

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební

Studentská vědecká a odborná činnost
Akademický rok 2011/2012

Testovanie systému automatizovaného cielenia (ATR)

Jméno a příjmení studenta, ročník, obor:

Ivan Hatala, 3. ročník, GaK

Vedoucí práce:

Ing. Peter Kyrinovič, PhD.

Katedra / Ústav:

Katedra geodézie/SvF STU

OBSAH

ABSTRAKT	2
ABSTRACT	2
1 ÚVOD	3
2 AUTOMATIZOVANÁ UNIVERZÁLNA MERACIA STANICA LEICA TS30	3
3 SYSTÉM AUTOMATIZOVANÉHO CIELENIA ATR.....	4
4 TESTOVANIE SYSTÉMU ATR.....	5
4.1 TESTOVANIE VPLYVU NATOČENIA ODRAZOVÉHO HRANOLA.....	5
4.1.1 SPRACOVANIE A ANALÝZA MERANÍ.....	7
4.1.2 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV TESTU SYSTÉMU ATR:.....	10
4.2 TESTOVANIE SYSTÉMU ATR Z POHLADU URČOVANIA VÝŠOK	11
4.2.1 SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV.....	14
4.2.2 ANALÝZA DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV	15
ZÁVER.....	18
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY:.....	19

Abstrakt

Práca sa zaoberá testovaním systému automatizovaného cielenia na stred odrazového hranola (ATR), v závislosti od natočenia odrazového hranola, resp. z pohľadu určovania výšok a prevýšení. Systém ATR je technológiou ako súčasť univerzálnej meracej stanice Leica TS30. Testovanie sme realizovali cielením na trojicu odrazových hranolov značky Leica: GPR1 (štandardný hranol), 360° hranol GRZ4 a 360°mini hranol GRZ101. Presnosť cielenia na stred odrazového hranola závisí od uhlovej a dĺžkovej presnosti univerzálnej meracej stanice, typu odrazového hranola, ako aj atmosférických podmienok prostredia. Test sa skladal z dvoch etáp. V prvej sme testovali presnosť systému ATR na určenie uhlovej a dĺžkovej zmeny, ako aj na určenie priestorovej polohy podrobného bodu vplyvom natáčania odrazového hranola. Testovanie bolo realizované pri rôznych vzdialenostiach prístroja a hranola. V druhej etape sme testovali presnosť systému ATR z pohľadu určovania výšok. Testovaciu základnicu tvorilo päť stanovísk so vzdialenosťami 20 m, 50 m, 100 m, 200 m a 300 m. Merané prevýšenia sme porovnávali s prevýšeniami získanými geometrickou niveláciou – presnou niveláciou. Výsledky odchýlok sme spracovali graficky. Na záver sme zistili, že presnosť systému ATR je 1 mm, ktorá je deklarovaná aj výrobcom.

Abstract

The work deals with testing of Automatic Target Recognition (ATR) system, which aim at the center of the reflectional prism, depending on the rotation of the reflectional prism, or in terms of determining the heights and superelevations. The ATR system is the technology, which is a part of the total station Leica TS30. Testing was realized by aiming at the triplet-reflecting prisms Leica: GPR1 (standard prism) GRZ4 360° prism and 360° mini prism GRZ101. Accuracy of ATR system depends on the angular and linear precision of total station, the type of reflectional prism, and atmospheric conditions of the area. The test consisted of two phases. At first we tested the accuracy of the ATR system to determine the angular and linear changes, as well as to determine the spatial position of the detailed point depending on the rotation of reflectional prism. Testing was realized at different distances between the total station and the reflectional prism. In the second stage we tested the accuracy of ATR system to determine superelevations. The test consisted of five outposts with distances of 20 m, 50 m, 100 m, 200 m and 300 m. Measured superelevations were compared with those obtained by geometric levelling - precise levelling. The results of offsets between two methods of measuring superelevations we plot. In conclusion, we found out that the accuracy of the ATR system is 1 mm, which is declared by the producer.

1 Úvod

Systém automatizovaného cielenia na stred odrazového hranola – Automated Target Recognition (ATR) umožňuje cielenie na stred hranola bez zásahu merača. Princíp systému je založený na rozpoznaní polohy a tvaru odrazového hranola pomocou obrazového senzora (kamery). Výhodou systému ATR je rýchlosť a presnosť cielenia, ktorá je zabezpečená aj v prípade nepriaznivých svetelných a atmosférických podmienok. V kombinácii s motorizovaným pohybom umožňuje realizovať tak statické, ako aj dynamické merania.

Presnosť cielenia na stred odrazového hranola závisí od viacerých faktorov. Hlavnými faktormi sú uhlová a dĺžková presnosť univerzálnej meracej stanice (UMS), typ odrazového hranola, mód merania dĺžky, ako aj atmosférické podmienky prostredia.

Príspevok prezentuje postup a výsledky testovania systému ATR automatizovanej UMS Leica TS30. Test pozostáva z dvoch nezávislých častí. V prvej časti bola testovaná presnosť cielenia na 360° mini hranol Leica GRZ101. Test bol zameraný na určenie uhlovej a dĺžkovej zmeny, ako aj zmeny určenia priestorovej polohy podrobného bodu vplyvom natáčania odrazového hranola. Testovanie bolo realizované pri rôznych vzdialenostiach prístroja a hranola. V druhej časti bol test zameraný na určenie zmien výšok a prevýšení odrazového kruhového hranola Leica GPR1, 360° hranola Leica GRZ4 a 360° mini hranola Leica GRZ101. Výškové zmeny boli porovnávané s hodnotami meranými geometrickou niveláciou (PN).

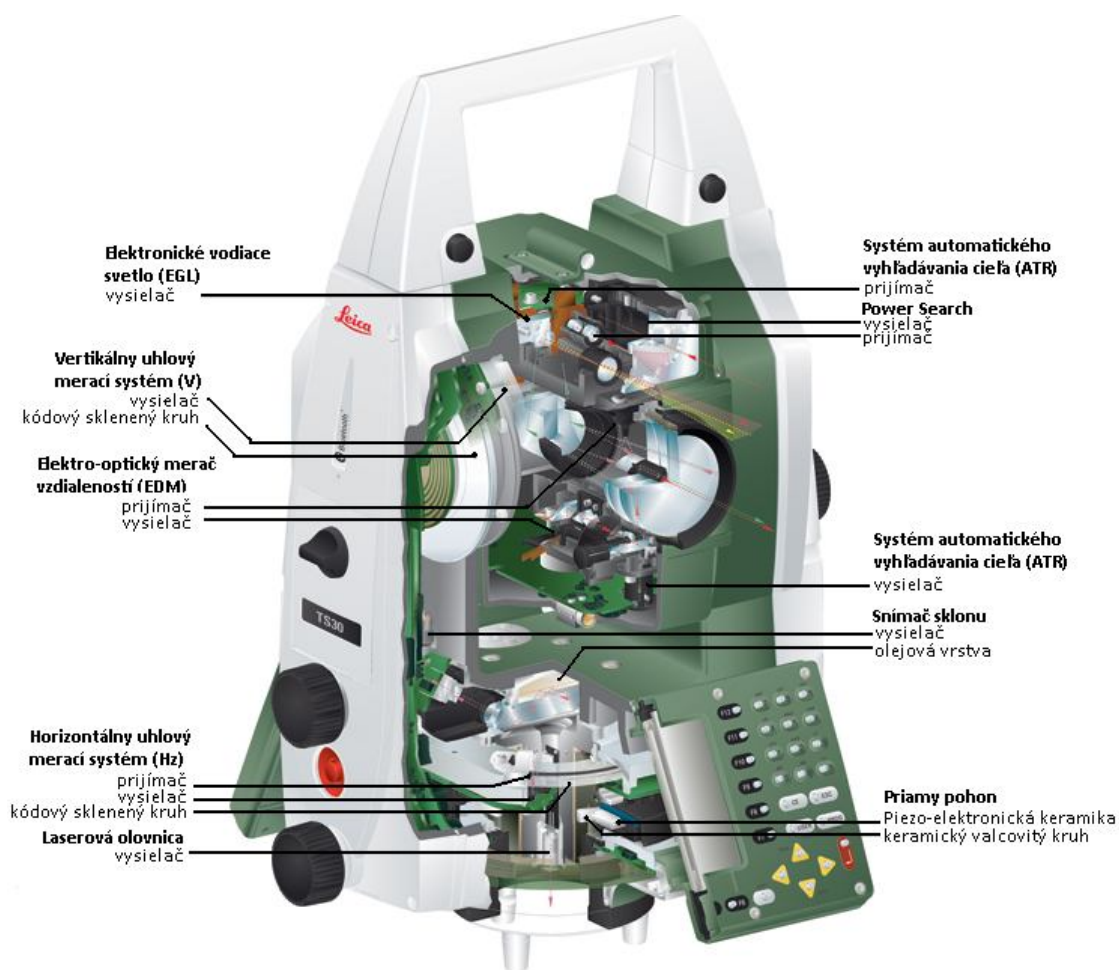
2 Automatizovaná univerzálna meracia stanica Leica TS30

Automatizovaná UMS Leica TS30 je vyrobená tak, aby dosahovala vysokú kvalitu, presnosť, precíznosť a rýchlosť manuálnych a automatizovaných meracích procesov. Využíva najnovšie vyvinutý priamy pohon využívajúci piezo technológiu, ktorá umožňuje veľmi rýchle a efektívne automatizované merania. Rýchlosť otáčania alidády a ďalekohľadu je až 200 gon/s (max. 400 gon/s) Zogg et al.(2009).

UMS Leica TS30 má zabudovaný systém ATR a systém automatizovaného sledovania cieľa „LOCK“, ktorá je schopná „sledovať“ odrazový hranol do vzdialenosti 1000 m. Taktiež sú v nej zabudované technológie ako vyhľadávanie odrazového hranola „Power Search“ (PS) alebo elektronické navádzacie svetlo (EGL). Tieto technológie v spojení so systémom 1200, ktorý je plne kompatibilný so systémom Leica Geosystems' XFunction, umožňujú prepojenie UMS s globálnymi družicovými navigačnými systémami (GNSS).

Leica TS30 je vyrobená pomocou jednoliatej nízko-tlakovej technológie, aby sa zabezpečila rovnorodosť materiálovej štruktúry. Horizontálny a vertikálny uhlový systém merania tvoria kódované sklenené kruhy. Kvôli zvýšeniu uhlovej presnosti a rozlíšenia boli kruhy zväčšené o 15 % v porovnaní s klasickými UMS (obr. 1).

Základné technické parametre UMS Leica TS30 sú uvedené v Tab. 1



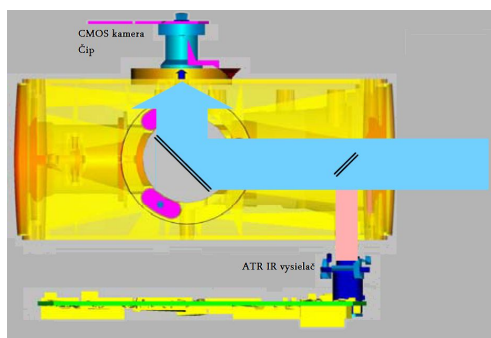
Obr. 1: Konštrukcia Leica TS30 (prevzaté z Leica Geosystems AG, 2008)

Tab. 1 Základné technické parametre UMS Leica TS30 Leica Geosystems AG (2009)

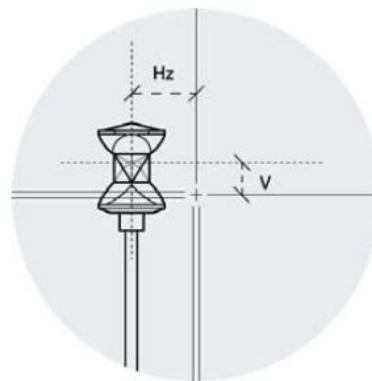
Meranie smerov	
Stredná chyba merania Hz, V	0,5'' (1,5 ^{cc})
Meranie dĺžok na hranol	
Dosah na 1 hranol (GPR1)	3 500 m
Dosah na 360° hranol (GRZ4)	1 500 m
Dosah na reflexnú fóliu (60 x 60 mm)	250 m
Presnosť merania na hranol / čas merania	0,6 mm + 1 ppm / 7 s 1 mm + 1 ppm / 2.4 s
Automatické cielenie (ATR/LOCK)	
Metóda digitálneho spracovania obrazu	
Dosah na hranol (GPR1)	1 000 / 800 m
Dosah na 360° hranol (GRZ4, GRZ122)	800 / 600 m
Presnosť polohy pri ATR Hz, V	1''
Všeobecná polohová presnosť	± 1 mm
Čas merania na GPR1	3 ^s až 4 ^s

3 Systém automatizovaného cielenia ATR

Systém ATR je založený na technológii spracovania obrazovej informácie na komplementárnej oxid-polovodičovej technológii (Complementary-Metal Oxide Semiconductor – CMOS) s 2D-poľom namiesto CCD kamery [Leica Geosystems AG (2008)]. Výhody CMOS kamery je jasný a ostrý obraz aj pri veľmi silnom osvetlení, ako aj rýchle spracovanie informácie. Nový systém ATR s CMOS senzor umožňuje vytvoriť obrazový prvok s vyšším rozlíšením a presnosťou. ATR vysielateľ sa nachádza v spodnej časti ďalekohľadu a ATR prijímač s CMOS senzorom v jeho hornej časti (obr. 2).



Obr. 2 Systém ATR



Obr. 3 Horizontálne a vertikálne odchýlky

CMOS senzor tvoria horizontálne a vertikálne usporiadané pixely (obrazové elementy), ktorých pozícia je definovaná v miestnom súradnicovom systéme. Každému pixlu je priradená súradnica (x, y) .

Podmienkou automatizovaného cielenia je, aby sa odrazový hranol nachádzal v zornom poli ďalekohľadu. ATR vysielateľ vyšle infračervený laserový lúč na hranol. Lúč sa odrazí od hranolu a dopadne na CMOS senzor. CMOS senzor zaznamená laserový lúč ako bod (pixel), ktorý má v miestnom súradnicovom systéme CMOS senzora priradené súradnice x_L, y_L . Pozícia pixlu sa určí pomocou obrazových elementov CMOS senzora.

Pozícia odrazového hranola v 2D-geometrii je určená meraním horizontálnej (H_z) a vertikálnej (V) pozície pixlov obrazu stredy hranola vzhľadom na počiatok súradnicového systému CMOS senzora (obr. 3). Na základe vyhodnotenej polohy stredy odrazového hranola a počiatku súradnicového systému CMOS senzora sa vypočítajú uhlové odchýlky v horizontálnom (H_z) a vertikálnom (V) smere. Za pomoci priameho pohonu sa natočí zámerná os o uhlové odchýlky H_z a V do stredy odrazového hranola.

Pri odchýlke menej ako 5 mgon ($50''$) v režime merania „Standard“ už prístroj nenatočí prístroj na stred hranola. Vypočíta len uhlové diferencie, ktoré pripočíta k aktuálnym hodnotám vodorovného smeru a zenitového uhla, čím získame definitívnu pozíciu stredy hranola. Ak je odchýlka väčšia, bude aktivovaný priamy pohon, ktorý zabezpečí docielenie na stred hranola Leica Geosystems AG (2008).

4 Testovanie systému ATR

Našou úlohou bolo otestovať systém ATR automatizovanej UMS Leica TS30. Test pozostával z dvoch nezávislých častí. V prvej časti bola testovaná presnosť cielenia na 360° mini hranol Leica GRZ101. V druhej časti bol test zameraný na určenie zmien výšok a prevýšení odrazového kruhového hranola Leica GPR1, 360° hranola Leica GRZ4 a 360° mini hranola Leica GRZ101.

4.1 Testovanie vplyvu natočenia odrazového hranola

Testovanie systému ATR je zamerané na určenie uhlových a dĺžkových zmien, ako aj zmien súradníc podrobného bodu vplyvom natáčania odrazového hranola pri rôznych vzdialenostiach prístroja a hranola.

Odrazový mini hranol bol natáčaný v horizontálnom smere v rozsahu 0° až 360° s krokom 30° . Hranol bol osadený na držiaku reflektorov Leica. Nastavenie pozície natočenia sme zabezpečili pomocou podložky s uhlomernou stupnicou a ihly prilepenej na bočnej strane hranola vo zvislom smere (obr. 4).



Obr. 4: Odrazový mini hranol Leica GRZ4 s uhlomernou stupnicou

Test sme začali v interiéri v Laboratóriu Katedry geodézie (miestnosť B-221) Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Testovanie bolo vykonávané na vzdialenosť približne 5 m. Prístroj a odrazový hranol boli upevnené na pilieri. Po vykonaní testu v interiéri sme vykonali ďalší test v exteriéri na Námestí slobody v Bratislave. Z jedného stanoviska prístroja sme uskutočnili merania na hranol vo vzdialenosti približne 50 m, 100 m a 150 m. Prístroj a odrazový hranol boli stabilizované na statívoch. Merané dĺžky boli redukované o atmosférické korekcie (teplota, vlhkosť a tlak vzduchu), nakoľko meranie trvalo jeden deň a atmosférické podmienky neboli v takom časovom rozmedzí rovnaké.

Spôsob testovania mal jednotnú štruktúru ako v interiéri, tak aj v exteriéri. Na daných vzdialenostiach 5 m (v interiéri), 50 m, 100 m a 150 m (v exteriéri) sme vykonali nasledovnú sériu meraní.

Prvé meranie bolo vykonané na kruhový odrazový hranol GPR1, pričom sme cieľili manuálne (bez použitia systému ATR). Po nastavení adičnej konštanty a zadaní atmosférických parametrov do prístroja pre výpočet korekcií sme pristúpili k meraniu. Na kruhový odrazový hranol sme manuálne zacieli päťkrát v I. a päťkrát v II. polohe ďalekohľadu. Údaje (šikmá dĺžka, horizontálne smery, vertikálne uhly a čísla bodov) boli zaznamenávané na pamäťové médium UMS Leica TS30.

Po domeraní sme vykonali to isté meranie, avšak s použitím systému ATR, pričom sme necieľili priamo na stred hranola, ale len približne (aby bol odrazový hranol v zornom poli prístroja). Takto sme mohli pozorovať, ako systém ATR docieľuje na stred odrazového hranola z rôznych polôh ďalekohľadu.

Tretie meranie bolo vykonané na 360° odrazový mini hranol GRZ101, pričom s centračnou podložkou, ktorá obsahovala taktiež uhlové zariadenie, sme nehýbali. Vymenili sme len hranol GPR1 za GRZ101. Za pomoci ihly, ktorú sme pripevnili na 360° odrazový mini hranol, a uhlomernej stupnice sme natočili hranol na polohu 0° .

Pri aktivovanom systéme ATR sme vykonali meranie päťkrát v I. polohe a päťkrát v II. polohe ďalekohľadu. Po domeraní sme natočili podľa ihly a uhlomernej stupnice odrazový hranol o 30° a meranie sme opakovali. Takto sme postupne natáčali a merali jednotlivé polohy odrazového 360° mini hranola GRZ101 s krokom 30° , až kým sme sa nedostali opäť na polohu 0° , ktorú sme tiež odmerali ešte raz ako uzáver.

Rovnakú sériu meraní sme uskutočnili aj pre odrazový hranol vo vzdialenostiach 50 m, 100 m, a 150 m. Na začiatku každej série merania (po zmene stanoviska odrazového hranola) sme odmerali teplotu, tlak a vlhkosť vzduchu a aktuálne hodnoty zadali do prístroja.

Po domeraní všetkých potrebných údajov sme pristúpili k ich spracovaniu a analýze.

4.1.1 Spracovanie a analýza meraní

Analýza meraných údajov bola vykonávaná zvlášť pre každé stanovisko odrazového hranola. Vo všetkých analýzach, ktoré sme vykonali, bol použitý 1. lineárny model merania MNŠ – priame meranie skalárneho parametra. Z nameraných údajov (horizontálnych smerov (H_z), zenitových uhlov (V) a vodorovných dĺžok (d)) sme urobili najprv analýzu pre:

- jednotlivé natočenia 360° odrazového mini hranola s krokom 30° ,
- meranie na kruhový odrazový hranol GPR1 bez systému ATR,
- meranie na kruhový odrazový hranol GPR1 s využitím systému ATR.

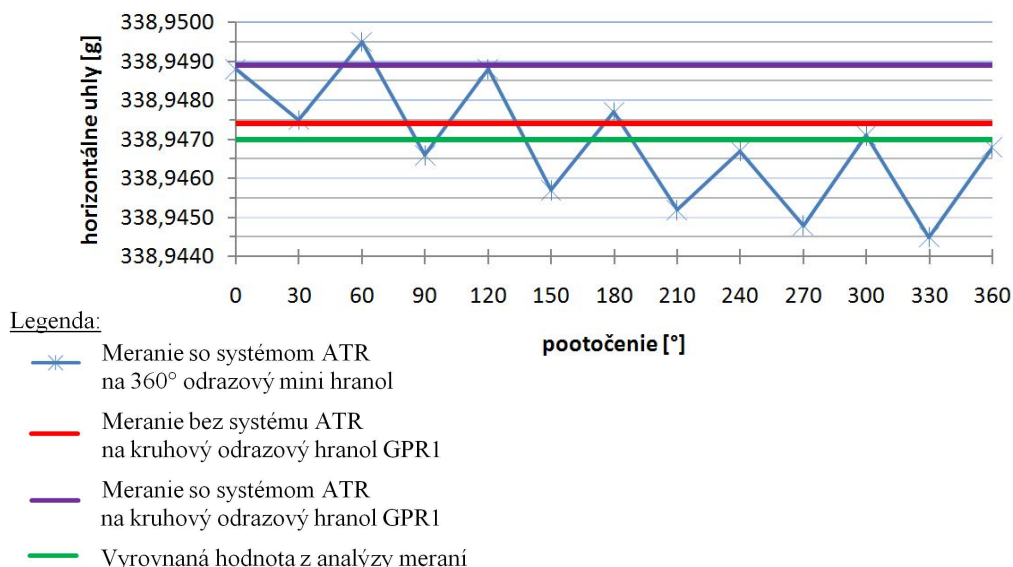
Po analýze sme dostali vyrovnané hodnoty jednotlivých parametrov (horizontálnych smerov, zenitových uhlov a vodorovných dĺžok) pre jednotlivé natočenia odrazového hranola, merania na GPR1 so systémom ATR a merania bez ATR, ako aj ich stredné chyby. Analýzu sme vykonali pre každý parameter zvlášť.

Po prvej analýze sme vykonali druhú analýzu. Na analýzu sme použili iba hodnoty vzťahujúce sa k meraniu na 360° odrazový mini hranol. Opäť sme použili 1. lineárny model merania MNŠ. Do druhej analýzy vstupovali vyrovnané hodnoty a stredné chyby meraných údajov, ktoré sme vypočítali v prvej analýze. Meranie sme začali pri natočení hranola 0° , krok natočenia hranola bol 30° a merali sme aj uzáver (360°), mali sme dokopy 13×3 vyrovnaných hodnôt horizontálneho smeru, zenitového uhla a vodorovnej dĺžky a ich stredné chyby. Druhá analýza je obdobná prvej analýze, avšak sú v nej zahrnuté aj stredné chyby. Kovariančná matica v rámci druhej analýzy už nebude jednotková, pretože každej hodnote z prvej analýzy bola určená iná stredná chyba. V prvej analýze sme predpokladali že meranie prebehlo za rovnakých podmienok, čiže aj ich chyba bude rovnaká. Výsledkom druhej analýzy bude jeden vyrovnaný horizontálny smer, zenitový uhol a vodorovná dĺžka pre dané stanovisko a ich stredné chyby. Túto analýzu pre zjednodušenie nazveme „Analytické vyrovnanie uhlov a dĺžky na cieľ“.

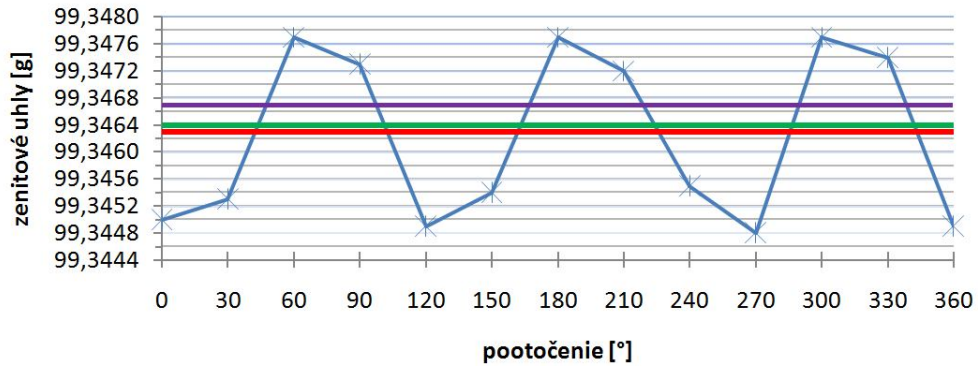
Z vypočítaných smerov a dĺžok z prvej aj druhej analýzy sme následne vypočítali pravouhlé priestorové súradnice jednotlivých bodov (tab. 2). Začiatok miestneho pravouhlého súradnicového systému sme zvolili v stanovisku prístroja ($X = 100,000$ m, $Y = 100,000$ m a $Z = 100,000$ m). Os X sme orientovali na jednotlivé ciele merané na kruhový odrazový hranol GPR1 so systémom ATR. Súradnice bodu, definované odrazovým hranolom, sú:

- $X_{\text{hranol}} = X_{\text{stanovisko}} + \text{horizontálna dĺžka}$,
- $Y_{\text{hranol}} = Y_{\text{stanovisko}}$,
- $Z_{\text{hranol}} = Z_{\text{stanovisko}} + \text{prevýšenie}$.

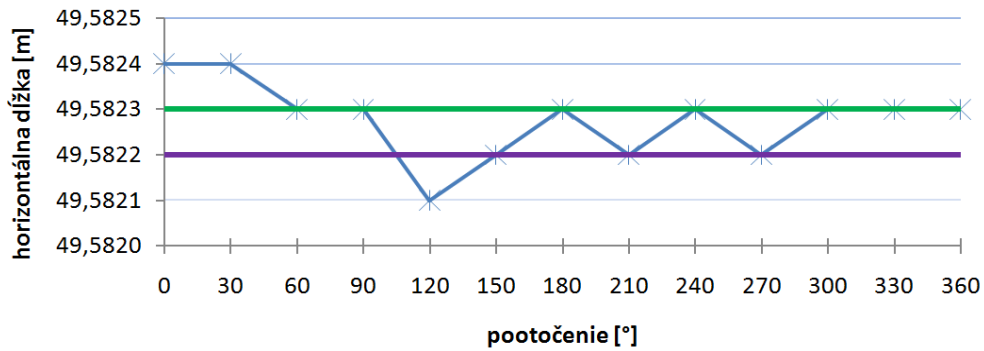
Výsledky analýzy (horizontálnych smerov H_z , zenitových uhlov V , vodorovných dĺžok d a priestorových súradníc X , Y a Z) zo stanoviska S_0 na cieľ S_1 (exteriér, vzdialenosť 50 m) a zo stanoviska S_0 na cieľ S_3 (exteriér, vzdialenosť 200 m) sme pre porovnanie vykreslili do grafov (graf 1 až 12).



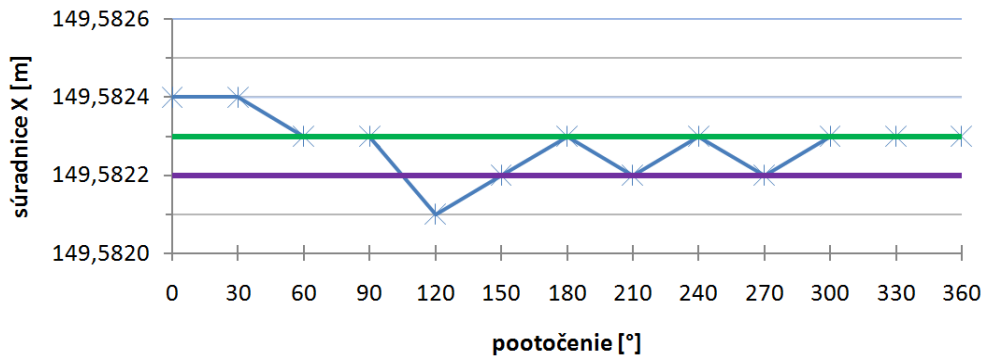
Graf 1 Porovnanie horizontálnych uhlov meraných zo stanoviska S0 na bod S1



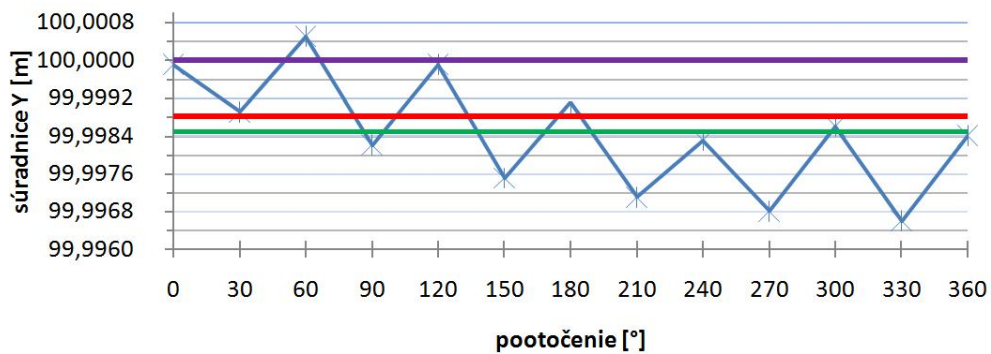
Graf 2 Porovnanie zenitových uhlov meraných zo stanoviska S0 na bod S1



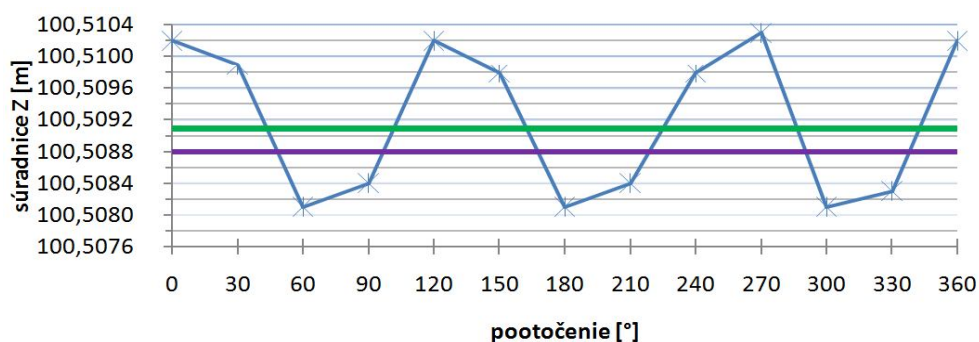
Graf 3 Porovnanie dĺžok meraných zo stanoviska S0 na bod S1



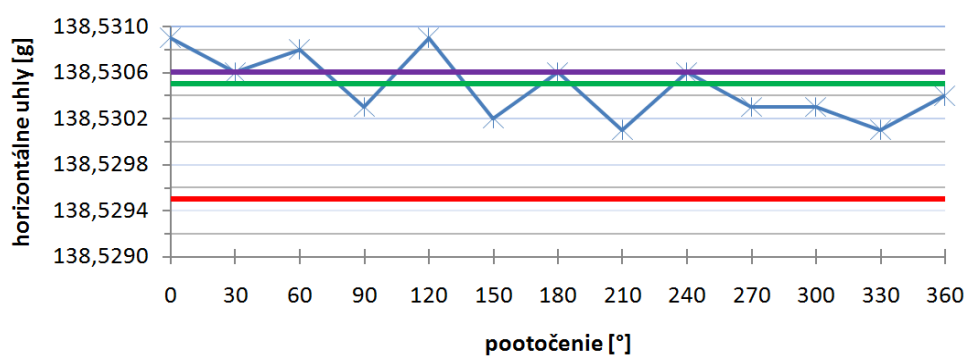
Graf 4 Porovnanie X-ovej súradnice bodu S1



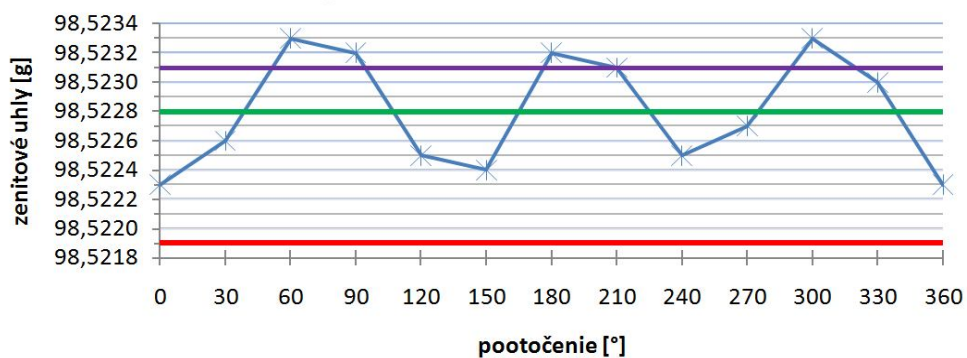
Graf 5 Porovnanie Y-ovej súradnice bodu S1



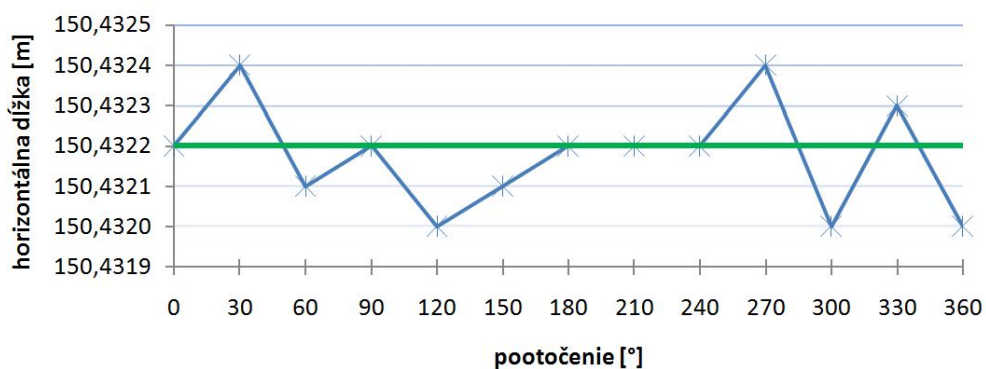
Graf 6 Porovnanie Z-ovej súradnice bodu S1



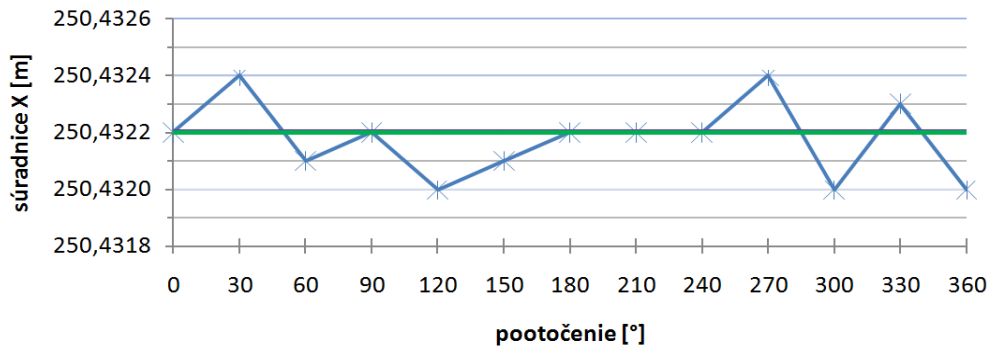
Graf 7 Porovnanie horizontálnych uhlov meraných zo stanoviska S0 na bod S3



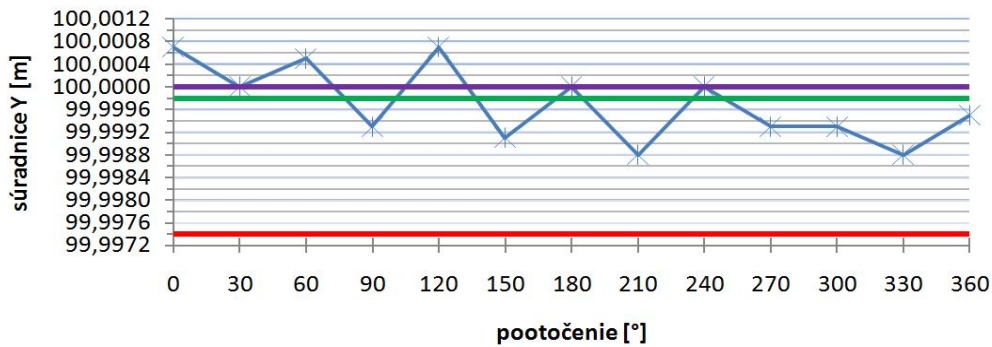
Graf 8 Porovnanie zenitových uhlov meraných zo stanoviska S0 na bod S3



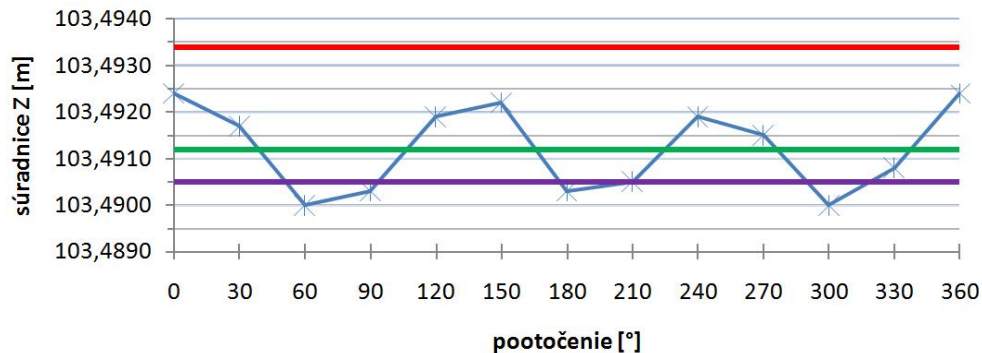
Graf 9 Porovnanie dĺžok meraných zo stanoviska S0 na bod S3



Graf 10 Porovnanie X-ovej súradnice bodu S3



Graf 11 Porovnanie Y-ovej súradnice bodu S3



Graf 12 Porovnanie Z-ovej súradnice bodu S3

4.1.2 Zhodnotenie výsledkov testu systému ATR:

Krivka vyrovnaných vodoravných smerov jednotlivých natočení má zväčša tvar nepravidelnej stúpajúcej, resp. klesajúcej sínusoidy.

Krivka vyrovnaných zenitových uhlov má pomerne pravidelný sínusový priebeh s uzáverom.

Krivka vyrovnannej horizontálnej dĺžky má nepravidelný tvar, avšak líši sa len v minimálnych medziach, nakoľko presnosť merania dĺžok u UMS Leica TS30 je pomerne vysoká.

Porovnaním grafov sme zistili, že X-ové súradnice sú závislé od horizontálnych dĺžok (nakoľko je ich tvar totožný), Y-ové súradnice sú závislé od horizontálnych smerov a Z-ové súradnice sú závislé od zenitových uhlov (grafy sa zhodujú zrkadlovo, t.j. sú prevrátené voči sebe).

Celkové porovnanie jednotlivých parametrov medzi meraním na GPR1 a GRZ101 so systémom ATR je uvedený v nasledujúcej tabuľke (tab. 2).

Tab. 2: Odchýlky parametrov od hodnôt meraných na GPR1

Graf	Parameter	Hodnota meraná na GPR1	Hodnota meraná na GRZ101		
			Najmenšia hodnota	Najväčšia hodnota	Max. odchýlka od GPR1
Stanovisko P5; cieľ P6					
1	Horizontálny uhol [g]	25,1383	25,1374	25,1466	0,0083
	Zenitový uhol [g]	99,9889	99,8788	99,8987	0,1101
	Horizontálna dĺžka [m]	5,6893	5,6889	5,6894	0,0004
2	Súradnica X [m]	105,6893	105,6889	105,6894	0,0004
	Súradnica Y [m]	100,0000	99,9999	100,0007	0,0007
	Súradnica Z [m]	100,0010	100,0091	100,0108	0,0098
Stanovisko S0; cieľ S1					
3	Horizontálny uhol [g]	338,9489	338,9445	338,9495	0,0044
	Zenitový uhol [g]	99,3467	99,3448	99,3477	0,0019
	Horizontálna dĺžka [m]	49,5822	49,5821	49,5824	0,0003
4	Súradnica X [m]	149,5822	149,5821	149,5824	0,0003
	Súradnica Y [m]	100,0000	99,9966	100,0005	0,0034
	Súradnica Z [m]	100,5088	100,5081	100,5103	0,0015
Stanovisko S0; cieľ S2					
5	Horizontálny uhol [g]	138,9390	138,9396	138,9410	0,0020
	Zenitový uhol [g]	98,8192	98,8181	98,8192	0,0011
	Horizontálna dĺžka [m]	100,1352	100,1350	100,1354	0,0002
6	Súradnica X [m]	200,1352	200,1350	200,1354	0,0002
	Súradnica Y [m]	100,0000	100,0009	100,0031	0,0031
	Súradnica Z [m]	101,8575	101,8575	101,8592	0,0017
Stanovisko S0; cieľ S3					
7	Horizontálny uhol [g]	138,5306	138,5301	138,5309	0,0005
	Zenitový uhol [g]	98,5231	98,5223	98,5233	0,0008
	Horizontálna dĺžka [m]	150,4322	150,4320	150,4324	0,0002
8	Súradnica X [m]	250,4322	250,4320	250,4324	0,0002
	Súradnica Y [m]	100,0000	99,9988	100,0007	0,0012
	Súradnica Z [m]	103,4905	103,4900	103,4924	0,0019

4.2 Testovanie systému ATR z pohľadu určovania výšok

V druhej etape sme testovali presnosť systému ATR z pohľadu výšok a prevýšení. Na test sme použili trojicu hranolov značky Leica: GPR1 (štandardný hranol), 360° hranol GRZ4 a 360° mini hranol GRZ101. V rámci testu sme porovnávali prevýšenia merané na jednotlivé typy odrazových hranolov so systémom ATR s prevýšeniami získanými geometrickou niveláciou (presnou niveláciou).

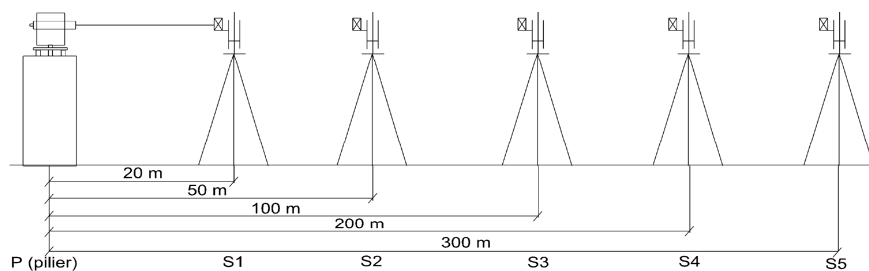
Testovanie automatizovaného cielenia na stred odrazového hranola sme realizovali v Bratislave, v mestskej časti Petržalka, v blízkosti Starého mosta. Meranie bolo vykonané dňa 27.10.2011 v čase od 08:00 hod. do 16:00 hod. Počas merania sme v pravidelných intervaloch (na začiatku každej série merania) merali atmosférické podmienky ovzdušia – teplotu, tlak a vlhkosť vzduchu. Parametre ovzdušia boli merané snímačom Greisinger GFTB100 a údaje následne zadávané priamo do prístroja. Údaje boli použité na výpočet

atmosférických korekcií meraných dĺžok. Testovaciu základnicu sme zvolili na priamom úseku koruny pravostrannej hrádze rieky Dunaj (obr. 5).



Obr. 5: Testovanie systému ATR na pravostrannej hrádzi Dunaja pri Starom moste

Základnica pozostávala zo šiestich bodov, z ktorých prvý bol definovaný ako stanovisko prístroja. Na ostatných piatich bodoch boli zvolené stanoviska odrazových hranolov. Stanovisko prístroja (P) bolo stabilizované meračským pilierom priemeru 300 mm, ktorý je súčasťou vzťažnej siete Starého mosta cez Dunaj. Stanoviská odrazových hranolov (S1 až S5) boli stabilizované meračským statívom. Celková dĺžka testovacej základnice bola 300 m. Konfigurácia bodov testovacej základnice je znázornená na obrázku 6.



Obr. 6 Grafické znázornenie konfigurácie merania

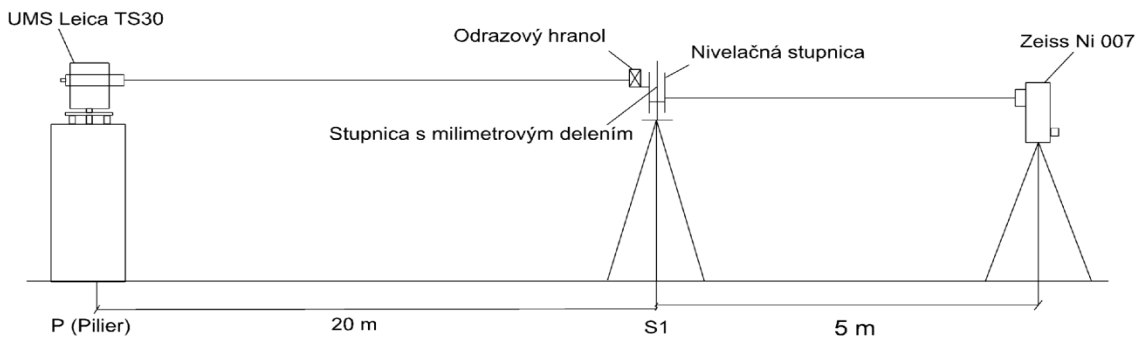
Test spočíval v porovnaní dosiahnutých výsledkov určenia zmeny výšky, resp. zmeny prevýšenia odrazového hranola využitím systému ATR. Testovanie systému ATR bolo vykonané na odrazové hranoly, umiestnené na stanoviskách (S1 až S5), vo vzdialenosti približne 20 m, 50 m, 100 m, 200 m a 300 m. Na test sme použili trojicu hranolov značky Leica: kruhový hranol GPR1 (štandardný hranol), 360° hranol GRZ4 a mini 360° hranol GRZ101 (obr. 7).

Konfigurácia vzdialeností je pritom hlavným ukazovateľom, nakoľko podľa dosiahnutých výsledkov môžeme zhodnotiť presnosť systému ATR pri určovaní výškovej zmeny hranola.



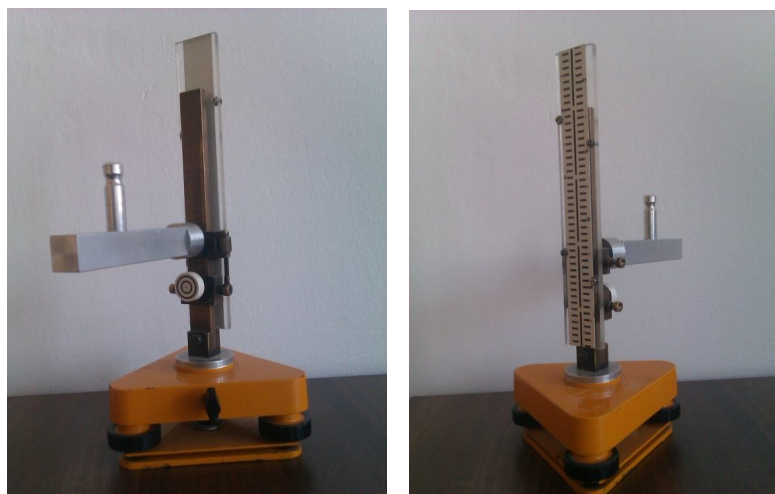
Obr. 7 Leica kruhový hranol GPR1 (vľavo), Leica 360° hranol GRZ4 (v strede) a Leica 360° mini hranol GRZ101 (vpravo)

Samotnému testovaniu predchádzala príprava prístrojov a pomôcok, návrh postupu merania a nezávislej kontroly určovaného prevýšenia. V rámci prípravy bol definovaný návrh počtu meraní a spôsob registrácie meraných údajov v jednotlivých etapách testu. Na obrázku 8 je znázornená schéma merania na jednom stanovisku.



Obr. 8 Grafické znázornenie postupu merania

Prístroj Leica TS30 sme umiestnili na meračský pilier a nechali sme ho prispôbiť sa atmosférickým podmienkam. Odrazový hranol sme pripevnili na špeciálny prípravok (testovacie zariadenie) s možnosťou vertikálneho posunu odrazového hranola. Zariadenie pozostáva z kovového nosníka, na ktorom je z prednej strany vynesená stupnica s milimetrovým delením. Po nosníku sa pohybuje posuvné zariadenie (jazdec) s ramenom na upevnenie odrazového hranola. Zo zadnej strany posuvného zariadenia bol na plexiskle upevnený invarový pás s nivelačnou stupnicou s 5 mm delením pre presnú niveláciu (obr. 9).



Obr. 9 Špeciálny prípravok s milimetrovou stupnicou(vľavo) a stupnicou z invarového pásu na presnú niveláciu (vpravo)

Statív s odrazovým hranolom a statív s nivelačným prístrojom Zeiss Ni007 sme postavili tak, aby spolu s meračským pilierom ležali približne na priamke. Statív s odrazovým hranolom sa nachádzal v strede. Použitie nivelačného prístroja pri testovaní bolo dôležitou časťou testovania nakoľko výsledky systému ATR sme mohli porovnávať s výsledkami geometrickej nivelácie.

Statív so špeciálnym prípravkom a odrazovým hranolom sme umiestnili na stanovisko S1 vzdialeného od meračského piliera 20 m podľa navrhutej konfigurácie. Prvým krokom merania bolo nastavenie počiatočnej hodnoty odrazového hranola na milimetrovej stupnici na hodnotu 0 mm. Následne sme si pripravili prístroj na vykonanie testovania.

V prístroji Leica TS30 sme po horizontácii nastavili potrebné konštanty: typ odrazového hranola, aktuálne atmosférické parametre – teplota, tlak a vlhkosť vzduchu. Týmto bol prístroj, ako aj odrazový hranol pripravený na testovanie. Zámerným krížom ďalekohľadu sme cielili na okraj odrazového hranola. Po spustení merania systém ATR vykonal výpočet odchýlok v horizontálnou a vertikálnom smere a následne docielil na stred odrazového hranola. Na odrazový hranol sme cielili celkovo 10 krát v I. polohe a 10 krát v II. polohe ďalekohľadu. Pred spustením každého merania sme manuálne zacielili na okraj odrazového hranola tak, aby stred zámerného kríža bol v rámci desiatich vykonaných meraní rovnomerne rozmiestnený na okraji odrazového. Všetky merané údaje sme registrovali do pamäte prístroja a po skončení merania sme ich prekopírovali do počítača. V súbore sú registrované nasledovné hodnoty:

- poradové číslo bodu,
- typ odrazového hranola,
- poloha ďalekohľadu,
- čas merania,
- horizontálny smer,
- zenitový uhol,
- šikmá a vodorovná vzdialenosť.

Po ukončení prvej série merania sme zmenili výšku odrazového hranola, pričom na milimetrovej stupnici sme nastavili hodnotu 25 mm. Postup merania sa opäť opakoval v dvoch polohách ďalekohľadu.

Výšku odrazového hranola sme postupne menili s krokom 25 mm až na konečnú hodnotu 100 mm. Celkovo bolo na odrazovom hranole vykonaných päť sérii meraní s krokom 25 mm, čím sme získali štyri prevýšenia.

Počas každej série merania sme metódou geometrickej nivelácie – presnej nivelácie vykonali pomocou kompenzátorového nivelačného prístroja Zeiss Ni 007, umiestneného z opačnej strany špeciálneho prípravku, čítania latových úsekov na základnej a posunutej stupnici. Z výsledkov geometrickej nivelácie sme získali päť latových úsekov, z ktorých sme vypočítali štyri prevýšenia.

Postup sme opakovali aj so zvyšnými dvoma odrazovými hranolmi na stanovisku S1. Po ukončení merania na prvom stanovisku sa celý priebeh merania opakoval na stanoviskách S2 až S5.

Posúdenie výškových odchýlok a presnosti testovaného systému ATR sme vykonali na základe získaných údajov prístrojmi Leica TS30 a Zeiss Ni 007.

4.2.1 Spracovanie nameraných údajov

Z meraní, ktoré sme získali pomocou systému ATR, bolo potrebné analyzovať dosiahnuté výsledky, aby sme určili, ktoré z meraní bolo zaťažené hrubou chybou alebo iným vplyvom. Na túto analýzu sme využili dva testy a to: test 3σ (sigma) resp., Grubbsov test, ktorými sa zaoberáme v ďalších častiach.

Test 3-sigma:

Testovaním pomocou 3σ testu sme zisťovali odľahlé hodnoty. V prípade výskytu odľahlých hodnôt sme nameranú hodnotu vylúčili zo súboru meraní. Princíp testu spočíva v určení odľahlých hodnôt prevýšenia na hladine významnosti, ktorá v našom prípade predstavovala hodnotu $\alpha=0,05$. Z desiatich hodnôt prevýšenia získaných každým meraním sme vypočítali priemernú hodnotu prevýšenia, ktorú sme následne porovnávali s meraniami prevýšenia. Týmto výpočtom sme určili hodnoty opráv. Posledným krokom bolo potom určiť strednú chybu meraného prevýšenia.

Nech $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ je náhodný výber z normálneho rozdelenia pravdepodobnosti $N(m, \sigma^2)$, ktorého parametre m a σ^2 sú a priori neznáme. Nevychýlený a efektívny odhad strednej hodnoty a disperzie majú tvar [Kubáčková (1990)]

$$m = \bar{\xi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\xi_i - \bar{\xi})^2 \quad (2)$$

Odmocnením vzťahu (4.2) získame strednú chybu meranej veličiny. Trojnásobok tejto hodnoty nám určuje hranicu pre test 3-sigma. Následne sme porovnávali hodnoty opráv jednotlivých meraných prevýšení s hodnotou 3-sigma. Ak oprava k meranému prevýšeniu prekročila stanovenú hodnotu, meranú hodnotu prevýšenia sme považovali za vybočujúcu a zo súboru meraní sme ju odstránili.

Grubbsov test:

Prítomnosť odľahlých hodnôt meraní v súbore vyplýva na jeho základné štatistické charakteristiky (aritmetický priemer, disperzia). Parametrický Grubbsov test umožňuje určiť, ktoré hodnoty v súbore nameraných údajov sú zaťažené hrubou chybou a teda majú charakter odľahlých pozorovaní. Nech platí:

$$h_{i,1} \leq h_{i,2} \leq \dots \leq h_{i,J_i} \quad (3)$$

potom hodnotu testovacej štatistiky určíme podľa vzťahov [Lipták (2011)]:

$$\check{S}_{i,1}^1 = \frac{h_{i,1} - h_{i,J_i}}{\sqrt{\frac{1}{J_i - 1} \cdot \sum_{j=1}^{J_i} (h_{i,j} - h_i)^2}} \quad (4)$$

$$\check{S}_{i,J_i}^2 = \frac{h_{i,J_i} - h_i}{\sqrt{\frac{1}{J_i - 1} \cdot \sum_{j=1}^{J_i} (h_{i,j} - h_i)^2}} \quad (5)$$

kde h_i je aritmetický priemer v i -tom súbore. S pravdepodobnosťou $1-\alpha$ vylúčime testovanú hodnotu zo súboru ak platí:

$$\check{S}_{i,1}^1 \geq G_{J_i}(\alpha), \text{ resp. } \check{S}_{i,J_i}^2 \geq G_{J_i}(\alpha) \quad (6)$$

kde $G_{J_i}(\alpha)$ je kritická hodnota Grubbsovho testu pre J_i meraní na zvolenej hladine významnosti α . Hladinu významnosti sme si zvolili rovnako ako pri teste 3-sigma $\alpha=0,05$. Pre súbor desať meraní sme mali kritickú hodnotu $G=2,18$.

4.2.2 Analýza dosiahnutých výsledkov

Vykonaním testu 3-sigma a Grubbsovho testu sme získali konečný súbor meraných údajov, a teda výsledné merané prevýšenia, ktoré sme porovnávali s prevýšeniami určenými metódou geometrickej nivelácie – presnej nivelácie. Na výpočet rozdielov medzi prevýšeniami sme použili nasledovné vzťahy:

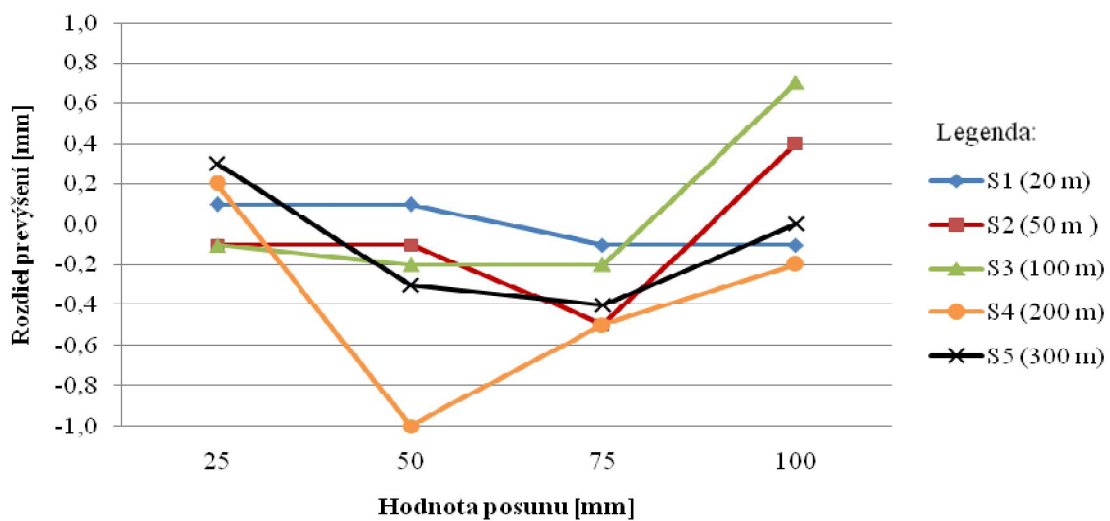
$$\Delta^I = h_{mer}^I - h_{niv} \quad (7)$$

$$\Delta^{II} = h_{mer}^{II} - h_{niv} \quad (8)$$

$$\bar{h}_{mer} = \frac{h_{mer}^I + h_{mer}^{II}}{2} \quad (9)$$

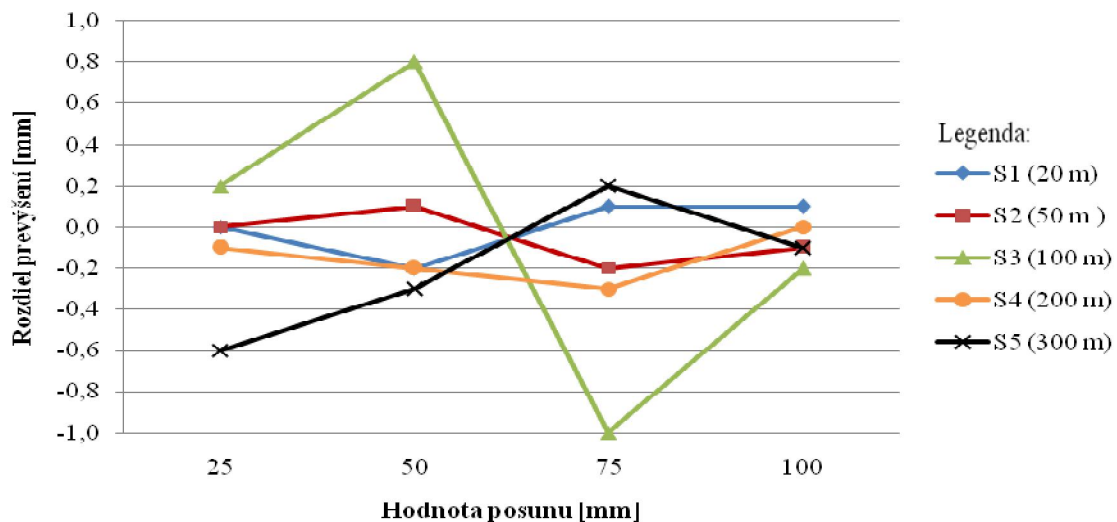
$$\bar{\Delta} = \bar{h}_{mer} - h_{niv} \quad (10)$$

pričom h_{mer}^I vyjadruje hodnotu prevýšenia v prvej polohe ďalekohľadu, h_{mer}^{II} hodnotu prevýšenia v druhej polohe ďalekohľadu a h_{niv} hodnotu prevýšenia získanú presnou niveláciou. Vzťah (7) vyjadruje rozdiel prevýšení medzi prevýšením získaným v prvej polohe ďalekohľadu a prevýšením z geometrickej nivelácie – presnej nivelácie. Vzťah (8) zobrazuje rovnaký rozdiel ako vzťah (7) s výnimkou, že prevýšenie vyjadruje hodnotu získanú v druhej polohe ďalekohľadu. Následne sme vzťahom (9) vypočítali priemernú hodnotu prevýšenia v dvoch polohách ďalekohľadu, ktorú sme vo vzťahu (10) použili na získanie výsledného rozdielu prevýšenia od prevýšenia získaného geometrickou niveláciou – presnou niveláciou.



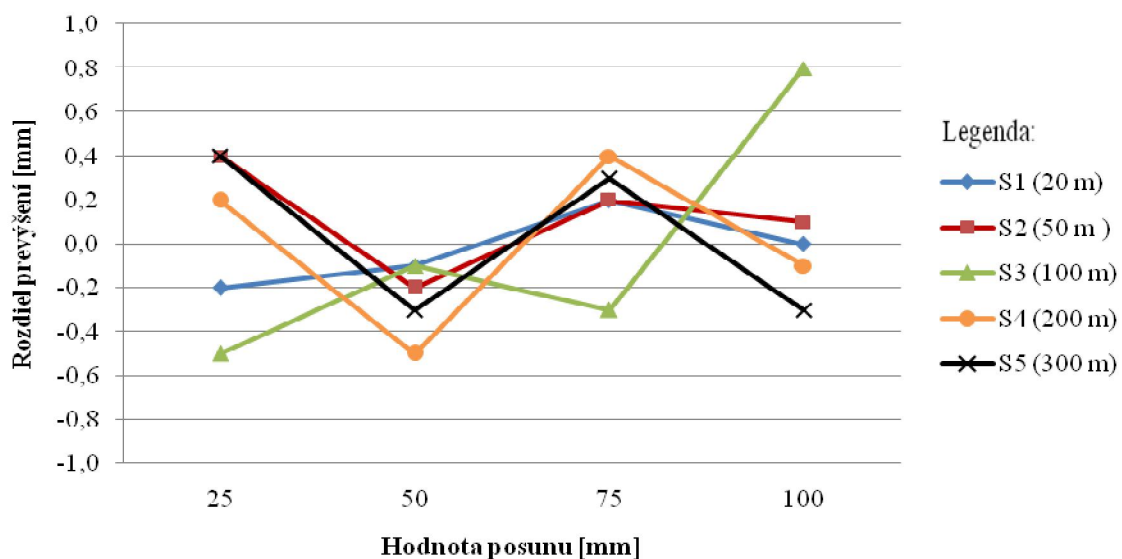
Graf 13 Rozdiel prevýšení odrazového hranola GPR1

Z grafu 13 je zrejmé, že presnosť systému ATR nie je funkciou vzdialenosti. Znamená to, že odchýlky majú náhodný charakter a sú ovplyvnené prevažne atmosférickými podmienkami. Maximálne odchýlky boli v prípade odrazového hranola GPR1 dosiahnuté pri vzdialenosti 200 m -1,0 mm a pri 100 m vzdialenosti 0,7 mm. Rozptyl zvyšných odchýlok bol približne rovnomerný, čo pri odrazovom hranole GPR1 znamená dosiahnutie rovnakých výsledkov pri rôznych vzdialenostiach.



Graf 14 Rozdiel prevýšeni odrazového hranola GRZ4

Z grafu 14 sme zistili, že maximálne odchýlky meraní na odrazový hranol GRZ4 boli dosiahnuté pri vzdialenosti 100 m -1,0 mm a 0,8 mm. Ako aj pri odrazovom hranole GPR1, aj v tomto prípade rozptyl zvyšných odchýlok bol rovnomerný. Na základe Grubbsovho testu, ktorý preukázal až dvanásť vybočujúcich meraní však možno určiť, že odrazový hranol GRZ4 je menej vhodný na merania ako štandardný hranol.



Graf 15 Rozdiel prevýšeni odrazového hranola GRZ101

Graf 15 zobrazujúci odchýlky prevýšeni meraných na odrazový hranol GRZ101 ukazuje maximálne dosiahnuté odchýlky -0,5 mm pri vzdialenostiach 100 m a 200 m a 0,8 mm pri vzdialenosti 100 m. Ako aj pri predchádzajúcich odrazových hranoloch, aj v tomto prípade je rozptyl zvyšných odchýlok rovnomerný. Odrazový hranol GRZ101 preukázal najmenšie hodnoty maximálnych odchýlok, čím môžeme označiť tento hranol za najvhodnejší na meranie, čo potvrdil aj Grubbsov test, ktorý označil ako vybočujúce hodnoty len štyri prevýšenia.

Záver

V prvej etape testovania sme z analytického vyrovnania získali vyrovnané hodnoty parametrov meraných na vzdialenosť 5 m, 50 m, 100 m a 150 m. Dané body P6, S1, S2 a S3 boli zamerané systémom ATR na natáčaný 360° odrazový mini hranola GRZ101 s krokom 30° a pre porovnanie boli taktiež zamerané na kruhový odrazový hranol GPR1 manuálnym cielením bez ATR a následne s použitím systému ATR. Zo všetkých vyrovnaných parametrov sme v lokálnej sieti vypočítali ich súradnice. Po vykonaných výpočtoch sme zhotovili tabuľky s výslednými hodnotami vyrovnaných parametrov a vypočítaných súradníc pre jednotlivé stanoviská a pre všetky spôsoby merania. Z týchto tabuliek sme potom vyhotovili grafy, z ktorých sme mohli porovnávať jednotlivé hodnoty a sledovať priebeh zmien pri otáčaní 360° odrazovým mini hranolom GRZ101. Hodnoty sme porovnávali s hodnotami vypočítanými z merania na GPR1 so systémom ATR, nakoľko sme ich považovali za najpresnejšie určené.

Porovnaním sme zistili, že nakoľko sme os X-ovú vložili do smeru cieľa, hodnoty X-ových súradníc boli závislé od horizontálnych dĺžok, hodnoty Y-ových súradníc boli prevažne závislé od horizontálneho uhla a hodnoty Z-ových súradníc boli prevažne závislé od zenitového uhla, nakoľko dĺžka bola odmeraná z veľmi vysokou presnosťou.

Leica TS30 má vysokú presnosť merania dĺžky o čom sme sa presvedčili aj pri meraní a spracovaní. Odchýlky v dĺžke boli max. 0,4 mm. Odchýlky horizontálnych uhlov boli vo väčšine prípadov väčšie ako odchýlky zenitových uhlov. Porovnaním odchýlok pre jednotlivé vzdialenosti prístroja a odrazového hranola sme zistili, že s narastajúcou vzdialenosťou sú odchýlky menšie.

Nakoľko súradnica X závisela od dĺžky, dosahovala tiež vysokú presnosť určenia. Zmena Y-ovej súradnice pri krátkej vzdialenosti (5 m) dosiahla max. odchýlku 0,7 mm, pri 50 m vzdialenosti max. odchýlku 34 mm a pri vzrastajúcej vzdialenosti sa opäť hodnota odchýlok zmenšovala. Ak zanedbáme zle určenú hodnotu Z-ovej súradnici pri 5 m vzdialenosti môžeme z porovnania max. odchýlok konštatovať, že hodnoty odchýlok Z-ových súradníc s narastajúcou vzdialenosťou stúpajú.

Porovnaním manuálneho merania a merania so systémom ATR sme usúdili, že pri narastajúcej vzdialenosti sa viac osvedčuje meranie s ATR, nakoľko dokáže lepšie zacieliť na stred odrazového hranola.

V druhej etape testovania sme analyzovaním nameraných údajov využitím testov 3-sigma a Grubbsovho testu získali konečný počet prevýšení, z ktorých sme následne porovnávali hodnoty prevýšení získaných systémom ATR a presnou niveláciou. Prevýšenia z geometrickej nivelácie nám pritom slúžili ako etalón na zistenie spoľahlivosti a presnosti merania systému ATR. Z grafov 13 až 15, ktoré slúžili na znázornenie odchýlok systému ATR meraním na odrazové hranoly GPR1, GRZ4 a GRZ101 sme zistili, že maximálna odchýlka predstavovala hodnotu 1,0 mm v dvoch prípadoch. V prvom prípade sa odchýlka vyskytla pri meraní na odrazový hranol GPR1 vo vzdialenosti 200 m, v druhom prípade sa odchýlka vyskytla pri meraní na odrazový hranol GRZ4 pri vzdialenosti 100 m. Z ostatných prevýšení sa odchýlky pohybovali rádovo v desatinách milimetra. Z troch použitých hranolov najpriaznivejšie výsledky dosiahol odrazový hranol GRZ101. Vzhľadom na dosiahnuté výsledky, možno konštatovať, že všetky odrazové hranoly sú vhodné na meranie so systémom ATR, keďže maximálna odchýlka prevýšenia bola 1,0 mm.

Spracovaním výsledkov sme zistili, že presnosť systému ATR nie je funkciou vzdialenosti. Rozptyl odchýlok pri všetkých použitých odrazových hranoloch a na všetkých stanoviskách bol rovnomerný a mal náhodný charakter.

Z konečných výsledkov teda vyplýva, že systém ATR je vodný a dostatočne presný pri meraní na všetky odrazové hranoly do vzdialenosti 300 m.

Našimi testovaniami sme zistili, že meranie so systémom ATR dosahuje vysokú presnosť pre polohové aj výškové merania. Systém ATR, ako súčasť univerzálnej meracej stanice Leica TS30, sa preukázal ako vhodná technológia modernej geodézie, pričom z pohľadu merania šetrí čas a dosahuje presné výsledky.

Zoznam použitej literatúry:

- KORČÁK, P. Základné lineárne modely merania. In Spracovanie a analýza meraní II. - teória na zadanie č. 2. STU SvF Bratislava 2008.
- KUBÁČKOVÁ, L. 1990. Metódy spracovania experimentálnych údajov. Bratislava: VEDA, 1990. 324 s. ISBN 80-224-0104-8.
- Leica Geosystems. Tajemství ATR. In Leica e-mail [online]. 2002, vol. 4, no. 4. Dostupné na internete: <http://www.gefos.cz/public/img/produkty_leica/mailling/atr.pdf>
- ZOGG, H.M. – LIENHART, W. – NINDL, D. Leica TS30 White Paper. In Leica TS30. [online]. 2009, [cit. 2010-04-23]. Dostupné na internete: <http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/general/white-tech-paper/WhitePaper_TS30_en.pdf>
- Leica Geosystems AG. Leica TS30 Champion's League. In Leica TS30. [online]. 2009, Dostupné na internete: <http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/TS30/brochures/TS30_Brochure_en.pdf>
- Leica Geosystems AG. Leica TPS1200+ White Paper. In Leica TPS1200+. [online]. 2008. Dostupné na internete: <http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/white-tech-paper/TPS1200+_WhitePaper_en.pdf>
- LIPTÁK, M. 2011. Eliminácia vplyvu vertikálnej refrakcie pri trigonometrických meraniach prevýšení: dizertačná práca. Bratislava: STU, 2011. 82 s.