

Testovanie a kalibrácia geodetických prístrojov

Ján Ježko¹, Štefan Sokol² a Marek Bajtala³

Testing and calibration of geodetic instruments

The problem of testing, verification and calibration of length-scales (electronic rangefinders) and angle-scales (geodetic instruments). The calibration of coded levelling rods and the systemic calibration of digital levelling instruments. The calibration on linear comparative baseline in a terrain – the elaboration of measured data. The testing of universal measuring instruments in laboratory conditions - specific problems in testing of instruments with the passive reflection. Some knowledge about the calibration of horizontal circles of angle-measuring geodetic instruments.

Key words: Calibration, etalon, coded levelling linear comparative baseline, universal measuring instruments with the passive reflection.

Úvod

V súčasnej dobe okrem klasických meracích systémov – teodolitov, diaľkometerov, univerzálnych meracích prístrojov UMP a meracích systémov GPS sú v geodetickej praxi najčastejšie používanými prístrojmi nivelačné prístroje. Optické nivelačné prístroje sú postupne nahradzované digitálnymi kompenzátorovými nivelačnými prístrojmi a klasické invarové laty kódovými latami. Tieto nové nivelačné prístroje osadené CCD snímačmi s úplnou automatizáciou čítania ponúkajú nové výhody - väčšiu presnosť čítania, automatickú registráciu, elimináciu hrubých chýb a omylov v čítaní meračom, existencia nameraných údajov v elektronickej podobe s možnosťou ich ďalšieho spracovania v prostredí rôznych softvérov.

Testovanie a kalibrácia nivelačných prístrojov a pomôcok

Medzi najčastejšie sa vyskytujúce chyby s ktorými sa pri nivelácii pomocou digitálnych nivelačných prístrojov stretáme, okrem radu iných chýb (Hánek, 2001, Melicher 2001), patrí chyba z nepresného delenia nivelačnej laty (stupnice).

Chyba z nepresného delenia nivelačnej laty (stupnice) :

Chyba z nepresného delenia laty patrí medzi systematické chyby nivelácie a aj v súčasnosti podstatnou mierou ovplyvňuje presnosť výsledkov presných nivelačných meraní (meranie v štátnej nivelačnej sieti, meranie posunov stavebných objektov a pod.).

Kalibrácia nivelačných lát umožňuje potlačiť vplyv uvedenej chyby na minimum. Kalibračné merania je možné v súčasnosti realizovať pomocou laserového interferometra lineárnym meraním. Tento postup je vhodný ako pre laty s klasickým delením, tak aj pre kódové laty. Samotná kalibrácia môže byť vo vodorovnej kľvo zvislej polohe.

Laserinterferometrický komparátor Katedry geodetických základov SvF STU Bratislava

Laserinterferometrický komparátor - LIK svojou presnosťou a nadväznosťou na meradlá Slovenského metrologického ústavu (SMÚ) predstavuje najvyšší článok metrologického zabezpečenia dĺžok na Katedre geodetických základov (KGZA). Od LIK-u sú odvodené hodnoty všetkých nadväzných komparátorov až po parametre dĺžkovej základnice Hlohovec. LIK bol overený SMÚ pomocou merania rozdielov frekvencií Δf voči Národnému etalónu dĺžky SR - laserom SMÚ B2 s rozšírenou neistotou $U = 6,8 \cdot 10^{-11}$ ($P = 0,95$). Určená hodnota frekvencie lasera je $f = 473\,612\,185$ MHz, s rozšírenou neistotou $U = 10$ MHz, tomu zodpovedajúca vlnová dĺžka vo vákuu je $\lambda_0 = 632\,991\,438$ fm, s rozšírenou neistotou $U = 14$ fm (Kuchtová, Mitáš, 2001).

Konštrukčné usporiadanie LIK

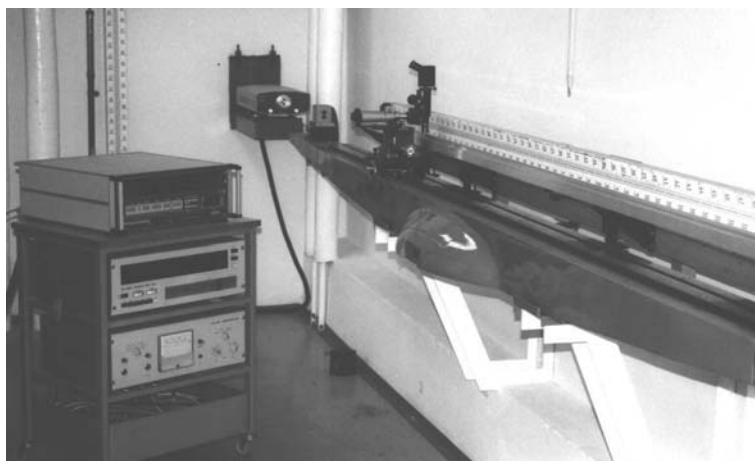
LIK (obr. 1) umožňuje bezdotykové premeriavanie všetkých dĺžkových meradiel, ktorých dĺžkové značky (čiarky) je možné umiestniť pod nastavovací mikroskop komparátora. Pomocou LIK-u sú bežne kalibrované

¹ Ing. Ján Ježko, PhD., katedra geodézie, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: ++421 7 59274 338, jan.jezko@stuba.sk

² prof. Ing. Štefan Sokol, PhD., katedra geodézie, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: ++421 7 59274 639, stefan.sokol@stuba.sk

³ Ing. Marek Bajtala, katedra geodézie, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: ++421 7 59274 392, marek.bajtala@stuba.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 5. 5. 2007)

invarové nivelačné laty rôznej dĺžky, kontrolné invarové meradlá, pracovné etalóny, taktiež je možné vykonať overenie nivelačných lát skladacích (4m), základnicových lát, meračských pásiem, atď.



Obr. 1. Laserinterferometrický komparátor.
Fig. 1. Laserinterferometric comparator.

Kalibrácia invarových nivelačných lát

Princíp merania na LIK-u je založený na zmene vzájomnej polohy dvoch optických článkov interferometra - optického deliča (stabilného) a kútového odrážača (pohyblivého). Kalibrovaná invarová nivelačná lata sa nechá dostatočne dlho ustalovať na ustálenú teplotu v laboratóriu, udržiavanú pomocou klimatizačného zariadenia na $20 \pm 0,2$ °C. Lata je komparovaná v horizontálnej polohe, umiestnená na nastaviteľných podperách, podopretá v bodoch minimálnej deformácie dĺžky invarového pásu (Besselových bodoch). Bezprostredne pred meraním sa do vyhodnocovacej jednotky zadajú hodnoty fyzikálnych parametrov prostredia (teplota, tlak, vlhkosť).

Premeriava sa základná aj posunutá stupnica invarového pásu lavy v desaťcentimetrových intervaloch. Na displeji vyhodnocovacej jednotky sa priebežne vyhodnocuje relatívna dĺžka voči zvolenej nulovej polohe na desiatiny mikrometra. Z dvojnásobného merania sa určí priemerná korekcia prislúchajúca ku konkrétnemu latovému dieliku a ďalej sa pomocou lineárnej regresie určí stredný latový meter. Neistota merania je $7 \mu\text{m}$ (určená s koeficientom rozšírenia $k = 2$ a pravdepodobnosťou $P = 0,95$). Kalibrovanému meradlu je vystavený kalibračný certifikát.

Horizontálny komparátor kódových nivelačných lát - geodetické laboratórium UniBwM Mníchov

Základom laboratória je 30 metrov dlhá kalibračná lavica s dvomi pohyblivými vozíkmi (obr. 2), ich poloha je monitorovaná laserovým interferometrom HP5507B. Nivelačná lata je umiestnená na pohyblivých vozíkoch podopretá v Besselových bodoch. Na konci lavice je upevnený elektrooptický mikroskop a vozíky sa pohybujú s upevnenou nivelačnou latou pod mikroskopom, ktorý meria okraje všetkých prvkov kódu lavy.

Vertikálny komparátor kódových nivelačných lát a systémová kalibrácia

Vertikálny komparátor (obr. 3) umožňuje zvislé posúvanie nivelačnej lavy. Veľkosť posunu je premeriavaná laserovým interferometrom, podobne ako pri horizontálnom komparátore. Vertikálny komparátor je možné použiť ako pre kalibráciu nivelačných latiek vo zvislej polohe, a tiež aj pre tzv. systémovú kalibráciu. Prednosťou tohto postupu je, že lata je pri kalibrácii v rovnakej polohe, v akej je využívaná pri meraní v teréne.

Všeobecne sa pri nivelácii predpokladá, že mierka celého systému (prístroj + lata) je mierka lavy určená kalibráciou. Časom sa však vlastnosti prístroja i lavy menia. Preto ku skontrolovaniu správania sa celého systému je potrebné urobiť **systémovú kalibráciu**. Systémovou kalibráciou je možné určiť správne hodnoty čítania na late, a z nich mierku digitálneho nivelačného systému, stabilitu celého systému v čase a tiež odhadnúť presnosť celého systému.

Systémovú kalibráciu s latou vo vodorovnej polohe pripravujú v laboratóriu na ČVUT Praha, kde dokončujú automatizáciu celého procesu. Podobný systém je realizovaný aj v Nemecku (UniBwM), Japonsku (Geographical Survey Institute) alebo Slovinsku (University of Ljubljana).



Obr. 2: Horizontálny komparátor.
Fig. 2. Horizontal comparator.



Obr. 3: Vertikálny komparátor.
Fig. 3. Vertical comparator.

Vertikálny komparátor pre kalibráciu nivelačných lát vo zvislej polohe, i pre systémovú kalibráciu je v prevádzke v metrologickom laboratóriu Technickej univerzity Graz (Rakúsko). Fínsky geodetický inštitút vykonáva pomocou vertikálneho komparátora automatizovanú kalibráciu nivelačných lát od roku 1996 a systémovú kalibráciu od roku 2002.

Kalibračný systém ML10 firmy Renishaw je v prevádzke aj na VŠB TU Ostrava (Hornicko-geologická fakulta – Inštitút geodézie a ťažného inžinierstva).

Kalibračný systém ML 10 firmy Renishaw

Katedra geodézie STU Bratislava v rámci výzvy MŠ SR v tematickej oblasti „Inovácia a budovanie unikátnych pracovísk“ podala projekt s názvom „Geodetické a fotogrametrické laboratórium katedry geodézie – doplnenie o kalibračný systém ML 10“ so zámerom, dobudovať kalibračné laboratórium pre vedecko-výskumné a pedagogické účely, s možnosťou využitia aj pre geodetickú verejnosť.

Firma Renishaw je svetovým výrobcou meracej a snímačkej techniky. Kalibračný laserový meračský systém je systém s modulárnou koncepciou, založený na frekvenčne stabilizovanom He Ne (hélium-neónovom) laseri energetickej triedy II (môže byť používaný bez špeciálnych bezpečnostných zariadení) a na optických prvkoch podľa požadovaného merania. Laser obsahuje elektroniku pre ustálenie výstupu laserového lúča pre interpoláciu a pre výpočet interferenčných prúžkov vytvorených meracou optikou. Súčasťou systému sú optické prvky pre meranie lineárnych vzdialeností s presnosťou vyššou ako 1 ppm (je možné aj dynamické meranie), meranie uhlov (náklon a odklon v rozsahu $\pm 10^\circ$) a meranie rovinnosti. Systém je možné aplikovať na kalibráciu invarových a kódových nivelačných lát, testovanie elektronických diaľkomerov, pre sledovanie posunov stavieb.

Testovanie vplyvu intenzity osvetlenia na prácu digitálneho nivelačného prístroja

Na kvalitu výsledkov nivelačných meraní realizovaných digitálnymi nivelačnými prístrojmi okrem podmienok a vplyvov uvedených v predchádzajúcej kapitole vplyva i intenzita osvetlenia. Nároky na intenzitu osvetlenia sú vyššie ako pri klasických nivelačných prístrojoch (Hánek, 2001).

Svetlo a fotometrické podmienky

Svetlo je nevyhnutnou a neodmysliteľnou súčasťou nášho života i životného prostredia a patrí medzi jeho základné činitele. Z fyzikálneho hľadiska nás ako časť elektromagnetického vlnenia neustále sprevádza, či už v čistej forme zdroja energie a svetla (slnečné žiarenie), alebo ako súčasť neodmysliteľných výtvarných vedy a techniky používaných v každodennom živote.

Intenzita svetla a osvetlenia je limitujúcim faktorom pre všetky oblasti ľudskej činnosti, geodetické práce nevyhnutne. Aj moderné geodetické prístroje pre terestrické merania potrebujú k svojej činnosti nielen zdroj energie, ale pre rozoznanie predmetu merania – cieľa, aj určité fotometrické podmienky.

Rozoznanie predmetu merania - cieľa pri práci s geodetickými prístrojmi je všeobecne dané vlastnosťami pozorovateľa, ďalekohľadu, prostredia a predmetu merania. Pri práci s klasickými optickými prístrojmi možno tieto vlastnosti špecifikovať podľa (Sokol et. al., 1999) na základe:

- fotometrických podmienok (osvetlenie, kontrast),
- geometrických vlastností cieľa (veľkosť = uhol videnia, tvar).

Pri používaní digitálnych nivelačných prístrojoch s automatickým určovaním prevýšenia je potrebné uviesť, že veľkosť cieľa je definovaná minimálnym úsekom dĺžky stupnice, ktorý musí byť pri meraní viditeľný.

Osvetlenie E je odvodená fotometrická veličina určená podielom rovnomerne rozdeleného svetelného toku $\Delta\Phi$, dopadajúceho na povrch telesa a veľkosti tohto povrchu ΔS . Jednotkou osvetlenia je lux (lx). Plocha má osvetlenie jedného luxu, ak na každý štvorcový meter plochy dopadá rovnomerne rozdelený svetelný tok jedného lúmenu.

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad (1)$$

Niektoré hodnoty osvetlenia pri rôznych podmienkach (tab. 1).

Tab. 1

Miesto merania	Osvetlenie [lx]
Mesačné osvetlenie pri splne	0,15 až 0,20
Osvetlenie ulice	2,00 až 20
Osvetlenie spálne	až 50
Osvetlenie obývacej izby	až 80
Osvetlenie kresliarne	až 300
Miestnosť vo dne	10 až 10 000
Priame slnečné osvetlenie	až 100 000

Na experimentálne hodnotenie osvetlenia bol použitý prenosný luxmeter PU-150, s meracím rozsahom do 100 000 lx, a to s dvomi fotónkami: odporovou pre hodnoty do 40 lx a selénovou (Halahyja et. al., 1985).

Záver z experimentálneho merania fotometrických podmienok pri práci s nivelačným prístrojom DiNi 12

- čas merania pri bežnom dennom osvetlení (200 – 3000 lx a viac) zodpovedá údajom výrobcu a pohybuje sa do 4 s,
- pri znižovaní intenzity osvetlenia (pod 80 lx) sa čas merania predlžuje až na dvojnásobok (6 s i viac),
- prahová hodnota pri rovnomernom umelom osvetlení, keď prístroj ešte meria, je 8 až 5 luxov, pri bodovom osvetlení sú však potrebné hodnoty min. 101 x a vyššie,
- osvetlenie prístroja priamym slnečným svetlom vyššej intenzity signalizuje prístroj prerušením merania – poznámkou „lata nečitateľná“.
- pri dennom osvetlení je výhodné nepriame rozptýlené svetlo 200 – 400 lx, (rozptyl opakovaných čítaní do $\pm 0,1$ mm),
- zväčšujúca sa intenzita osvetlenia, priame slnečné osvetlenie i narastajúca dĺžka zámer zhoršujú výsledky (rozptyl opakovaných meraní až na hodnotu $\pm 0,6$ mm), predlžujú čas merania,
- meranie s DNP DiNi 12 je možné v teréne i pri zhoršených svetelných podmienkach, treba však počítať s tým, že znížená intenzita osvetlenia pod 120 - 100 lx znižuje presnosť výsledkov merania.

Kalibrácia elektronických diaľkometerov na dĺžkovej porovnávacej základnici v teréne

Postup kalibrácie na základnici v Hlohovci prebieha vo dvoch fázach (Mičuda et. al., 2001; Ježko-Bajtala, 2005):

- realizácia meraní a zber nameraných údajov,
- spracovanie nameraných údajov.

Na kalibračné merania sa využíva päť pilierov s nútenou centráciou (n) s označením Z1 až Z5. Táto konfigurácia umožňuje odmerať

$$n \cdot (n-1) / 2, \quad (2)$$

desať dĺžok na kalibráciu elektronických diaľkometerov.

Úplné kalibračné meranie sa odporúča vykonať v dvoch sériách meraní počas dvoch dní (Mičuda et. al., 2001), podľa možnosti v rôznych poveternostných podmienkach. Séria merania predstavuje obojstranné zmeranie dĺžok vo všetkých kombináciách.

Minimálne kalibračné meranie, postačujúce však pre väčšinu prístrojov v geodetickej praxi, spočíva vo vykonaní meraní v jednej sérii.

Spracovanie nameraných údajov

Cieľom spracovania meraní je určenie hodnôt vybraných parametrov, určenie intervalu spoľahlivosti (konfidencie) týchto hodnôt a testovanie hypotéz o vybraných parametroch (Mičuda et. al., 2001). Postup spracovania meraní začína určením fyzikálnych redukcií, aplikáciou matematických korekcií (prevod šikmej dĺžky opravenej o fyzikálne redukcie na referenčnú plochu zahŕňa korekciu zo smeru tj. vybočenia bodov základnice od osi základnice a korekciu z prevýšenia). Ďalší postup vychádza z odhadu adičnej konštanty a odhadu parametrov regresnej priamky.

Adičnú konštantu diaľkomera môžeme definovať ako

$$c = \kappa + c_1 + c_2. \quad (3)$$

Kde κ je elektronická časť adičnej konštanty, ktorá ovplyvňuje vnútornú presnosť výsledku merania diaľkomera. Určiť κ je možné len v laboratórnych podmienkach. Hodnota c_1 je geometrická korekcia prístroja a c_2 geometrická korekcia odrazového systému. Hodnota $c_1 + c_2$ má u väčšiny elektronických diaľkomerov, pre výrobcom odporučený odrazový systém nulovú veľkosť. V prípade iného typu odrazového systému je potrebné hodnotu adičnej konštanty určiť, pretože jej veľkosť by sa prejavila v meraní ako systematická chyba.

Adičnú konštantu z meraní na základnici odhadneme podľa druhého lineárneho modelu (nepriame meranie vektorového parametra), kde pre realizačný vektor ξ predpokladáme

$$\mathbf{E}_{\Theta}[\xi] = \mathbf{A}_1 \Theta_1 \quad ; \quad \Sigma[\xi] = \sigma^2 \mathbf{H}, \quad (4)$$

pričom určujúce rovnice majú tvar

$$\mathbf{d} = \mathbf{x} + \mathbf{v}_1 + \mathbf{c} = \mathbf{f}(\Theta_1) \quad , \quad (5)$$

kde \mathbf{x} je vektor realizácií meraných dĺžok, \mathbf{v}_1 je vektor opráv, $\mathbf{f}(\Theta_1)$ vektor funkčných vzťahov, \mathbf{c} je vektor obsahujúci odhadnutú adičnú konštantu a \mathbf{d} je vektor odhadnutých dĺžok.

Z uvedeného modelu dostaneme odhadnuté hodnoty meraných dĺžok, odhadnutú hodnotu adičnej konštanty spolu s charakteristikami presnosti. Odhadnutá adičná konštantá platí pre kalibrovanú súpravu diaľkomer - odrazový systém. Odhadnuté dĺžky, charakterizované svojou kovariančnou maticou, sú opravené o adičnú konštantu a je ich možné priamo porovnať s parametrami základnice. Lineárnou regresiou s uvažovaním štatistických vlastností odhadnutých dĺžok potom odhadujeme vybrané parametre diaľkomera, \mathbf{a} (adičný člen) a \mathbf{b} (násobný člen).

Lineárnu regresiu môžeme vyjadriť v tvare (Mičuda et. al., 2001)

$$\mathbf{d} + \mathbf{v}_2 = \mathbf{A}_2 \Theta_2 \quad ; \quad \mathbf{A}_2^T = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ p_1 & \dots & p_n \end{bmatrix} \quad ; \quad \Theta_2 = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad , \quad (6)$$

kde p_i je parameter testovacej základnice.

Nevychýlený odhad parametrov regresnej priamky dostávame podľa vzťahu (Mičuda et. al., 2001)

$$\Theta_2 = (\mathbf{A}_2^T \Sigma_d^{-1} \mathbf{A}_2)^{-1} \mathbf{A}_2^T \Sigma_d^{-1} \mathbf{d}. \quad (7)$$

Jednotkovú disperziu počítame zo vzťahu

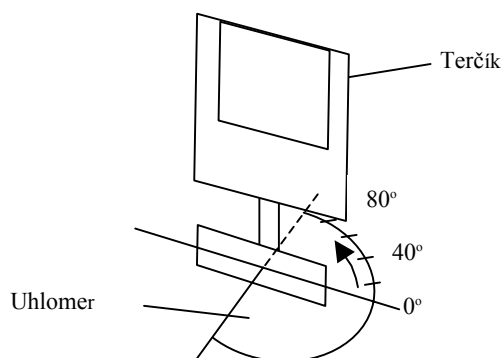
$$\sigma^2 = \frac{\mathbf{v}_2^T \Sigma_d^{-1} \mathbf{v}_2}{n - k + q} \quad ; \quad \mathbf{v}_2 = \mathbf{A}_2 \Theta_2 - \mathbf{d}. \quad (8)$$

Geodetická základnica Hlohovec umožňuje určiť reálne hodnoty adičnej konštanty súpravy diaľkomer – odrazový systém a posúdiť presnosť merania dĺžok danou súpravou. Určenie správneho rozmeru meranej dĺžky elektronickým diaľkomerom je nevyhnutnou podmienkou z hľadiska zabezpečenia metrologickej nadväznosti – realizácie metra ako jednotky dĺžky (Mičuda et. al., 2001).

Niektoré poznatky z testovanie univerzálnych meračských prístrojov v laboratórnych podmienkach

Okrem kalibračných meraní realizovaných na geodetickej základnici v teréne, kde výsledkom spracovania nameraných údajov je určenie parametrov regresnej priamky - kalibračnej rovnice (Mičuda et. al., 2001; Ježko, Bajtala, 2005) vystupuje v súčasnosti do popredia problematika merania elektronickými diaľkomermi ED s pasívnym odrazom.

Pri testovaní ED s pasívnym odrazom sme v laboratórnych podmienkach realizovali základnicu dĺžky 80 m v teplote stabilnom prostredí (5 bodov) vo vzdialenostiach približne 20, 40, 60, 80 m. Meranie na terč v pasívnom móde bolo vykonané opakovane s natáčaním po 20° (obr. 4).



Obr. 4. Natáčania terča.
Fig. 4. Rotation of the target.

Tab. 2.

Prístroj	ZeissTrimble3603DR		ZeissTrimble3303DR	
	Zmena meranej dĺžky [m]	Neistota merania [m]	Zmena meranej dĺžky [m]	Neistota merania [m]
Poloha terča	0,0	0,001	0,0	0,001
Terč 0°	0,000 až 0,006	0,002	-0,004 až -0,001	0,001
Terč 20°	-0,006 až 0,010	0,003	-0,008 až 0,001	0,002
Terč 40°	-0,001 až 0,017	0,003	-0,015 až -0,001	0,003
Terč 60°	0,007 až 0,032	0,005	-0,018 až 0,001	0,003
Terč 80°				

Výsledky testovania vplyvu nekolmého postavenia odrazovej plochy od zámernej priamky možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- pri narastajúcej zmene uhla odrazovej plochy a zväčšujúcej sa vzdialenosti narastajú hodnoty zmeny meranej dĺžky oproti meraniu na kolmú odrazovú plochu (odklon zámernej priamky ďalekohľadu od laserového lúča),
- pri prístroji Zeiss Trimble 3603DR táto zmena pri dĺžke 80 m oproti dĺžke pri kolmej polohe odrazovej plochy dosahuje hodnotu až 32 mm a predlžuje meranú dĺžku, pri prístroji Zeiss Trimble 3303DR táto zmena pri dĺžke 80 m dosahuje hodnotu -18 mm (skrácuje meranú dĺžku),
- vzhľadom na podobné výsledky dosiahnuté pri intervale zmeny uhla natočenia po 5 ° (i pri zmene vo vertikálnom smere) i ďalšie skúsenosti pri práci s prístrojmi s pasívnym odrazom odporúčame pri vzdialenostiach väčších ako 40 m cieľiť na kolmo natočenú odrazovú plochu, resp. pri väčšom uhle natočenia odrazovej plochy počítať zo zníženou presnosťou, ktorú je potrebné vzhľadom na rôznorodosť prístrojov i odrazových plôch experimentálne overiť.

Kalibrácia horizontálnych kruhov optických a elektronických teodolitov

V súčasnosti sa na overenie kvality vodorovných kruhov, resp. presnosti merania uhlov používa postup podľa STN ISO 8322, ktorý predpokladá meranie v dvoch polohách ďalekohľadu, v štyroch skupinách a v dvoch sériách. Presnosť merania uhlov, resp. smerov je podľa tejto normy charakterizovaná strednou chybou „ m_a “ (Ježko-Bajtala, 2005).

Kalibráciu vodorovných kruhov optických i elektronických teodolitov je možné realizovať aj na automatickom zariadení pre kalibráciu optických polygónov EZB -3 SMU v Bratislave. Na tomto zariadení bolo kalibrovaných v rokoch 2000-2006 niekoľko optických i elektronických teodolitov (Ježko et. al., 2004). Výsledkom takejto kalibrácie je súbor korekčných hodnôt z niekoľkých sérii merania - určenie hodnôt korekcií k jednotlivým hodnotám uhlov na vodorovnom kruhu a tvar aproximujúcej funkcie.

Dôležitou súčasťou spracovania je štatistické testovanie parametrov normálneho rozdelenia a analýza rozptylu. O možnostiach tohto testovania pomocou Grubbsovho testu a pomocou (Analyses of variance – analýza rozptylu), je podrobne pojednané v literatúre (Ježko et. al., 2005). ANOVA je súbor štatistických procedúr, na zisťovanie vplyvu určitého faktora na výsledok merania. Podľa počtu faktorov hovoríme o jednofaktorovej alebo viacfaktorovej analýze rozptylu.

Údaje získané meraním na kalibračnom zariadení, ktoré v ďalšom texte predstavujeme boli spracované pomocou softvéru Excel 2002 a Grafer 4. Grafické znázornenie korekcií pre jednotlivé miesta horizontálneho kruhu z troch sérii merania znázornené na obr. 5.

Pri aproximácií nameraných hodnôt bola použitá polynomičná funkcia. Stupeň aproximácie polynomičnou funkciou je individuálny a závisí od tvaru priamky, ktorá sa získa pospájaním hodnôt korekcií a ich zobrazením do grafu – obr. 6.

Pri grafickej interpretácii hodnôt bol použitý polárny graf. Najskôr bol zhotovený formou kružnice etalón s vhodne zvoleným polomerom, ktorý závisí od veľkosti hodnôt korekcií, korekcie boli potom nanášané podľa

