĺžka zámery	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
2,59 m	5, 0	14, 8	<b>15, 6</b>	7, 2	2, 5	<b>7, 6</b>
27,30 m	5, 9	2, 9	<b>6, 5</b>	8, 4	2, 3	<b>8, 8</b>
64,22 m	11, 9	5, 6	<b>13, 1</b>	3, 5	3, 4	<b>4, 9</b>
86,90 m	11, 9	4, 3	<b>12, 7</b>	6, 9	3, 2	<b>7, 6</b>
priemer			<b>12, 0</b>			<b>7, 2</b>

Tab. 5.3: Presnosti z terénnych experimentov v automatickom režime

### 5.1.2 Test automatického sledovania reflektora

Z vyhodnotených pokusov môžeme konštatovať spoľahlivosť opätovného zacielenia na reflektor. Experiment bol rozdelený na pokusy prechodu hranola vo vodo-



dĺžka zábery	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
2,59 m	15,3	4,8	<b>16,0</b>	24,1	3,5	<b>24,4</b>
27,30 m	4,7	4,2	<b>6,3</b>	12,7	4,7	<b>13,5</b>
64,22 m	5,5	5,2	<b>7,6</b>	3,1	4,8	<b>5,7</b>
86,90 m	6,9	4,1	<b>8,0</b>	9,6	3,6	<b>10,3</b>
priemer			<b>9,5</b>			<b>13,5</b>

Tab. 5.4: Presnosti z terénnych experimentov pri ručnom cielení

rovnej priamke a pri rôznych odsadeniach od stredu zámernej priamky. Nasledujúca tabuľa 5.5 ponúka celkové zhrnutie dosiahnutých výsledkov v laboratóriu.

odsadenie [cm]	Topcon GPT 9001A	Leica TCRP 1205+
	úspešnosť [%]	úspešnosť [%]
0'	80	95
11'	75	93
22'	18	<i>nerealizované</i>
32'	13	73
43'	<i>nerealizované</i>	28

Tab. 5.5: Úspešnosť detekcie hranola v laboratóriu

Z tabuľky 5.5 je viditeľná zvyšujúca sa tendencia nenájsť hranol so zväčšujúcim sa odsadením. Celkovo dopadol test lepšie pre TS Leica. Tá dokázala nájsť hranol pri limitných hodnotách vo väčšej miere než Topcon. V ďalších dvoch tabuľkách (5.6, 5.7) sú uvedené výsledky z testovania v teréne. Prvá obsahuje úspešnosti detekcie hranola po prechode za celistvou prekážkou, tá druhá ukazuje na úspešnosť sledovania reflektora pri rušení optickej cesty.

Totálna stanica Topcon dokazovala pri poľných pokusoch prechodu za betónovou skružou veľmi podobný charakter úspešnosti ako pri pokusoch v laboratóriu. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou sa začala prejavovať neschopnosť pokračovať v sledovaní reflektora po jeho objavení v zornom poli. Pre stanicu Leica neboli vytvorené podmienky tak, aby sa prejavil trend v sledovaní hranola pri maximálnych ofsetoch. Jej výsledky preto poskytovali vysokú spoľahlivosť. Úspešnosti detekcie hranola po prejení súvislou prekážkou sú u oboch prístrojov zoradené v tabuľke 5.6.

V tabuľke 5.7 je uvedených 5 zón. Zóna zahrňuje testovaciu dráhu a prekážku medzi prístrojom a hranolom. Každá zóna má jednoznačne vymedzenú dĺžku, plánovaný čas prechodu a hustotu elementov, ktoré rušia optickú cestu. K 0 je oblasť

posun	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	úspešnosť pri zámere [%]			úspešnosť pri zámere [%]		
	16,4 m	36,0 m	90,7 m	16,4 m	36,0 m	90,7 m
0'	80	88	90	100	98	100
15'	78	90	68	100	100	100
17'	<i>nerealiz.</i>	<i>nerealiz.</i>	33	<i>nerealiz.</i>	<i>nerealiz.</i>	93
22'	<i>nerealiz.</i>	38	0	<i>nerealiz.</i>	95	85
26'	43	<i>nerealiz.</i>	<i>nerealiz.</i>	95	<i>nerealiz.</i>	<i>nerealiz.</i>

Tab. 5.6: Úspešnosť detekcie hranola v teréne

zóny	Topcon GPT 9001A	Leica TCRP 1205+
	úspešnosť [%]	úspešnosť [%]
K 0	100	100
K 1.1	100	100
K 1.2	90	90
K 1.3	0	93
K 2	85	20

Tab. 5.7: Úspešnosť sledovania hranola pri rušenej optickej ceste

bez tienenia, kde sa testovala maximálna rýchlosť rotácie motorov. K 1.1 až K 1.3 zahŕňajú oblasť redších krovín, rozdiel je len v rýchlosti prechodu. V oblasti K 1.1 trval prechod najdlhšie, teda aj rýchlosť je tu najmenšia. Oblasť K 2 označuje oblasť hustejších krovín. Parametre každej zóny sú uvedené v prílohe B.2.2.

Tabuľka 5.7 odráža skutočnosť, že pri nesúvislej redšej prekážke dokážu obe TS sledovať hranol veľmi spoľahlivo. S narastajúcou rýchlosťou schopnosť sledovania klesá. V prípade stanice Leica závisí možnosť sledovania hlavne od hustoty prekážky. Aj pri nízkej rýchlosti častokrát stratila spojenie v zóne K 2 na konci testovacej trasy. Hustota kríkov tu totižto rástla smerom od začiatku ku koncu dráhy.

## 5.2 Zhodnotenie udávaných presností

Zo spracovania každého testu sme dokázali určiť buď empirické stredné chyby alebo stanoviť spoľahlivosť overovaných robotických vlastností. Na základe tabuliek, uvedených v predchádzajúcej podkapitole, dokážeme bilancovať dosiahnuté presnosti. Aby sme dokázali hodnotiť významnosť dosiahnutých presností, bolo nutné výsledky konfrontovať s referenčnými. Na základe porovnania potom môžeme hovo-

riť o miere ďalších chýb, ktoré je potrebné brať v úvahu pri meraní.

Celkovú bilanciu empirických a základných presností zobrazuje tab. 5.8. Základnej strednej chybe merania smerov v jednej polohe ďalekohľadu sme pre odlišenie pridali symbol prúžku ( $\bar{m}$ ). Prepočet medzi udávanou presnosťou a presnosťou v jednej polohe ďalekohľadu je uvedený v prílohe B.1.1. Výberové stredné chyby sme rozdelili na chybu dosiahnutú v laboratóriu ( $m_{lab}$ ) a v teréne ( $m_{ter}$ ). Strednú chybu z meraní v teréne sme v tabuľke uviedli ako priemernú hodnotu chýb pri rôznej dĺžke zámery. Z tabuľky jasne vyplýva, že pri meraní v laboratórnych podmienkach sa dá priblížiť k teoretickým presnostiam. Pri meraniach v teréne sme sa dostali na zhruba dvojnásobok tejto hodnoty.

režim	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$\bar{m}$ [cc]	$m_{lab}$ [cc]	$m_{ter}$ [cc]	$\bar{m}$ [cc]	$m_{lab}$ [cc]	$m_{ter}$ [cc]
automatický	8,8	10,4	12,0	4,4	3,5	7,2
manuálny	4,4	4,3	9,5	21,2	5,5	13,5

Tab. 5.8: Porovnanie základných a empirických presností

Pri empirickej presnosti automatického cielenia by sme sa nemali obmedziť len na presnosti prístroja. Dôležitý faktor totiž zohráva aj presnosť použitého odrazového hranola. V našom prípade išlo o panoramatický hranol Leica GRZ 4 360° s priestorovou presnosťou 2 mm (pri natočení na stranu so žltou šípku). Miera ovplyvnenia experimentov presnosťou hranola testovaná nebola. Pri vyjadrení jeho presnosti v podobe uhlovej odchýlky môžeme tvrdiť, že sa v žiadnom experimente významne neprejavila. Stredné chyby hranola, určené pre každú vzdialenosť medzi prístrojom a cieľom v rámci testov, sú vyjadrené v podobe uhlových odchýlok. Tieto hodnoty sú uvedené v prílohe B.1.5.

Rovnako aj presnosť manuálneho cielenia je závislá od kvality terča. V našich testoch sme použili typ terča, ktorý minimalizoval chybu z cielenia. Už pri výbere iného charakteru cieľa by výberové stredné chyby nemuseli vyhovovať teoretickým. Presnosť cielenia pri rôznych typoch koincidencie je uvedená v prílohe B.1.6.

Smerodajným ukazovateľom pri teste automatického sledovania hranola bol rozsah sledovania reflektora laserovým lúčom. Hodnotenie pozostávalo z určenia percentuálnej úspešnosti opätovného napojenia na dráhu hranola. V tabuľkách 5.5/6/7 sú uvedené výsledky všetkých pokusov.

Z výsledkov testu teda môžeme konštatovať, že pri TS Topcon, je šanca na napojenie po predikcii smeru pri uhlovom posune od  $\pm 22'$  minimálna. Hlavný parameter, ktorý tento rozsah značne degraduje, je dĺžka zámery. Pri vzdialenosti 90 metrov sa

už nedá spoliehať na referenčné hodnoty. Prístroj je schopný nájsť hranol po prechode takto vzdialenej prekážky len do polovice limitného rozsahu. V prípade sledovania hranola sa pri nižšej rýchlosti darí udržať zacielenie na reflektor aj v oblasti hustejších kríkov.

Detekčný rozsah hranola prístrojom Leica je determinovaný veľkosťou zorného poľa. Takýto rozsah bol overený len s takmer tretinovou úspešnosťou. Zaujímavejší je ale fakt, že v rámci polovičnej hodnoty rozsahu sa Leica pri vyhľadání cieľa správa veľmi spoľahlivo. Schopnosť udržať hranol v zornom poli sa darí len pri nižšej frekvencii rušivých elementov. Na druhej strane je možné rátať s vyššou rýchlosťou sledovania.

## 6 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo testovanie robotických totálnych staníc Topcon GPT 9001 A a Leica TCRP 1205+. Konkrétne išlo o overenie robotických technológií, ktoré zastupujú prácu obsluhy prístroja pri kolimácii na odrazový hranol. V tomto kontexte som sa v práci zameril na testovanie schopnosti automatického docielenia na stred reflektora a jeho sledovanie prístrojom. Vytýčený cieľ testovania spočíval v overení presností a spoľahlivosti robotických funkcií udávaných v technických dátach.

Proces testovania som rozdelil na experimenty v laboratóriu a v teréne. Pri poľných testoch sa potvrdil nepriaznivý vplyv okolitých a meteorologických javov na priebeh merania. Mieru nepresností spôsobenú prostredím bolo možné odhadnúť na základe porovnania stredných chýb laboratórnych a poľných meraní. Z testov vyplynulo, že prostredie zhoršuje referenčné presnosti asi dvojnásobne.

Metodikou cielenia som sa zameril na simuláciu bežného uhlového merania. Z toho dôvodu boli merania realizované v jednej polohe ďalekohľadu. Z histogramov rozptylu robotickej stanice Topcon je badateľné, že v prípade automatického aj manuálneho cielenia majú smery merané v jednej polohe tendenciu smerovať k strednej hodnote. Pravdepodobne je tento jav spôsobený vysokou uhlovou presnosťou prístroja. Teoretická presnosť merania uhlov bola dosiahnutá pri manuálnom cielení. V automatickom režime bola teoretická presnosť prekročená o 0,16 mgon.

V prípade stanice Leica mali histogramy rozptylu pri meraní smerov rozdielny charakter. Automatické zacielenie pomocou snímača ATR malo povahu konvergovať k strednej hodnote. Pri laboratórnych meraniach bola potvrdená jeho udávaná presnosť. Rozptyl pri manuálnom cielení mal náhodný charakter. Vysvetľoval to fakt, že hodnoty smerov boli takmer rovnomerne rozmiestené v rámci celého súboru. Rozptyl smerov taktiež poukazoval na horšiu uhlovú presnosť pri manuálnom cielení spôsobenú prístrojovými chybami. Veľkosť týchto chýb test meraním v jednej polohe nemohol preukázať. Nižšia uhlová presnosť prístroja Leica nemala na hodnoty merané pomocou ATR žiaden vplyv. Technologicky je totiž správny smer pri použití ATR určený z obrazu na snímači matematickým algoritmom.

Pri teste automatického sledovania reflektora po prechode za skružou prístrojom Topcon bola na základe testu potvrdená jeho spoľahlivosť pri opätovnej detekcii hranola v prípade, že nezmenil svoju výšku. So zvyšujúcim sa odsadením od vodorovnej roviny táto šanca klesá. Bolo zistené, že pri rovnakom odsadení spoľahlivosť klesá najmä so zvyšujúcou sa vzdialenosťou. Vo vzdialenosti 90 metrov vznikla šanca na detekciu hranola po jeho objavení len pri polovičnej hodnote limitného odsadenia. Pri teste schopnosti sledovania reflektora pri čiastočnom rušení signálu bola preukázaná vysoká miera spoľahlivosti sledovania pri nižšej rýchlosti prechodu. Zvolená

rýchlosť bola zhruba polovičná než jej maximálna hodnota pri sledovaní bez prekážok v zornom poli.

Totálna stanica Leica vykazovala pri sledovaní detekcie hranola po predikovaní smeru vysokú spoľahlivosť v rámci polovičnej hodnoty limitného offsetu. Problémy v dochytení smeru nastali až pri odsadeniach na hranici zorného poľa. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou medzi prístrojom a hranolom výrazne neklesala úspešnosť detekcie. Pri čiastočnom rušení signálu závisela schopnosť sledovania reflektora od hustoty prekážky. V hustejšej časti prístroj takmer stále smer predikoval, čo bolo následkom straty reflektora. Na konci testovacej dráhy prístroj už hranol skoro nenašiel. Naopak v redších oblastiach bolo možné sledovať hranol aj pri maximálnej rýchlosti rotácie.

## LITERATÚRA

- [1] BEDFORD, Jon, Trevor Pearson THOMASON a Bernard THOMASON. *Traversing the Past: The total station theodolite in archaeological landscape survey*. In: [online]. 2011 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z URL: <[http://www.english-heritage.org.uk/publications/traversingthepast/Traversing\\_the\\_Past.pdf](http://www.english-heritage.org.uk/publications/traversingthepast/Traversing_the_Past.pdf)>.
- [2] ČSN ISO 8322-4. *Určování přesnosti měřicích přístrojů: Část 4: Teodolity*. Český normalizační institut, Praha, 1994.
- [3] DIN 18723 Specification for Theodolite Accuracy. *Professional Surveyor Magazine* [online]. 2002 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z URL: <<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=988>>.
- [4] HÁNEK, Pavel. *Data z dějin zeměměřictví: 25 tisíc let oboru*. Praha: Klaudian, 2012. ISBN 978-80-902524-4-8.
- [5] HONS, Josef a Bohuslav ŠIMÁK. *Pojďte s námi měřit zeměkouli*. 2. vydání. Praha: Orbis, 1959.
- [6] CHEVES, Marc. Geodimeter: The First Name in EDM. *Professional Surveyor Magazine* [online]. 1999 [cit. 2014-02-12]. Dostupné z URL: <<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=394>>.
- [7] KRATOCHVÍL, Jiří. *Určování přesnosti měřicích přístrojů*. Praha, 2005. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Dostupné z URL: <<http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/dp/2005/jiri-kratochvil-dp-2005.pdf>>.
- [8] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica TPS1200+ Series: High performance Total Station*. [online]. Heerbrugg (Švajčiarsko), 2009. Dostupné z URL: <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica\\_TPS1200+\\_brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica_TPS1200+_brochure_en.pdf)>.
- [9] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica TPS1200+ Series: Technical Data*. [online]. Heerbrugg (Švajčiarsko), 2009. Dostupné z URL: <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica\\_TPS1200+\\_TechnicalData\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures-datasheet/Leica_TPS1200+_TechnicalData_en.pdf)>.
- [10] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica TPS1200+: User Manual*. [online]. Heerbrugg (Švajčiarsko), 2009. Dostupné z URL: <[http://www.surveyequipment.com/PDFs/TPS1200\\_User\\_Manual.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/TPS1200_User_Manual.pdf)>.

- [11] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica TPS1200+: White Paper*. [online]. Heerbrugg (Švajčiarsko), 2009. Dostupné z URL: <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/white-tech-paper/TPS1200+\\_WhitePaper\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/white-tech-paper/TPS1200+_WhitePaper_en.pdf)>.
- [12] LEICA GEOSYSTEMS. *Leica Geosystems Original Accessories: Material matters* [online]. Heerbrugg (Švajčiarsko), 2009. Dostupné z URL: <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO_en.pdf)>.
- [13] MAZALOVÁ, Jana. *Měření délek a komparace měřidel a dálkoměrů*. Ostrava, 2002. Učebné texty. Technická univerzita Ostrava. Dostupné z URL: <[http://hgf.unas.cz/mereni\\_delek.doc](http://hgf.unas.cz/mereni_delek.doc)>.
- [14] POKORA, Matěj. *Geodézie I* Praha: GKP Praha, 1985.
- [15] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Pohyb hmotného bodu po kružnici. *Encyklopedie fyziky* [online]. ©2006-2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z URL: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/15-pohyb-hmotneho-bodu-po-kruznici>>.
- [16] ŠTEPÁNKOVÁ, Hana. *Dějiny zeměměřičtví*. Ostrava, 2002. Učebné texty. Technická univerzita Ostrava. Dostupné z URL: <[http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Dejiny\\_zememericctvi.pdf](http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/Dejiny_zememericctvi.pdf)>.
- [17] ŠVÁBENSKÝ, Otakar., VITULA, Alexej., BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie. Návody ke cvičením*. Brno, 2006. Učebné texty. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] TOPCON CORPORATION. *Repair Manual: GPT-9000A/9000M series*. Tokyo, 2007.
- [19] TOPCON CORPORATION. *Uživatelský a referenční manuál. Automatická pulsní totální stanice. Řada GPT-9000A*. Brno: Geodis, 2006.
- [20] WEIGEL, J. *Vyšší geodézie II, Modul Základní výškové (nivelační) sítě*. Brno, 2006. Učebné texty. Vysoké učení technické v Brně.



## ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

TS Totálna stanica

EGL Vytyčovacie svetlo - Electronic Guide Light

LED Luminiscenčná dióda - Light-emitting diode

ČSN Česká technická norma

ISO Medzinárodná organizácia pre normalizáciu - International Standard Organization

ATR Automatické rozpoznávanie a zaostrovanie terča - Automatic Target Recognition

PS Vyhľadanie strateného hranola - PowerSearch

EDM Elektronický diaľkomer - Electronic Distance Meter

PDA Vreckový počítač - Personal Digital Assistant

VUT Vysoké učení technické

# ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Dioptra . . . . .	11
1.2	Ahmadov astroláb . . . . .	11
1.3	Kvadrant . . . . .	12
1.4	Prístroj na meranie uhlov nazvaný Instrument Topographicall . . . . .	12
1.5	Tachymeter . . . . .	13
1.6	Teodolit Wild Th1 . . . . .	13
1.7	Hodometer . . . . .	14
1.8	Geodimeter 142 . . . . .	14
1.9	Geodimeter System 4000 . . . . .	14
1.10	Robotická totálna stanica Topcon GPT 9001A . . . . .	15
1.11	Robotická totálna stanica Leica TCRP 1205+ . . . . .	16
1.12	Reflektor Leica GRZ 4 360° . . . . .	17
2.1	Princíp detekcie polohy hranola . . . . .	18
2.2	Rozsah laserového lúča na veľkú vzdialenosť . . . . .	19
2.3	Rozsah hľadania: Hz 10°, V 5° . . . . .	19
2.4	Uloženie ATR snímača . . . . .	20
2.5	Princíp detekcie polohy hranola . . . . .	21
2.6	Hz a V odchýlka . . . . .	21
2.7	Graf závislosti presnosti ATR od meranej vzdialenosti . . . . .	22
2.8	Poloha žiariča a prijímača senzoru PS . . . . .	22
3.1	Pilierová miestnosť B150 . . . . .	23
3.2	Terč v laboratóriu . . . . .	24
3.3	Histogramy rozptylu pri automatickom cielení (Topcon) . . . . .	29
3.4	Histogramy rozptylu pri manuálnom cielení (Topcon) . . . . .	30
3.5	Histogramy rozptylu pri automatickom cielení (Leica) . . . . .	30
3.6	Histogramy rozptylu pri manuálnom cielení (Leica) . . . . .	31
3.7	Laboratórny test automatického sledovania hranola . . . . .	33
4.1	Schéma bodového poľa . . . . .	36
4.2	Ukážka prekážky tvorenej krovinami . . . . .	40
4.3	Ukážka prechodu za betónovou skružou . . . . .	42
4.4	Rušenie optickej cesty kríkmi . . . . .	43

## ZOZNAM TABULIEK

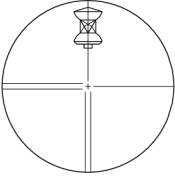
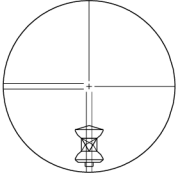
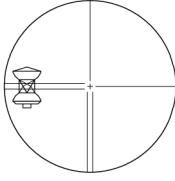
1.1	Vybrané technické dáta testovaných totálnych staníc . . . . .	17
5.1	Presnosti z laboratórnych experimentov v automatickom režime . . .	47
5.2	Presnosti z laboratórnych experimentov pri ručnom cielení . . . . .	48
5.3	Presnosti z terénnych experimentov v automatickom režime . . . . .	48
5.4	Presnosti z terénnych experimentov pri ručnom cielení . . . . .	49
5.5	Úspešnosť detekcie hranola v laboratóriu . . . . .	49
5.6	Úspešnosť detekcie hranola v teréne . . . . .	50
5.7	Úspešnosť sledovania hranola pri rušenej optickej ceste . . . . .	50
5.8	Porovnanie základných a empirických presností . . . . .	51

# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A</b>	<b>Zápisníky meraných údajov</b>	<b>61</b>
A.1	Zápisníky smerov meraných v laboratóriu . . . . .	61
A.2	Zápisníky smerov meraných v teréne . . . . .	68
A.3	Zápisníky úspešnosti detekcie v laboratóriu . . . . .	76
A.4	Zápisníky úspešnosti detekcie v teréne . . . . .	76
A.5	Zápisníky úspešnosti sledovania v teréne . . . . .	77
A.6	Zápisníky časov prechodu meraných v teréne . . . . .	78
<b>B</b>	<b>Výpočty</b>	<b>81</b>
B.1	Test cielení . . . . .	81
B.1.1	Prepočet základných stredných chýb . . . . .	81
B.1.2	Test extrémnych odchýlok od priemeru . . . . .	81
B.1.3	Test strednej chyby . . . . .	84
B.1.4	Celková presnosť . . . . .	87
B.1.5	Presnosť reflektora Leica GRZ 4 360° . . . . .	88
B.1.6	Odhad presnosti manuálneho cielenia . . . . .	88
B.2	Test automatického sledovania reflektora . . . . .	88
B.2.1	Odsadenia . . . . .	88
B.2.2	Výpočet obvodovej a uhlovej rýchlosti . . . . .	89
<b>C</b>	<b>Grafy</b>	<b>90</b>
C.1	Zmeny priemerných hodnôt smerov . . . . .	90
C.1.1	Topcon GPT 9001A . . . . .	90
C.1.2	Leica TCRP 1205+ . . . . .	94

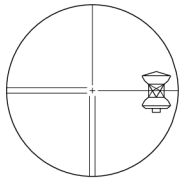
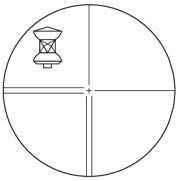
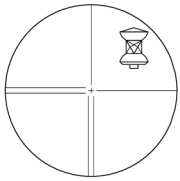
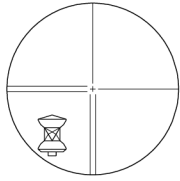
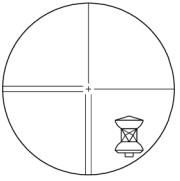
# A ZÁPISNÍKY MERANÝCH ÚDAJOV

## A.1 Zápisníky smerov meraných v laboratóriu

Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°					
Stanovisko:	pilier 1	Stanovisko:	pilier 8					
Režim:	automatický	Počasia:	laboratórium, 20°C					
poloha hranola <sup>1</sup>	smer [°] <sup>2</sup>		poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
hore 	94	949	dole 	90	958	vľavo 	94	949
	101	951		90	952		96	957
	93	953		85	951		93	962
	91	957		80	954		95	958
	91	956		82	957		96	958
	98	955		82	961		95	959
	88	950		87	962		82	960
	86	962		86	968		81	967
	86	967		83	969		80	968
	73	972		75	966		71	969
	72	958		79	961		74	964
	81	950		72	959		72	959
	84	960		80	954		71	960
	81	962		74	960		82	959
	77	959		75	965		78	955
	78	958		71	958		77	957
	79	967		79	965		81	962
	71	965		70	966		76	965
	76	971		73	964		76	963
	73	966		79	965		78	962
	71	956		65	958		69	958
	72	956					66	959
	82	953					79	954

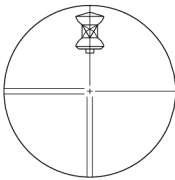
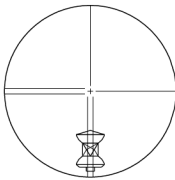
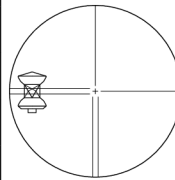
<sup>1</sup>Poloha hranola je definovaná ako smer od zámerného kríža k reflektoru nachádzajúceho sa v rámci zorného poľa pred docielením.

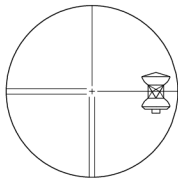
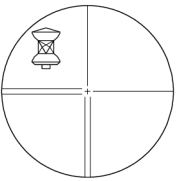
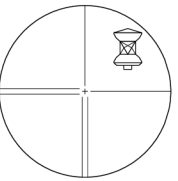
<sup>2</sup>Nameraná hodnota vodorovného smeru ( $H_z$ ) a zenitového uhla ( $V_z$ ).

poloha hranola	smer [°c]		poloha hranola	smer [°c]		poloha hranola	smer [°c]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
vpravo 	94	943	vľavo hore 	91	952	vpravo hore 	106	942
	94	956		93	963		91	963
	90	954		100	954		88	960
	92	962		82	965		93	958
	86	960		87	965		96	960
	89	963		81	971		91	957
	85	965		82	972		91	953
	89	968		81	971		86	957
	84	971		75	973		83	961
	83	970		73	958		88	964
	80	975		76	951		82	965
	79	966		79	952		76	971
	81	958		79	953		76	952
	83	959		76	953		78	955
	73	968		68	967		77	953
	82	961		79	961		78	953
	82	962		71	964		70	969
	80	965		71	961		71	970
	72	962		78	963		74	963
	81	965		81	955		69	965
68	962	79	954	86	952			
60	957							
74	953							
85	953							
vľavo dole 	100	958	vpravo dole 	94	958			
	90	955		93	956			
	97	958		92	952			
	90	953		83	953			
	85	954		85	961			
	88	959		89	957			
	85	958		85	957			
	86	964		82	959			
	80	965		90	960			
	89	966		87	963			

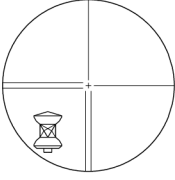
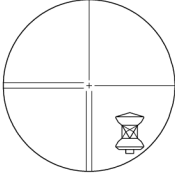
poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
vľavo dole	81	968	vpravo dole	83	965			
	80	968		88	966			
	80	974		83	966			
	75	968		86	967			
	73	969		74	972			
	79	962		79	972			
	76	963		80	971			
	80	956		80	955			
	74	961		80	957			
	68	965		70	967			
	66	953						
68	955							

Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Ciel:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	pilier 1	Stanovisko:	pilier 8
Režim:	automatický	Počasié:	laboratórium, 20°C

poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
hore 	887	510	dole 	880	512	vľavo 	887	513
	881	512		880	508		883	509
	881	510		885	509		885	507
	882	513		885	509		882	513
	879	513		885	510		885	509
	879	516		881	511		880	514
	884	510		885	509		881	515
	878	512		887	511		886	515
	881	513		884	510		885	514
	887	513		884	509		884	512
	879	514		885	511		879	512
	880	515		877	514		886	515
	886	512		884	513		886	513
	886	510		885	512		885	512
	882	513		887	513		884	511

poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]	
	$H_z$	$V_z$		$H_z$	$V_z$		$H_z$	$V_z$
hore	885	511	dole	885	510	vľavo	886	513
	880	513		884	513		880	515
	880	512		884	514		883	516
	878	511		885	509		878	513
	885	512		885	514		877	511
	885	512		884	513		884	515
				884	512		885	513
				884	512		886	511
vpravo 	884	508	vľavo hore 	881	507	vpravo hore 	880	509
	887	512		882	508		881	510
	886	507		886	509		886	510
	880	510		888	509		879	510
	880	511		888	511		879	507
	883	510		879	506		885	511
	880	511		879	511		880	510
	883	510		874	514		883	509
	884	510		884	514		881	515
	883	514		880	512		882	512
	879	513		885	518		879	513
	882	510		879	513		884	512
	884	507		884	516		881	513
	881	514		880	515		881	516
	881	513		877	515		879	516
	884	513		879	514		880	515
	889	514		881	515		879	513
	888	512		881	518		881	512
	883	515		881	513		880	512
	886	513		879	515		878	512
	886	512		878	517		884	515
	885	510		877	513		878	511
							877	513
							880	513



poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]		poloha hranola	smer [°]	
	<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>
vľavo dole	882	510	vpravo dole	887	510			
	879	507		886	509			
	885	509		885	510			
	885	511		885	512			
	885	515		884	513			
	883	514		880	512			
	887	514		881	516			
	885	513		880	514			
	884	515		886	513			
	884	513		886	513			
	883	512		888	517			
	886	511		885	514			
	880	514		887	513			
	883	512		885	514			
	887	512		884	512			
	887	514		884	512			
	887	512		885	513			
	885	511		886	511			
	885	512		886	514			
	879	514		885	514			
	886	515		886	513			
	886	513		883	511			
	884	516						
	888	513						

Prístroj:	Topcon GPT 9001A		Cieľ:	rysový terč				
Stanovisko:	pilier 1		Stanovisko:	pilier 8				
Režim:	manuálny		Počasia:	laboratórium, 20°C				
číslo pokusu	smer <sup>[cc]</sup>		číslo pokusu	smer [cc]		číslo pokusu	smer [cc]	
	<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>
1	604	914	15	607	922	29	604	922
2	612	910	16	602	922	30	605	919
3	606	919	17	606	918	31	607	919
4	607	917	18	604	922	32	606	914
5	607	911	19	606	918	33	600	912
6	607	911	20	604	915	34	603	915
7	605	920	21	604	915	35	607	922
8	608	921	22	603	920	36	609	917
9	604	914	23	606	923	37	607	913
10	608	919	24	600	916	38	607	915
11	609	919	25	608	919	39	605	914
12	607	914	26	600	915	40	604	916
13	602	915	27	606	919	41	605	921
14	602	919	28	604	919			

Prístroj:	Leica TCRP 1205+		Cieľ:	rysový terč				
Stanovisko:	pilier 1		Stanovisko:	pilier 8				
Režim:	manuálny		Počasiť:	laboratórium, 20°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>		<i>H</i> <i>z</i>	<i>V</i> <i>z</i>
1	191	8	15	196	8	29	192	4
2	204	5	16	198	6	30	195	12
3	200	14	17	198	4	31	192	1
4	194	8	18	202	8	32	198	11
5	204	3	19	193	11	33	200	11
6	207	15	20	193	14	34	196	8
7	191	12	21	197	9	35	199	9
8	199	4	22	193	14	36	198	6
9	198	0	23	202	6	37	193	7
10	202	4	24	191	9	38	193	13
11	196	4	25	203	9	39	194	12
12	198	11	26	195	1	40	197	8
13	193	3	27	197	9	41	195	9
14	196	9	28	196	9			

## A.2 Zázpisníky smerov meraných v teréne

Prístroj:	Topcon GPT 9001A		Cieľ:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4010		Stanovisko:	4012				
Režim:	automatický		Počasié:	polojasno, 4°C				
číslo pokusu	smer [cc]		číslo pokusu	smer [cc]		číslo pokusu	smer [cc]	
	Hz	Vz		Hz	Vz		Hz	Vz
1	274	494	15	266	492	29	273	494
2	264	519	16	269	507	30	267	507
3	272	494	17	267	486	31	269	505
4	263	528	18	266	483	32	268	501
5	280	477	19	268	496	33	270	495
6	277	470	20	270	486	34	264	495
7	278	482	21	266	470	35	262	488
8	266	483	22	267	467	36	264	482
9	272	463	23	273	490	37	264	497
10	269	474	24	272	495	38	269	495
11	268	488	25	275	490	39	264	493
12	263	524	26	267	520	40	257	494
13	265	555	27	273	486	41	256	511
14	270	476	28	264	494			
Režim:	manuálny		Cieľ:	rysový terč				
1	406	386	15	376	397	29	400	390
2	410	396	16	381	394	30	405	379
3	400	394	17	370	395	31	411	386
4	402	396	18	386	392	32	410	382
5	399	402	19	386	394	33	407	384
6	396	392	20	389	384	34	401	390
7	387	391	21	388	386	35	408	382
8	382	390	22	392	384	36	390	383
9	372	388	23	393	387	37	411	384
10	374	386	24	383	388	38	410	386
11	373	388	25	386	386	39	413	384
12	369	386	26	403	382	40	418	389
13	366	393	27	379	386	41	414	388
14	362	390	28	406	390	42	415	385

Prístroj:	Topcon GPT 9001A		Ciel:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4010		Stanovisko:	4011				
Režim:	automatický		Počasié:	polojasno, 7°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	841	840	15	863	846	29	835	841
2	853	847	16	863	844	30	835	841
3	856	852	17	856	841	31	840	843
4	845	840	18	849	838	32	841	849
5	860	847	19	850	850	33	838	845
6	856	840	20	852	842	34	837	844
7	862	850	21	837	843	35	842	841
8	865	856	22	837	858	36	844	850
9	856	838	23	828	843	37	839	848
10	862	843	24	830	850	38	840	850
11	865	852	25	835	853	39	839	849
12	865	850	26	838	840	40	836	856
13	864	841	27	834	837	41	832	853
14	867	858	28	834	841	42	832	848
						43	838	839
Režim:	manuálny		Ciel:	rysový terč				
1	957	18	15	984	10	29	991	11
2	963	18	16	982	14	30	994	11
3	966	17	17	984	7	31	993	7
4	970	18	18	989	9	32	994	7
5	979	22	19	984	6	33	995	13
6	982	24	20	986	10	34	994	7
7	981	17	21	990	12	35	990	11
8	988	22	22	992	5	36	994	10
9	986	14	23	992	7	37	991	10
10	988	12	24	993	6	38	987	4
11	988	13	25	990	8	39	991	7
12	983	13	26	991	10	40	995	4
13	974	17	27	991	6	41	986	0
14	979	11	28	990	9	42	986	3

Prístroj:	Topcon GPT 9001A		Cieľ:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4019		Stanovisko:	4011				
Režim:	automatický		Počasiť:	polojasno, 9°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	616	645	15	616	650	29	628	651
2	614	648	16	613	648	30	623	652
3	621	648	17	617	649	31	625	647
4	623	652	18	616	645	32	623	643
5	623	643	19	612	643	33	628	637
6	616	647	20	614	644	34	622	645
7	611	651	21	622	643	35	627	643
8	617	648	22	618	647	36	626	644
9	614	645	23	615	647	37	624	646
10	615	646	24	619	644	38	627	647
11	615	645	25	620	646	39	634	642
12	619	646	26	624	651	40	633	649
13	612	646	27	623	652	41	629	649
14	612	648	28	623	648	42	627	641
Režim:	manuálny		Cieľ:	rysový terč				
1	661	680	16	651	670	31	662	669
2	652	676	17	650	677	32	650	666
3	657	672	18	651	670	33	663	674
4	656	675	19	650	670	34	664	677
5	654	668	20	659	674	35	656	670
6	655	676	21	653	676	36	664	675
7	660	678	22	654	670	37	657	677
8	656	671	23	653	675	38	658	676
9	658	670	24	652	668	39	653	672
10	662	670	25	654	678	40	649	670
11	657	666	26	652	674	41	651	665
12	654	667	27	657	674	42	644	674
13	650	669	28	655	681	43	650	669
14	650	664	29	659	678	44	650	669
15	649	671	30	663	674	45	649	667

Prístroj:	Topcon GPT 9001A		Ciel:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4016		Stanovisko:	4017				
Režim:	automatický		Počasié:	polojasno, 13°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	700	551	15	716	555	29	728	549
2	694	558	16	723	548	30	729	553
3	692	560	17	722	561	31	732	561
4	700	584	18	721	554	32	723	552
5	698	552	19	723	554	33	726	561
6	698	562	20	725	565	34	723	552
7	693	563	21	723	550	35	728	554
8	702	558	22	719	561	36	733	554
9	708	555	23	717	557	37	732	556
10	708	559	24	729	550	38	735	555
11	709	558	25	728	560	39	727	551
12	717	557	26	718	555	40	725	553
13	720	559	27	724	559	41	729	562
14	728	553	28	727	552	42	730	554
Režim:	manuálny		Ciel:	rysový terč				
1	201	33	16	192	10	31	187	20
2	199	21	17	192	16	32	180	18
3	197	21	18	194	15	33	172	24
4	210	15	19	194	19	34	188	11
5	195	26	20	195	19	35	194	17
6	190	20	21	192	17	36	201	19
7	192	22	22	200	19	37	193	20
8	190	26	23	190	14	38	195	18
9	177	20	24	191	14	39	201	18
10	187	27	25	192	20	40	210	22
11	196	22	26	188	24	41	209	24
12	195	15	27	193	13	42	200	13
13	195	12	28	189	16	43	201	20
14	200	24	29	201	19	44	202	18
15	204	16	30	201	15			

Prístroj:	Leica TCRP 1205+		Ciel:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4010		Stanovisko:	4012				
Režim:	automatický		Počasie:	polojasno, 10°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	65	18	16	56	22	31	61	25
2	66	21	17	56	23	32	63	24
3	71	19	18	55	21	33	67	17
4	67	23	19	58	20	34	69	9
5	71	23	20	61	27	35	69	22
6	70	24	21	62	21	36	62	18
7	74	20	22	61	19	37	57	21
8	77	22	23	54	19	38	62	19
9	75	23	24	64	16	39	62	16
10	75	22	25	60	20	40	56	18
11	78	18	26	64	22	41	58	19
12	78	20	27	58	23	42	57	19
13	81	19	28	65	23	43	54	19
14	56	25	29	61	24	44	68	21
15	61	18	30	69	22	45	59	18
Režim:	manuálny		Ciel:	rysový terč				
1	329	338	15	301	336	29	271	333
2	321	338	16	304	336	30	265	333
3	308	334	17	300	335	31	268	332
4	309	338	18	275	333	32	267	333
5	292	336	19	277	338	33	267	336
6	298	337	20	272	337	34	269	335
7	297	340	21	270	338	35	265	328
8	309	335	22	270	338	36	262	340
9	316	343	23	264	343	37	265	333
10	320	339	24	265	340	38	248	335
11	322	345	25	269	333	39	251	332
12	329	340	26	271	337	40	248	329
13	316	338	27	277	335	41	253	333
14	313	335	28	274	335	42	255	336



Prístroj:	Leica TCRP 1205+		Ciel:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4010		Stanovisko:	4011				
Režim:	automatický		Počasiť:	polojasno, 11°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	737	682	16	743	686	31	745	689
2	737	683	17	740	685	32	742	693
3	741	679	18	741	686	33	747	683
4	738	681	19	742	689	34	742	691
5	741	681	20	744	686	35	748	686
6	742	684	21	747	692	36	745	682
7	739	686	22	747	693	37	741	683
8	743	684	23	749	685	38	748	685
9	743	685	24	738	687	39	748	687
10	741	685	25	747	688	40	746	684
11	742	685	26	745	689	41	745	688
12	740	685	27	746	690	42	744	692
13	739	688	28	746	686	43	743	692
14	736	686	29	739	690	44	740	690
15	749	684	30	746	690			
Režim:	manuálny		Ciel:	ryskový terč				
1	722	818	15	731	814	29	730	820
2	725	811	16	731	820	30	730	824
3	718	821	17	729	816	31	725	816
4	722	825	18	726	822	32	730	827
5	731	816	19	734	817	33	726	820
6	727	815	20	730	806	34	732	821
7	727	812	21	731	814	35	735	822
8	721	812	22	729	810	36	729	818
9	728	815	23	728	810	37	727	819
10	729	813	24	726	814	38	729	812
11	729	810	25	730	814	39	727	825
12	734	807	26	728	813	40	732	818
13	729	819	27	730	821	41	728	817
14	734	820	28	727	815	42	730	816

Prístroj:	Leica TCRP 1205+		Cieľ:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4019		Stanovisko:	4011				
Režim:	automatický		Počasiť:	zamračené, 13°C				
číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]		číslo pokusu	smer [°]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	861	597	15	841	592	29	840	593
2	869	594	16	844	596	30	838	595
3	858	599	17	842	596	31	834	595
4	859	596	18	843	598	32	837	594
5	855	591	19	845	597	33	830	592
6	852	591	20	844	594	34	833	592
7	855	594	21	839	595	35	831	593
8	848	595	22	840	593	36	831	594
9	847	594	23	837	594	37	828	593
10	847	592	24	837	595	38	834	594
11	847	594	25	838	601	39	835	594
12	851	594	26	837	599	40	833	593
13	847	593	27	840	596	41	829	597
14	844	597	28	841	596	42	833	600
						43	833	597
Režim:	manuálny		Cieľ:	rysový terč				
1	802	700	15	831	690	29	846	697
2	811	695	16	830	692	30	843	696
3	812	693	17	834	693	31	842	697
4	812	694	18	828	698	32	834	697
5	814	701	19	834	685	33	837	694
6	816	694	20	835	685	34	839	698
7	811	693	21	846	690	35	840	704
8	819	693	22	840	694	36	839	702
9	819	694	23	846	692	37	843	691
10	829	689	24	840	691	38	842	697
11	822	700	25	848	696	39	845	695
12	824	693	26	841	691	40	847	687
13	826	686	27	840	689	41	849	692
14	823	687	28	852	700	42	842	685

Prístroj:	Leica TCRP 1205+		Ciel:	Leica GRZ 4 360°				
Stanovisko:	4016		Stanovisko:	4017				
Režim:	automatický		Počasiť:	zamračené, 13°C				
číslo pokusu	smer [°c]		číslo pokusu	smer [°c]		číslo pokusu	smer [°c]	
	H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>		H <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>
1	863	324	16	878	325	31	877	329
2	871	321	17	883	325	32	885	324
3	857	325	18	888	326	33	878	324
4	867	321	19	882	323	34	880	321
5	880	323	20	887	326	35	880	320
6	877	327	21	887	321	36	882	327
7	875	326	22	885	325	37	889	322
8	873	331	23	883	329	38	886	324
9	880	333	24	883	325	39	884	330
10	882	333	25	887	328	40	877	325
11	881	328	26	886	329	41	875	327
12	881	329	27	889	328	42	870	326
13	875	325	28	890	326	43	876	323
14	894	328	29	885	324	44	863	329
15	876	327	30	879	333	45	871	325
Režim:	manuálny		Ciel:	rysový terč				
1	641	380	16	647	374	31	667	367
2	637	376	17	662	372	32	668	370
3	638	373	18	666	372	33	665	365
4	645	373	19	664	375	34	674	369
5	649	370	20	656	368	35	664	374
6	650	371	21	654	370	36	665	369
7	634	372	22	655	369	37	657	370
8	643	367	23	665	371	38	668	367
9	652	373	24	666	366	39	665	371
10	646	368	25	665	377	40	656	374
11	656	362	26	668	366	41	661	364
12	657	368	27	672	371	42	660	367
13	661	376	28	666	370	43	661	371
14	655	371	29	665	369	44	660	373
15	654	375	30	669	373	45	661	368

### A.3 Zázpisníky úspešnosti detekcie v laboratóriu

Stanovisko: pilier 8				
odsadenie [cm] <sup>3</sup>	Topcon GPT 9001A		Leica TCRP 1205+	
	úspešné	neúspešné	úspešné	neúspešné
0	32	8	38	2
5	30	10	37	3
10	7	33	nemerané	
15	5	35	29	11
20	nemerané		11	29

### A.4 Zázpisníky úspešnosti detekcie v teréne

Stanovisko: 5001				
odsadenie [cm]	Topcon GPT 9001A		Leica TCRP 1205+	
	úspešné	neúspešné	úspešné	neúspešné
0	32	8	40	0
7	31	9	40	0
12	17	23	38	2
Stanovisko: 5002				
0	35	5	39	1
15	36	4	40	0
23	15	25	38	2
Stanovisko: 4016				
0	36	4	40	0
15	27	13	40	0
23	13	27	37	3
23	0	40	34	6

<sup>3</sup>Odsadenie predstavuje rozdiel medzi výškou hranola pri vstupe a pri výstupe z prekážky.

## A.5 Zázpisníky úspešnosti sledovania v teréne

Stanovisko: 5001				
zóny <sup>4</sup>	Topcon GPT 9001A		Leica TCRP 1205+	
	úspešné	neúspešné	úspešné	neúspešné
<i>K0</i>	40	0	40	0
<i>K1.1</i>	40	0	40	0
<i>K1.2</i>	36	4	36	4
<i>K1.3</i>	0	40	37	3
<i>K2</i>	34	6	8	32

<sup>4</sup>Zóna zahrňuje testovaciu dráhu a prekážku medzi prístrojom a hranolom. Každá zóna má jednoznačne vymedzenú dĺžku, plánovaný čas prechodu a hustotu elementov, ktoré rušia optickú cestu.

*K0* : 8,4 metrov; 4 sekundy; bez prekážok

*K1.1* : 7,2 metrov; 8 sekúnd; malá hustota

*K1.2* : 7,2 metrov; 6 sekúnd; malá hustota

*K1.3* : 7,2 metrov; 4 sekundy; malá hustota

*K2* : 5,5 metrov; 6 sekúnd; veľká hustota

## A.6 Zápisníky časov prechodu meraných v teréne

Prístroj: Topcon GPT 9001A		Stanovisko: 4011			
počet pokusov	čas prejazdu zónou [s]				
	K 0	K 1.1	K 1.2	K 1.3	K 2
1	4,01	8,10	5,75	3,78	5,94
2	3,88	8,73	5,46	4,12	5,52
3	4,17	8,55	5,50	3,88	5,98
4	3,71	8,32	5,46	4,33	5,69
5	3,75	8,45	5,79	4,34	6,14
6	3,79	8,82	4,83	4,03	5,51
7	3,78	8,77	5,54	4,16	5,69
8	3,67	8,73	5,18	3,47	5,72
9	3,74	8,64	5,42	3,98	5,87
10	4,03	9,04	5,78	4,19	6,02
11	3,67	9,02	4,99	4,24	5,43
12	3,64	8,68	5,45	4,08	5,55
13	3,62	8,63	5,63	4,31	5,87
14	3,62	8,76	5,60	3,95	6,03
15	3,85	8,54	5,41	4,05	5,68
16	3,96	8,07	5,62	3,67	6,21
17	3,90	8,62	5,45	3,78	5,97
18	4,02	8,38	5,55	3,97	5,61
19	3,77	8,53	5,29	4,32	5,86
20	3,72	8,49	5,87	3,87	5,55
21	3,88	8,21	5,84	3,77	5,74
22	3,85	8,87	5,89	4,17	6,05
23	3,71	8,93	5,33	3,85	6,12
24	4,09	8,55	5,64	4,01	5,64
25	3,64	8,47	5,23	4,25	6,02
26	3,90	8,68	5,14	3,89	5,78
27	3,82	8,77	5,86	4,18	5,88
28	3,89	8,53	5,38	3,88	5,93
29	3,87	8,74	5,57	3,87	5,82
30	3,92	8,95	5,43	4,13	5,67

počet pokusov	čas prejazdu oblastou[s]				
	K 0	K 1.1	K 1.2	K 1.3	K 2
31	3,86	8,57	5,47	4,30	5,80
32	4,05	8,79	5,29	4,18	6,07
33	3,66	8,61	5,66	3,85	5,67
34	3,97	8,72	5,38	3,97	5,86
35	3,91	8,96	5,49	4,03	5,91
36	3,95	8,47	5,27	3,84	5,79
37	4,20	8,33	5,74	4,12	5,93
38	3,98	8,69	5,17	4,23	5,72
39	3,90	8,71	5,24	4,12	5,49
40	3,81	8,55	5,15	4,05	5,80

Prístroj: Leica TCRP 1205+			Stanovisko: 4011		
počet pokusov	čas prejazdu oblastou [s]				
	K 0	K 1.1	K 1.2	K 1.3	K 2
1	3,95	8,42	5,33	3,96	5,64
2	3,82	8,36	6,23	4,31	5,73
3	4,39	8,21	5,46	4,02	5,77
4	4,13	8,24	6,17	4,11	6,05
5	4,28	8,37	5,36	3,68	5,74
6	4,33	8,44	5,94	3,91	5,95
7	3,62	8,18	5,75	4,09	5,93
8	4,02	8,33	5,98	3,74	5,67
9	3,78	8,27	5,83	3,83	6,06
10	4,16	7,83	5,65	4,18	6,21
11	3,99	7,73	5,97	3,97	5,74
12	3,90	8,12	5,64	3,87	5,98
13	3,96	8,22	5,70	4,05	5,73
14	4,25	8,02	5,75	4,12	5,71
15	4,03	8,33	5,98	4,20	5,85
16	3,77	8,16	5,67	3,94	5,67
17	3,88	8,62	6,03	3,75	6,05
18	4,17	7,86	5,63	4,22	6,00
19	4,05	8,41	5,57	4,31	6,12

počet pokusov	čas prejazdu oblasťou[s]				
	K 0	K 1.1	K 1.2	K 1.3	K 2
20	4,46	8,14	5,67	4,23	5,64
21	3,85	8,11	5,91	4,05	5,74
22	4,25	7,97	5,79	4,05	5,67
23	4,00	7,84	5,43	3,85	5,97
24	4,12	8,34	5,87	3,86	5,68
25	4,35	8,39	5,86	3,91	5,82
26	4,15	7,88	5,71	4,08	5,78
27	3,85	8,48	5,65	4,09	5,90
28	3,79	8,48	5,92	3,78	5,75
29	4,11	8,07	5,82	4,28	6,22
30	4,15	8,04	5,86	4,15	5,93
31	4,26	7,94	5,73	4,12	5,97
32	4,10	8,31	6,02	3,85	5,90
33	3,98	7,93	6,00	3,62	6,13
34	3,78	8,42	5,83	3,91	5,82
35	4,12	7,93	5,68	3,94	5,76
36	4,18	8,41	5,73	3,72	5,62
37	3,88	8,27	5,69	4,06	5,57
38	3,93	8,18	5,72	3,54	5,80
39	3,92	8,21	5,67	3,92	5,73
40	4,11	8,53	5,74	3,78	5,92



## B VÝPOČTY

### B.1 Test cielení

#### B.1.1 Prepočet základných stredných chýb

Smerodajnú odchýlku v jednej polohe ďalekohľadu  $m_r^{I.pol}$  je možné vypočítať podľa vzťahu 3.6

$$m_r^{I.pol} = m_r \sqrt{2},$$

kde  $m_r$  je základná stredná chyba smeru uvádzaná v technických údajoch prístroja.

režim	Topcon GPT 9001A		Leica TCRP 1205+	
	$m_r$ [cc]	$m_r^{I.pol}$ [cc]	$m_r$ [cc]	$m_r^{I.pol}$ [cc]
automatický	6,2	8,8	3,1	4,4
manuálny	3,1	4,4	15	21,2

#### B.1.2 Test extrémnych odchýlok od priemeru

Postup výpočtu:

1. výpočet aritmetického priemeru  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2. výpočet strednej opravy  $m_v$  podľa vzorca 3.2

$$m_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot v_i}{n}}$$

3. výpočet hodnoty testovacieho kritéria pre podozrivú hodnotu  $x_e$  podľa 3.3

$$T = \frac{|\bar{x} - x_e|}{m_v}$$

4. vylúčenie podozrivej hodnoty ak  $T > T_k$ .

Prístroj:		Topcon GPT 9001A					Prostredie: laboratórium	
Režim:		automatický						
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
hore	101	83	2,03	949	959	1,42	2,68	ponechať
dole	65	79	1,9	951	961	1,84	2,64	ponechať
vľavo	66	81	1,59	949	960	2,41	2,68	ponechať
vpravo	60	82	2,68	943	962	2,65	2,7	ponechať
vľavo hore	100	80	2,55	972	961	1,51	2,64	ponechať
vpravo hore	106	83	2,33	942	959	2,36	2,64	ponechať
vľavo dole	100	81	2,08	974	961	2,07	2,68	ponechať
vpravo dole	94	84	1,48	972	962	1,62	2,62	ponechať
celkovo	106	82	2,94	942	961	2,96	3,36	ponechať

Prístroj:		Leica TCRP 1205+					Prostredie: laboratórium	
Režim:		automatický						
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
hore	878	882	1,40	516	512	2,51	2,64	ponechať
dole	878	884	2,43	508	511	1,47	2,68	ponechať
vľavo	877	883	1,82	507	513	2,55	2,68	ponechať
vpravo	889	884	2,11	507	511	1,93	2,66	ponechať
vľavo hore	874	881	1,75	506	513	1,97	2,66	ponechať
vpravo hore	877	881	1,19	507	512	2,00	2,70	ponechať
vľavo dole	877	884	1,32	507	513	2,43	2,70	ponechať
vpravo dole	888	885	1,12	516	513	1,59	2,66	ponechať
celkovo	874	883	2,98	506	512	2,70	3,37	ponechať

Prístroj:		Topcon GPT 9001A					Prostredie: laboratórium	
Režim:		manuálny						
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
celkovo	612	605	2,64	910	917	2,10	2,91	ponechať

Prístroj: Leica TCRP 1205+			Prostredie: laboratórium					
Režim: manuálny								
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
celkovo	207	197	2,57	0	8	2,13	2,91	ponechať

Prístroj: Topcon GPT 9001A			Prostredie: terén					
Režim: automatický								
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
2,59 m	265	268	0,61	555	494	3,48	2,91	vylúčiť
	256	268	2,41	528	492	2,42	2,9	ponechať
27,30 m	628	620	1,31	637	646	3,06	2,92	vylúčiť
	634	620	2,36	614	647	1,98	2,91	ponechať
64,22 m	867	846	1,75	858	846	2,13	2,93	ponechať
86,90 m	700	719	1,53	584	557	4,59	2,92	vylúčiť
	692	719	2,27	560	556	0,95	2,91	ponechať

Prístroj: Leica TCRP 1205+			Prostredie: terén					
Režim: automatický								
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
2,59 m	69	64	0,66	9	20	3,79	2,95	vylúčiť
	81	64	2,35	27	21	2,47	2,94	vyhovuje
27,30 m	869	842	2,9	594	595	0,37	2,93	vylúčiť
	861	841	2,32	601	595	2,62	2,92	vyhovuje
64,22 m	736	743	2,01	679	686	2,2	2,94	vyhovuje
86,90 m	857	879	2,96	325	326	0,31	2,95	vylúčiť
	863	880	2,27	333	326	2,16	2,94	vyhovuje

Prístroj: Topcon GPT 9001A		Prostredie: terén						
Režim: manuálny								
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
2,59 m	362	394	2,06	402	388	2,81	2,92	ponechať
27,30 m	644	655	2,27	681	672	2,1	2,95	ponechať
64,22 m	957	986	3,33	18	11	1,31	2,92	vylúčiť
	963	986	3,13	18	11	1,36	2,91	vylúčiť
	966	987	3,15	17	11	1,21	2,9	vylúčiť
	970	988	2,94	18	10	1,44	2,89	vylúčiť
86,90 m	974	988	2,55	24	10	2,65	2,88	ponechať
	201	195	0,83	33	19	3,09	2,94	vylúčiť
	172	195	2,94	24	19	1,32	2,93	vylúčiť
	177	195	2,60	27	18	2,1	2,92	ponechať

Prístroj: Leica TCRP 1205+		Prostredie: terén						
Režim: manuálny								
poloha hranola	vodorovný smer			vertikálny smer			$T_k$	výsledok testu
	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$	$x_e$ [cc]	$\bar{x}$ [cc]	$T$		
2,59 m	329	284	1,87	345	336	2,56	2,92	ponechať
27,30 m	802	833	2,42	704	694	2,23	2,92	ponechať
64,22 m	718	728	3,02	821	817	0,92	2,92	vylúčiť
	721	729	2,49	806	816	2,16	2,91	ponechať
86,90 m	634	658	2,49	380	371	2,62	2,95	ponechať

### B.1.3 Test strednej chyby

Postup výpočtu:

1. výpočet odhadu strednej chyby  $m$  z výberového súboru podľa vzťahu 3.5

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

2. výpočet testovacieho kritéria  $b$  podľa vzorca 3.4

$$b = \frac{m^2}{\bar{m}^2} \cdot (n - 1)$$

3. vyhládanie kritickej hodnoty  $\chi_k^2$  z tabuľky Pearsonovho rozdelenia pre zvolené riziko  $\alpha$  a pre počet stupňov voľnosti  $k = n - 1$
4. zamietnutie hypotézy, že výberová stredná chyba  $m$  odpovedá základnej strednej chybe  $\bar{m}$  ak  $b > \chi_k^2$ .

Prístroj:	Topcon GPT 9001A					
Prostredie:	laboratórium					
Režim:	automatický					
poloha hranola	$\bar{m}$ [cc]	$m$ [cc]	$b$	$k$	$\chi_k^2$	výsledok
hore	8,8	11,44	37,17	22	35,17	zamieta sa
dole	8,8	8,98	20,82	20	32,67	vyhovuje
vľavo	8,8	10,51	31,38	22	35,17	vyhovuje
vpravo	8,8	10,77	34,42	23	36,42	vyhovuje
vľavo hore	8,8	10,74	29,76	20	32,67	vyhovuje
vpravo hore	8,8	12,14	38,07	20	32,67	zamieta sa
vľavo dole	8,8	10,83	31,80	21	33,92	vyhovuje
vpravo dole	8,8	9,20	20,75	19	31,41	vyhovuje
celkovo	8,8	10,4	244,18	174	205,78	zamieta sa
Režim:	manuálny					
celkovo	4,4	4,3	38,45	39	54,57	vyhovuje

Prístroj:	Leica TCRP 1205+					
Prostredie:	laboratórium					
Režim:	automatický					
poloha hranola	$\bar{m}$ [cc]	$m$ [cc]	$b$	$k$	$\chi_k^2$	výsledok
hore	4,4	3,3	11,35	20	31,41	vyhovuje
dole	4,4	3,3	12,75	21	33,92	vyhovuje
vľavo	4,4	3,6	14,84	22	33,92	vyhovuje
vpravo	4,4	3,5	13,06	21	32,67	vyhovuje
vľavo hore	4,4	5,4	31,47	21	32,67	vyhovuje
vpravo hore	4,4	4,2	21,23	23	35,17	vyhovuje
vľavo dole	4,4	3,7	15,95	23	35,17	vyhovuje
vpravo dole	4,4	3,5	13,17	21	32,67	vyhovuje
celkovo	4,4	3,8	133,00	180	212,30	vyhovuje
Režim:	manuálny					
celkovo	21,2	5,5	2,64	39	54,57	vyhovuje

Prístroj: Topcon GPT 9001A						
Prostredie: terén						
Režim: automatický						
zámera [m]	$\bar{m}$ [cc]	$m$ [cc]	$b$	$k$	$\chi_k^2$	výsledok
2,6	8,8	15,6	122,80	39	54,57	zamieta sa
27,3	8,8	6,5	21,98	40	55,76	vyhovuje
64,2	8,8	13,1	93,09	42	58,12	zamieta sa
86,9	8,8	12,7	82,90	40	55,76	zamieta sa
Režim: manuálny						
2,6	4,4	16,0	544,61	41	56,94	zamieta sa
27,3	4,4	6,3	92,31	44	60,48	zamieta sa
64,2	4,4	7,6	112,55	37	52,19	zamieta sa
86,9	4,4	8,0	139,95	41	56,94	zamieta sa

Prístroj: Leica TCRP 1205+						
Prostredie: terén						
Režim: automatický						
zámera [m]	$\bar{m}$ [cc]	$m$ [cc]	$b$	$k$	$\chi_k^2$	výsledok
2,6	4,4	7,6	128,33	43	59,30	zamieta sa
27,3	4,4	8,8	162,34	41	56,94	zamieta sa
64,2	4,4	4,9	52,65	43	59,30	vyhovuje
86,9	4,4	7,6	125,46	43	59,30	zamieta sa
Režim: manuálny						
2,6	21,2	24,4	54,292	41	56,94	vyhovuje
27,3	21,2	13,5	16,64	41	56,94	vyhovuje
64,2	21,2	5,7	2,94	40	55,76	vyhovuje
86,9	21,2	10,3	10,36	44	60,48	vyhovuje

### B.1.4 Celková presnosť

Je daná ako odmocnina zo súčtu druhých mocnín presnosti v horizontálnom  $m_{hz}$  a vo vertikálnom  $m_{vz}$  smere. Veľkosť celkovej presnosti je daná vzťahom 3.7

$$m_c = \sqrt{m_{hz}^2 + m_{vz}^2}.$$

Prostredie:		laboratórium				
Režim:		automatický				
poloha hranola	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
hore	9,1	6,9	11,4	3,0	1,5	3,3
dole	7,3	5,2	9,0	2,5	2,2	3,3
vľavo	9,4	4,6	10,5	2,8	2,2	3,6
vpravo	8,2	7,0	10,8	2,6	2,3	3,5
hore-vľavo	7,8	7,4	10,7	4,1	3,5	5,4
hore-vpravo	9,7	7,3	12,1	3,4	2,5	4,2
dole-vľavo	9,0	6,1	10,8	2,9	2,2	3,7
dole-vpravo	6,6	6,4	9,2	2,9	2,0	3,5
celkovo	8,3	6,3	10,4	3,0	2,3	3,8
Režim:		manuálny				
celkovo	3,4	2,5	4,3	4,0	3,8	5,5

Prostredie:		terén				
Režim:		automatický				
dĺžka zámery	Topcon GPT 9001A			Leica TCRP 1205+		
	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]	$m_{hz}$ [cc]	$m_{vz}$ [cc]	$m_c$ [cc]
2,59 m	5,0	14,8	15,6	7,2	2,5	7,6
27,30 m	5,9	2,9	6,5	8,4	2,3	8,8
64,22 m	11,9	5,6	13,1	3,5	3,4	4,9
86,90 m	11,9	4,3	12,7	6,9	3,2	7,6
Režim:		manuálny				
2,59 m	15,3	4,8	16,0	24,1	3,5	24,4
27,30 m	4,7	4,2	6,3	12,7	4,7	13,5
64,22 m	5,5	5,2	7,6	3,1	4,8	5,7
86,90 m	6,9	4,1	8,0	9,6	3,6	10,3

### B.1.5 Presnosť reflektora Leica GRZ 4 360°

Reflektor má udávanú priestorovú presnosť 5 mm. Pri cielení na žltú šipku je možné zvýšiť presnosť na 2 mm. Nasledujúca tabuľka vyjadruje presnosť 2 mm v podobe uhlu  $\alpha$ . Uhol je vypočítaný tangensovou vetou pre každú vzdialenosť použitú v teste.

	presnosť 5 mm	presnosť 2 mm
dĺžka zámery [m]	$\alpha$ [°]	$\alpha$ [°]
2,59	1229	492
12,34	258	103
27,30	117	47
64,22	50	20
86,90	37	15

### B.1.6 Odhad presnosti manuálneho cielenia

Odhad strednej chyby v cielení  $m_z$  je možné určiť podľa vzorca 3.1

$$m_z \approx p_z \left( z \sqrt{3} \right)^{-1} .$$

Hodnota  $p_z$  sa volí v závislosti od typu cieľa a  $z$  je zväčšenie ďalekohľadu.

Koincidencia	$p_z$ [°]	$m_z$ [°]
ryška na bod	180	3,5
dvojryška na bod	90	1,7
dvojryška na rysku	30	0,6

## B.2 Test automatického sledovania reflektora

### B.2.1 Odsadenia

Odsadenia predstavujú vertikálny posun hranola oproti jeho východiskovej polohe, ktorú má hranol pred vstupom za prekážkou. Posun vyjadrený v uhlovej miere bol funkciou tangens prevedený na dĺžkový posun.



prostredie	dĺžka zámery [m]	odsadenie	
		zvislé [cm]	uhlové [°]
laboratórium	16,2	5	11'
		10	22'
		15	32'
		20	43'
terén	16,4	7	15'
		12	26'
	36,0	15	15'
		23	22'
	90,7	38	15'
		45	17'
		56	22'

### B.2.2 Výpočet obvodovej a uhlovej rýchlosti

Dĺžka oblúku  $s$ , ktorú opíše hranol vo vzdialenosti  $r$  od prístroja, je určená podľa rovnice 4.2

$$\varphi = r \omega .$$

Rýchlosť hranola  $v$  môžeme pri známej prejdenej dĺžke  $s$  za určitý čas  $t$  vypočítať podľa vzťahu 4.3

$$v = \frac{s}{t} .$$

Pre zistenie uhlovej rýchlosti  $\omega$  môžeme pri známej vzdialenosti od prístroja  $r$  a obvodovej rýchlosti  $v$  upraviť vzorec 4.3 na tvar

$$\omega = \frac{v}{r} .$$

zóna	Topcon GPT 9001A				Leica TCRP 1205+			
	$\bar{t}$ [s] <sup>1</sup>	$s$ [m]	$v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$\omega$ [°.s <sup>-1</sup> ]	$\bar{t}$ [s]	$s$ [m]	$v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$\omega$ [°.s <sup>-1</sup> ]
K 0	3,85	8,4	2,2	15,6	4,05	8,4	2,1	14,9
K 1.1	8,62	7,2	0,8	6,0	8,20	7,2	0,9	6,3
K 1.2	5,47	7,2	1,3	9,4	5,77	7,2	1,3	8,9
K 1.3	4,03	7,2	1,8	12,8	3,98	7,2	1,8	13,0
K 2	5,81	5,5	0,9	6,8	5,85	5,5	0,9	6,7

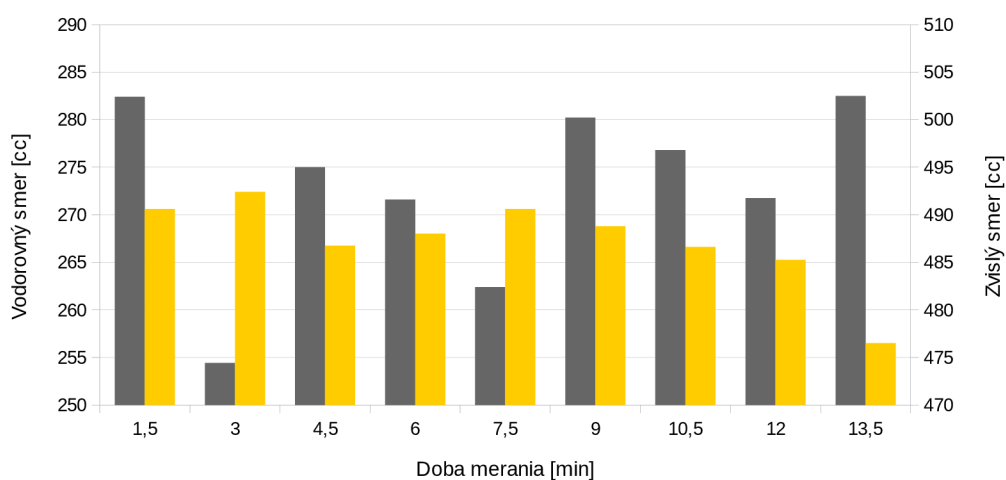
<sup>1</sup>Čas  $\bar{t}$  je priemerná hodnota času prejazdu zónou.

## C GRAFY

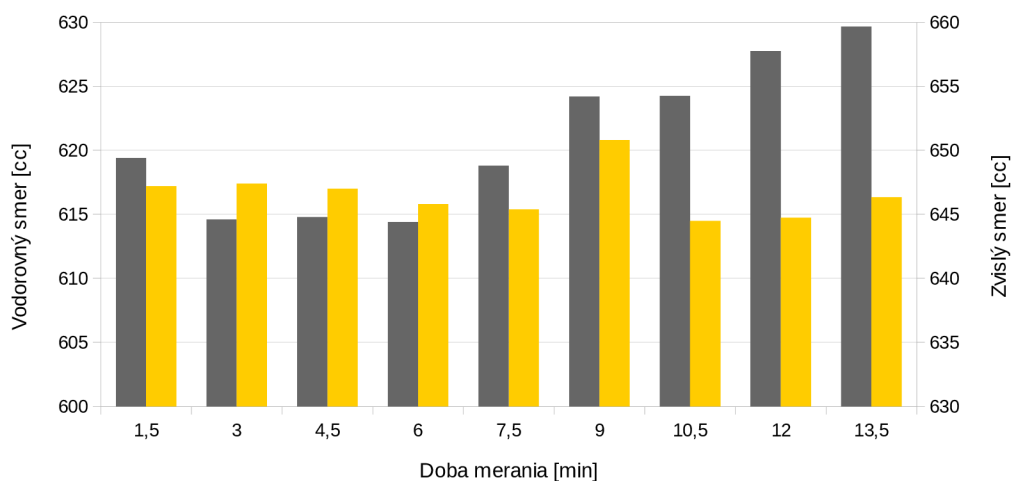
### C.1 Zmeny priemerných hodnôt smerov

#### C.1.1 Topcon GPT 9001A

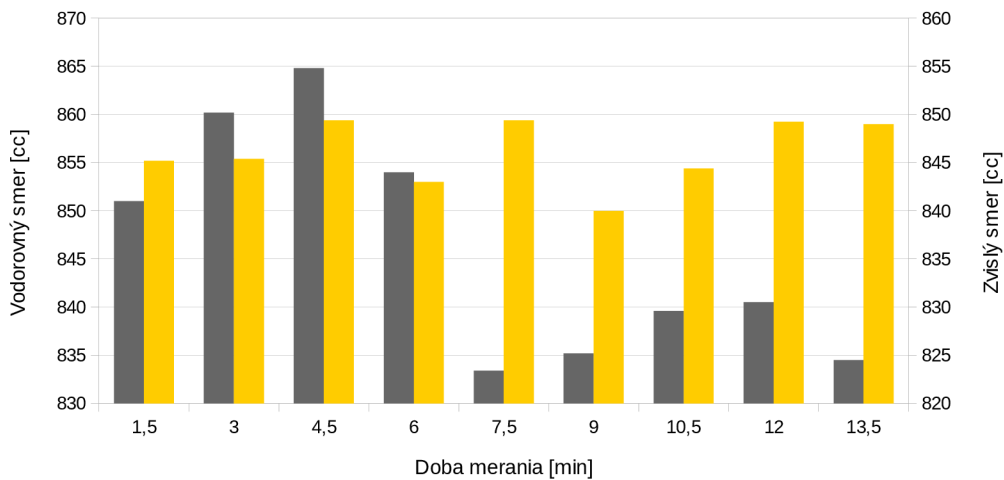
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4012
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	2,6 m



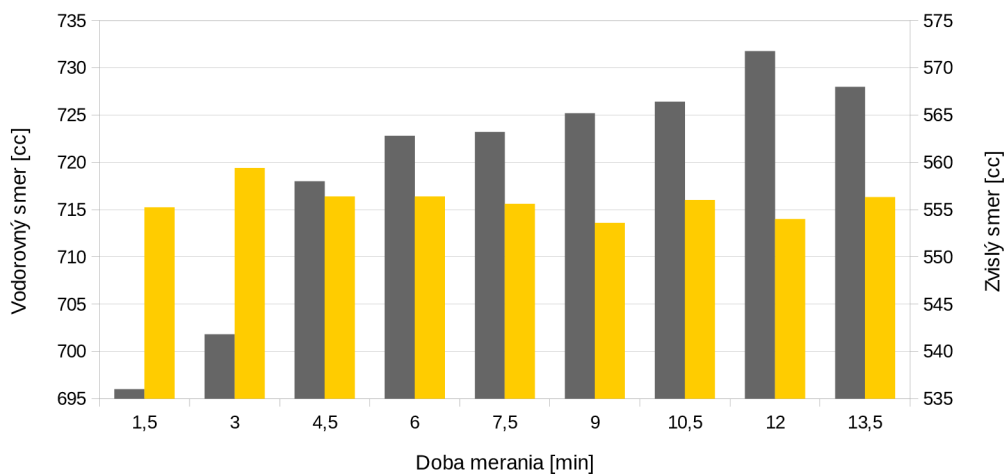
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4019	Stanovisko:	4011
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	27,3 m



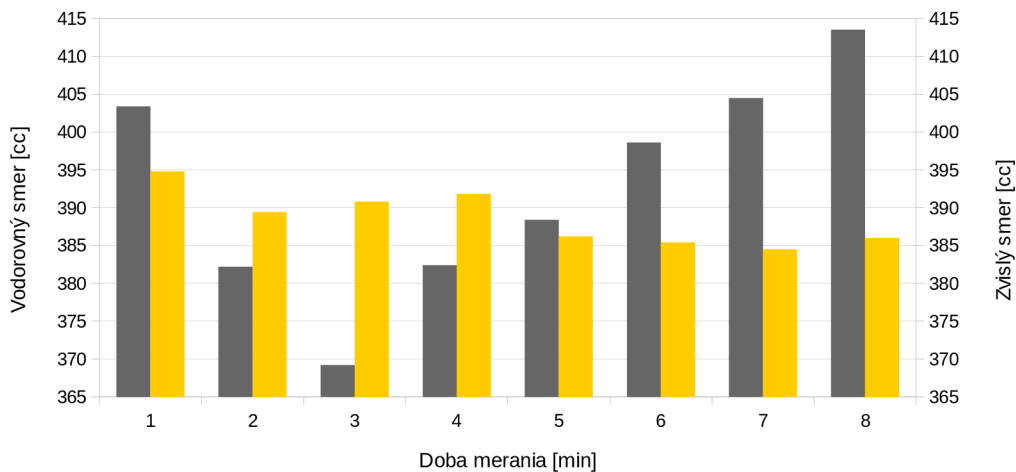
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4011
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	64,2 m



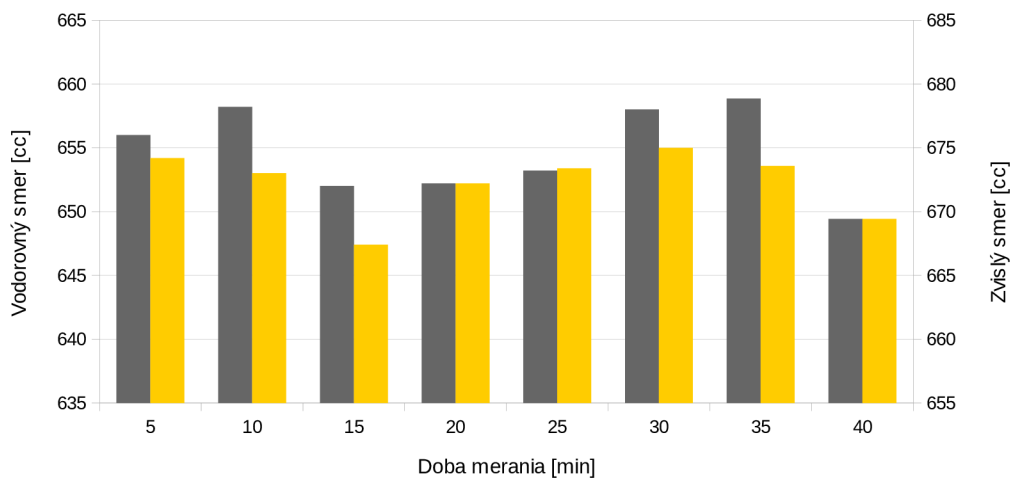
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4016	Stanovisko:	4017
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	86,9 m



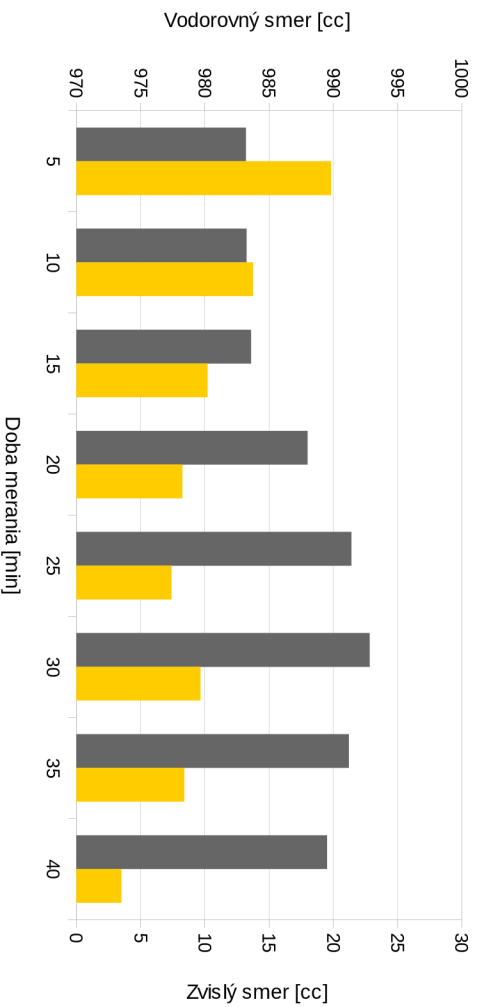
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4012
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	2,6 m



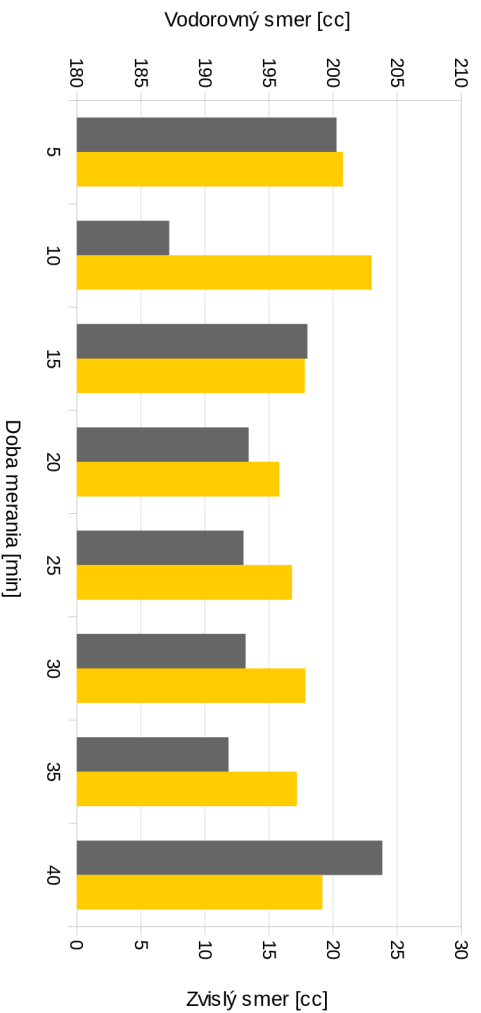
Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4019	Stanovisko:	4011
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	27,3 m



Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Ciel:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4011
Režim:	manuálny	Dĺžka záməry:	64,2 m

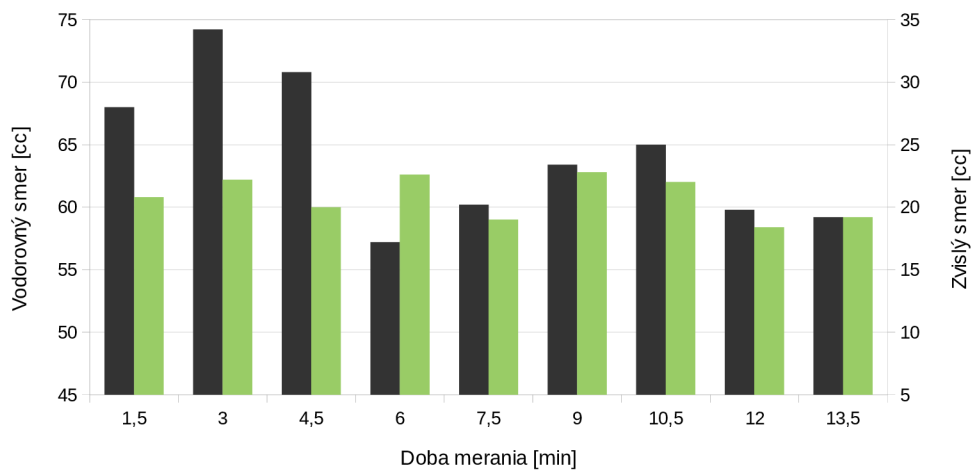


Prístroj:	Topcon GPT 9001A	Ciel:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4016	Stanovisko:	4017
Režim:	manuálny	Dĺžka záməry:	86,9 m

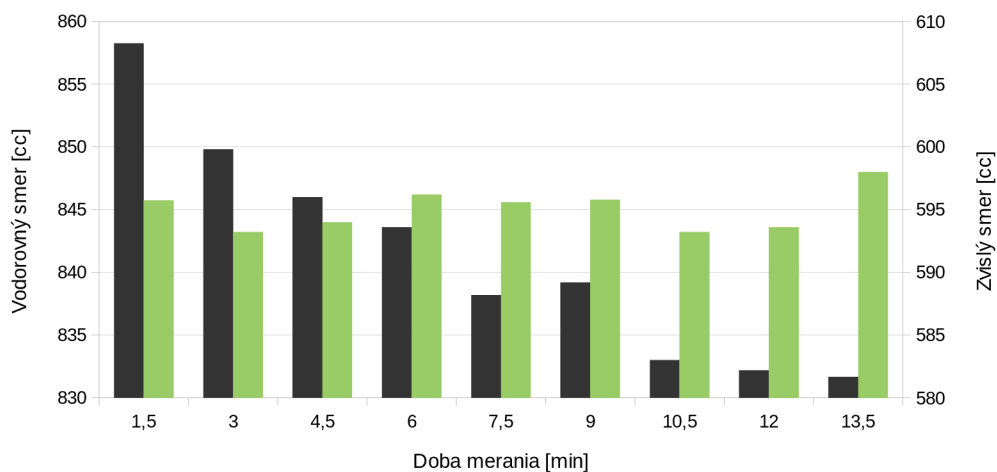


## C.1.2 Leica TCRP 1205+

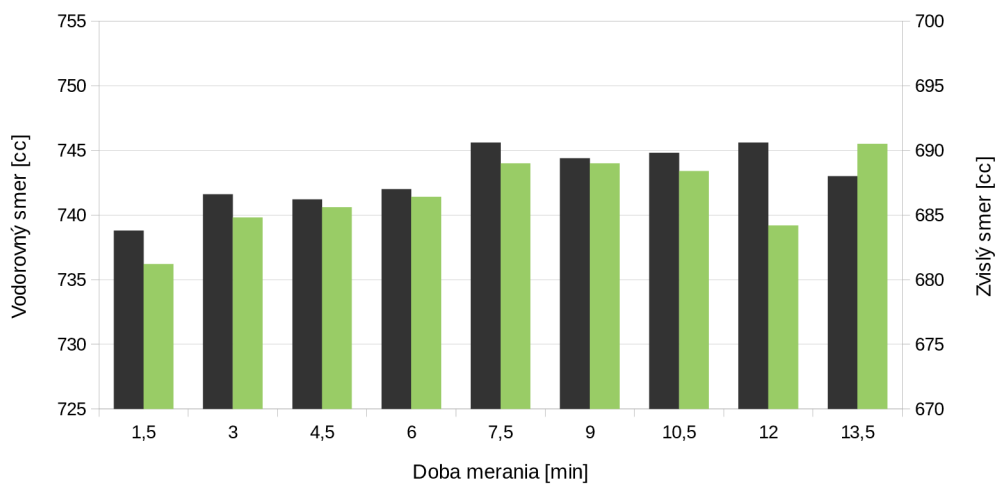
Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4012
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	2,6 m



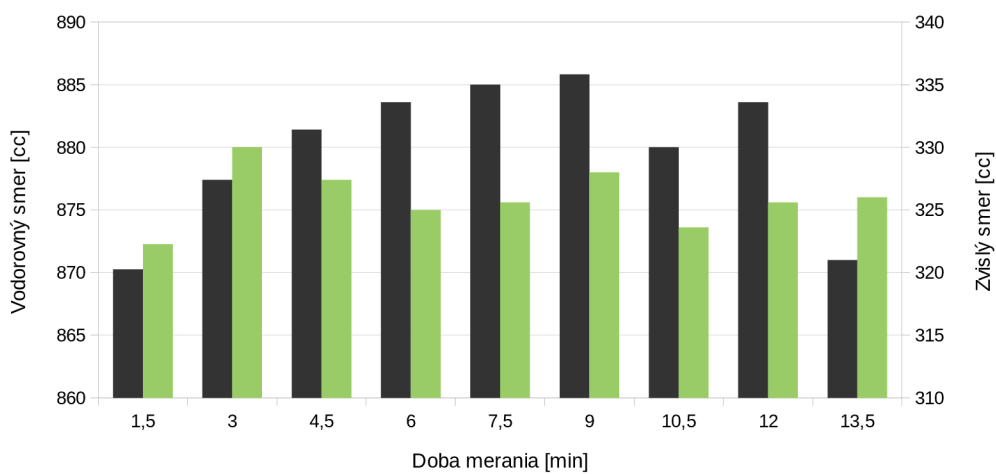
Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4019	Stanovisko:	4011
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	27,3 m



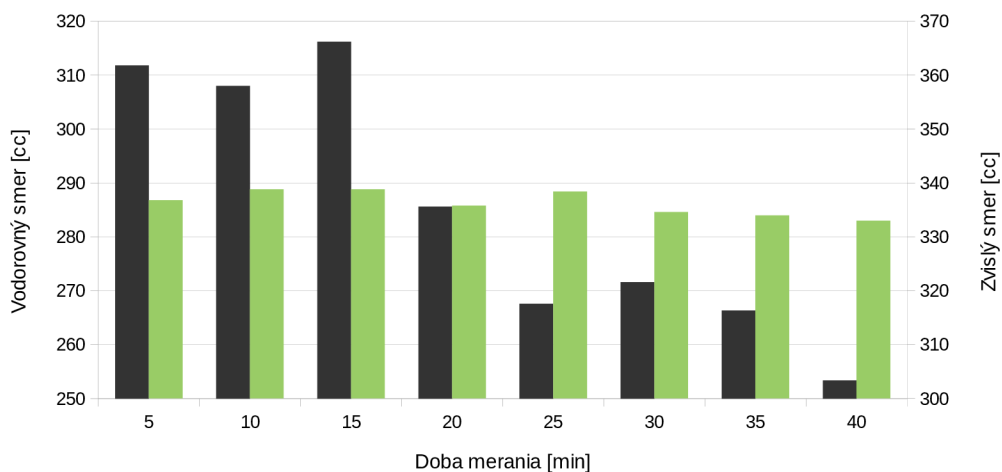
Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4011
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	64,2 m



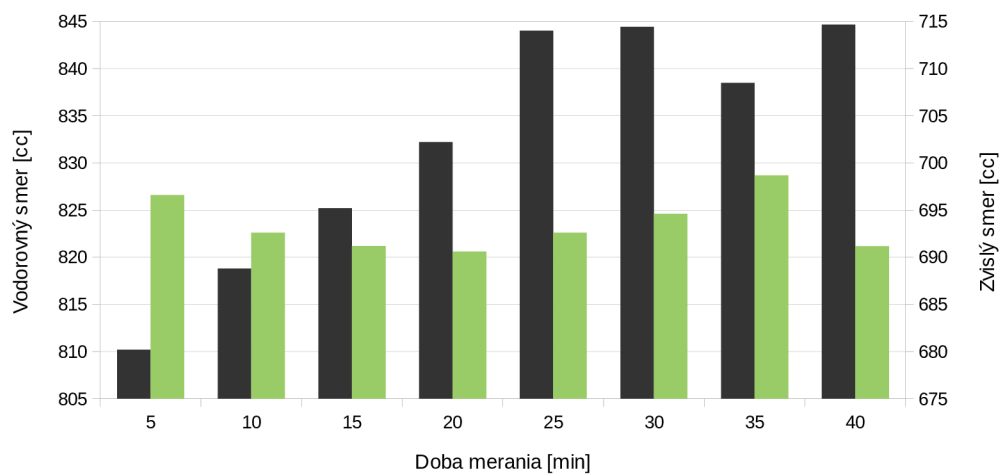
Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4016	Stanovisko:	4017
Režim:	automatický	Dĺžka zámery:	86,9 m



Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4012
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	2,6 m

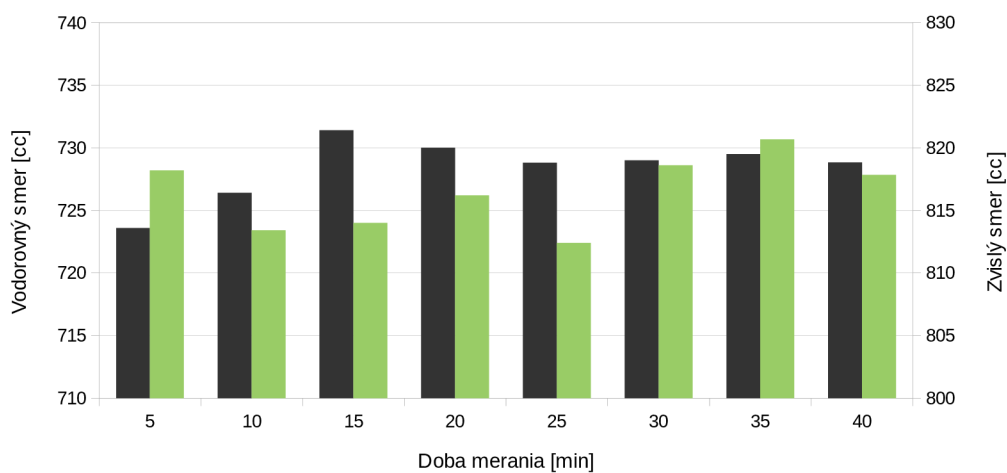


Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4019	Stanovisko:	4011
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	27,3 m





Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4010	Stanovisko:	4011
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	64,2 m



Prístroj:	Leica TCRP 1205+	Cieľ:	Leica GRZ 4 360°
Stanovisko:	4016	Stanovisko:	4017
Režim:	manuálny	Dĺžka zámery:	86,9 m

