

KONTROLA GEODETICKÝCH PRÍSTROJOV PODĽA MEDZINÁRODNÝCH TECHNICKÝCH NORIEM

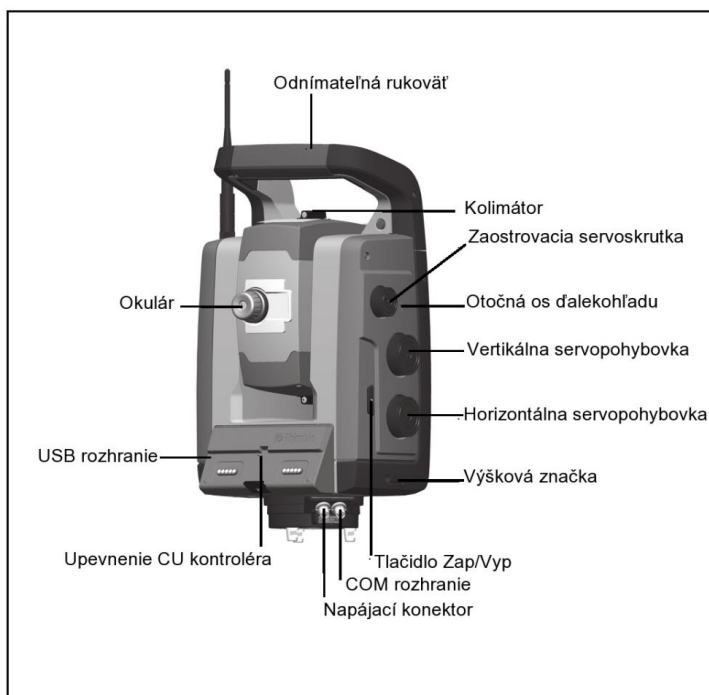
Ján Ježko

1 ÚVOD

Súčasná geodetická meracia obsahuje veľké množstvo elektronických súčastí, ktoré veľkou mierou uľahčujú a automatizujú prácu počas merania v teréne a šetria čas. S pribúdajúcim počtom výrobcov a modelov logicky dochádza k strate prehľadu o kvalite dostupnej techniky u používateľov. Rôzni výrobcovia v snahe čo najlepšie propagovať a predat svoj produkt na úkor etablovaných značiek, sa uchylujú k tendenciám uvádzať vyššiu presnosť ako je reálne dosiahnuteľná. Taktiež existuje predpoklad, že stabilita i kvalita meračských prístrojov sa v dôsledku množstva použitých elektronických komponentov časom i používaním mení.

1.1 Trimble S8 DR Plus ROBOTIC

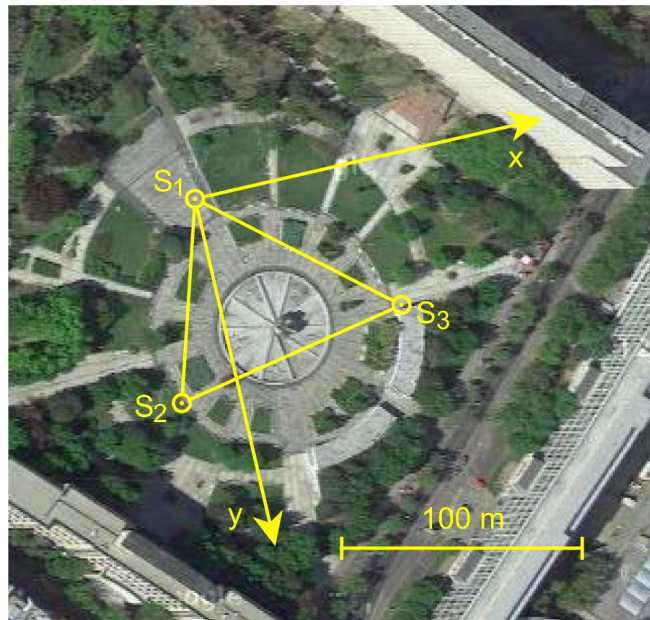
Prístroje Trimble rady S8 zaraďuje ich výrobca do druhej triedy presnosti. Prístroj existuje v dvoch základných konfiguráciách, a to: DR Plus a DR HP. Rozdiel týchto modelových rád spočíva v presnosti použitého diaľkomeru (konfigurácia DR HP obsahuje presnejší diaľkomer). Ďalej je možné tieto konfigurácie modifikovať podľa množstva funkcií integrovaných v univerzálnej meracej stanici (UMS) na: SERVO, AUTOLOCK a ROBOTIC. K dispozícii na testovanie bola RUMS v konfigurácii DR Plus ROBOTIC. Testovaný model obsahuje technológie spoločnosti Trimble ako sú MagDrive, Vision, SurePoint a Autolock [2]. Prístroj Trimble S8 nájde svoje uplatnenie pri presnom vytyčovaní, budovaní bodových polí, meraní posunov a pretvorení, pri výstavbe tunelových diel, pri automatickom riadení stavebných strojov a iných geodetických a príbuzných aplikáciách. Jednotlivé časti prístroja s jeho ovládacími prvkami sú popísané na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Základne ovládacie a konštrukčné prvky (pohľad z pozície merača)

1.2 Návrh konfigurácie testovacieho bodového poľa

Testovacie bodové pole v tvare trojuholníka bolo situované v lokalite Námestia Slobody v Bratislave. V rohových bodoch trojuholníka boli umiestnené statívy s urovnávacími podložkami. Dĺžky strán v trojuholníku sa zvolili o veľkosti približne 100 m, s prihliadnutím na rôzne vzájomné prevýšenia koncových bodov. Konfigurácia testovacieho poľa bola vybraná v súlade s normou STN ISO 17123-5. Rozmiestnenie bodov testovacieho poľa v rámci lokality sa nachádza na obr. 1.2 [3].



Obr. 1.2 Rozmiestnenie bodov testovacieho poľa

2 MERANIE PRAVOUHLÝCH SÚRADNÍC

Na záver uvedte kontaktné údaje autorů (jméno včetně titulů, organizace, telefon a email). Určovanie pravouhlých - trojrozmerných karteziánskych súradníc bolo realizované dvakrát v troch sériách v rámci jedného dňa. Namerané súbory výsledkov získané manuálnym aj automatizovaným cielením boli podrobené testovaniu. Na každom stanovisku sa v prístroji nastavili nulové pravouhlé súradnice. Registrované boli hodnoty teploty, tlaku a atmosférickej vlhkosti slúžiace na korekciu meraných dĺžok. K tomuto účelu bolo použité zariadenie GREISINGER electronic GFTB 100. Z hľadiska potlačenia centračných chýb sa počas merania využila metóda závislej centrácie. Súradnice sa určovali vždy v oboch polohách d'alekohľadu. Cieľovou značkou použitou pri meraní bol odrazový hranol z produkcie spoločnosti Trimble s typovým označením PN58026007. Pri meraní sme postupovali v zmysle postupu podľa [1] a tabuľky 2.1.

2.1 Vyhodnotenie meraných parametrov

Pri vyhodnotení výsledkov testovania bol dodržaný postup opísaných v [1, 2] - STN ISO 17123-5. Výpočet sa realizoval v programe Microsoft Office Excel. Zistené stredné chyby jedenkrát meranej súradnice x , resp. y v dvoch polohách d'alekohľadu a strednej chyby jedenkrát meranej súradnice z sa nachádzajú v tabuľke 2.1.

Tab. 2.1 Stredné chyby jedenkrát meranej súradnice x , resp. y , stredné chyby jedenkrát meranej súradnice z určené podľa STN ISO 17123-5

		Standard mód					Tracking mód				
Séri a		Priemer z 2. sérií					Priemer z 2. sérií				
i	s_{XY_i}	s_{Z_i}	s_{XY}	s_Z	s_P	s_{XY_i}	s_{Z_i}	s_{XY}	s_Z	s_P	
		(mm)					(mm)				
1	1,2	0,5	1,1	0,5	1,2	0,7	0,4	0,7	0,5	0,9	
2	1,0	0,4				0,7	0,5				

Zistená stredná chyba jedenkrát meranej súradnice x , resp. y v dvoch polohách d'alekohľadu pre Standard mód merania dĺžok je $s_{XY} = 1,1 \text{ mm}$, pre mód merania Tracking je $s_{XY} = 0,7 \text{ mm}$, stredná chyba jedenkrát meranej súradnice z pre Standard mód má hodnotu $s_Z = 0,5 \text{ mm}$, pre Tracking mód prislúcha hodnota $s_Z = 0,5 \text{ mm}$. Stredná polohová chyba pre Standard mód má hodnotu $s_P = 1,2 \text{ mm}$, pre Tracking mód $s_P = 0,9 \text{ mm}$. Vypočítané stredné polohové chyby s_P potvrdili, že zvolený mód merania dĺžok nemá vplyv na presnosť merania dĺžok pri statických cieľoch.

2.2 Štatistická analýza dosiahnutých výsledkov

Nutnou súčasťou zhodnotenia dosiahnutých výsledkov je uskutočnenie štatistického testovania, ktoré pozostáva z odpovede na 2 otázky, ktoré uvádza norma STN ISO 17123-5.

Otázky majú nasledovné znenie:

1. Je vypočítaná stredná chyba s menšia ako výrobcom udaná apriórna stredná chyba σ , resp. menšia ako iná vopred stanovená stredná chyba?
2. Sú dve stredné chyby s a \tilde{s} , ktoré sú určené z dvoch rôznych súborov meraní z rovnakej oblasti, za predpokladu, že vzorky majú identický stupeň voľnosti ν ?

Testovanie je nutné vykonať osobitne pre strednú chybu s_{XY} a s_Z . Testy je potrebné uskutočniť na hladine významnosti $1 - \alpha = 0,95$. Pre strednú chybu s_{XY} prislúcha stupeň voľnosti $\nu = 24$, stupeň voľnosti pre strednú chybu s_Z je $\nu = 15$.

Výrobca prístroja strednú chybu meraných súradníc neuvádza, je však možné určiť ju aplikáciou zákona o hromadení stredných chýb. K tomuto účelu potrebujeme poznať apriórnu strednú chybu meranej dĺžky σ_d , strednú chybu meraného horizontálneho (σ_α), resp. zvislého uhla (σ_β). Pre testovaný prístroj platia nasledovné apriórne charakteristiky presnosti 2. rádu: $\sigma_d = 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ (Standard mód), $\sigma_d = 4 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ (Tracking mód), $\sigma_\alpha = \sigma_\beta = 4,4^{cc}$.

Pri odvodení stredných chýb vychádzame z vzťahov pre jednotlivé pravouhlé súradnice x , y a z , ktoré sú funkčnými vzťahmi dĺžky d , vodorovného uhla α a výškového uhla β .

$$x = d \times \cos \alpha \times \cos \beta, \quad (2.1)$$

$$y = d \times \sin \alpha \times \cos \beta, \quad (2.2)$$

$$z = d \times \sin \beta . \quad (2.3)$$

Aplikáciou zákona o hromadení stredných chýb získame zo vzťahov 2.1, 2.2 a 2.3 vzťahy na určenie stredných chýb jednotlivých súradníc.

$$\sigma_x = \sqrt{(\cos \alpha \times \cos \beta \times \sigma_d)^2 + (-d \times \sin \alpha \times \cos \beta \times \sigma_\alpha)^2 + (-d \times \cos \alpha \times \sin \beta \times \sigma_\beta)^2}, \quad (2.4)$$

$$\sigma_y = \sqrt{(\sin \alpha \times \cos \beta \times \sigma_d)^2 + (d \times \cos \alpha \times \cos \beta \times \sigma_\alpha)^2 + (-d \times \sin \alpha \times \sin \beta \times \sigma_\beta)^2}, \quad (2.5)$$

$$\sigma_z = \sqrt{(\sin \beta \times \sigma_d)^2 + (d \cos \beta \times \sigma_\beta)^2}. \quad (2.6)$$

Strednú polohovú chybu určíme nasledovne:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}. \quad (2.7)$$

Do vzťahov 2.4, 2.5, 2.6 a 2.7 boli dosadené apriórne presnosti parametrov prislúchajúce pre testovaný prístroj a maximálne hodnoty šikmej dĺžky, vodorovného a zvislého uhla, ktoré sa vyskytli pri uskutočnenom meraní. Hodnoty vodorovného uhla, výškového uhla, šikmej dĺžky a vypočítané stredné chyby sú uvedené v tabuľke 2.2.

Tab. 2.2 Vypočítane apriórne stredné chyby σ_x , σ_y , σ_z a σ_{xy}

	Standard mód				Tracking mód			
$\alpha \cong 118,55^\circ$	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_z	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_z
$\beta \cong 1,91^\circ$	(mm)				(mm)			
$d \cong 99,75m$	0,7	1,2	1,4	0,7	1,4	4,0	4,3	0,7

Predmetom skúmania pri 1. otázke je zistenie rovnosti dosiahnutej strednej chyby s s apriórnu strednou chybou σ . Stanovená je nulová hypotéza H_0 , ktorá uvádza, že stredná chyba s je menšia, resp. rovná ako vopred definovaná stredná chyba σ .

Pre testovanie strednej chyby s_{XY} platí splnenie nasledovnej požiadavky:

$$s_{XY} \leq \sigma_{xy} \times 1,23 . \quad (2.8)$$

Pre testovanie strednej chyby s_Z platí:

$$s_Z \leq \sigma_z \times 1,29 . \quad (2.9)$$

V opačnom prípade sa nulová hypotéza H_0 zamietne.

Po dosadení známych hodnôt do vzťahov X.8 a X.9 získame pre mód merania dĺžok Standard:

$$s_{XY} \leq 1,4mm \times 1,23 , \quad (2.10)$$

$$s_{XY} \leq 1,72mm ,$$

$$s_Z \leq 0,7mm \times 1,29 , \quad (2.11)$$

$$s_Z \leq 0,90mm .$$

Pre mód merania dĺžok Tracking prislúcha:

$$s_{XY} \leq 4,3\text{mm} \times 1,23, \quad (2.12)$$

$$s_{XY} \leq 5,29\text{mm},$$

$$s_Z \leq 0,7\text{mm} \times 1,29, \quad (2.13)$$

$$s_Z \leq 0,90\text{mm}.$$

Pri porovnaní hodnôt z tabuľky 2.1 so vzťahmi 2.10, 2.11, 2.12 a 2.13 môžeme predpokladať, že stredné chyby s_{XY} a s_Z získané spracovaním meraní sú menšie alebo rovné ako vypočítané apriórne stredné chyby uvedené v tabuľke 2.2. Riziko takéhoto rozhodnutia je 5%.

Pri odpovedi na 2. položenú otázku sa skúma, či stredné chyby s a ξ pochádzajú z rovnakej oblasti. Stanovená je nulová hypotéza $H_0: \sigma = \tilde{\sigma}$.

Pre testovanie strednej chyby s_{XY} platí nasledovné:

$$0,44 \leq \frac{s^2}{\xi^2} \leq 2,27. \quad (2.14)$$

Pre testovanie strednej chyby s_Z platí:

$$0,35 \leq \frac{s^2}{\xi^2} \leq 2,86. \quad (2.15)$$

V opačnom prípade sa nulová hypotéza H_0 zamietne a prijme sa alternatívna hypotéza $H_1: \sigma \neq \tilde{\sigma}$.

Testovanie jednotlivých stredných chýb uvádzame vo forme tabuľky 2.3.

Tab. 2.3 Štatistické testovanie k 2. otázke podľa STN ISO 17123-5

Séri e	Standard mód				Tracking mód				
	s	ξ	$\frac{s^2}{\xi^2}$	Rezultát	s	ξ	$\frac{s^2}{\xi^2}$	Rezultát	
	(mm)				(mm)				
	s_{XY}				s_{XY}				
1	2	1,2	1,0	1,44	Prijíma sa hypotéza H_0	0,7	0,7	1,00	Prijíma sa hypotéza H_0
		s_Z				s_Z			
1	2	0,5	0,4	1,56	Prijíma sa hypotéza H_0	0,4	0,5	0,64	Prijíma sa hypotéza H_0

Z tabuľky 2.3 predpokladáme, že čiastkové stredné chyby získané z jednotlivých sérií meraní (pre mód merania dĺžok Standard aj Tracking) pochádzajú z rovnakého súboru. Neistota takéhoto rozhodnutia je 5%.

Tabuľky a obrázky uvádzajte v textu. Maximálna dĺžka príspevku, tedy dĺžka obsahujúca veškeré obrázky, tabuľky i zoznam literatúry, je maximálne 10 strán.

3 ZHODNOTENIE A UŽÍVATEĽSKÉ SKÚSENOSTI S TESTOVANÝM PRÍSTROJOM

Použitá ovládacia jednotka (kontrolér) Trimble TSC3 sa vyznačuje kvalitným displejom uspokojivo čitateľným za všetkých svetelných podmienok, ktoré nastali počas merania. Citlivosť dotyku na displeji je dobrá a to aj bez použitia dotykového pera, rovnako aj

hardvérová klávesnica sa vyznačuje dobrým dielenským spracovaním. Rádiové spojenie RUMS s kontrolnou jednotkou prebiehalo bez problémov.

Pohon systému MagDrive môžeme označiť ako výnimočne tichý, plynulý a jemný. Systém automatizovaného cielenia Autolock je spoľahlivý pri priaznivých podmienkach prostredia, v ktorom prebieha meranie. Nedostatky systému Autolock boli pozorované počas merania vo veternom prostredí, kedy v dôsledku nárazov vetra prístroj registroval odľahlé hodnoty čítaní na delenom kruhu.

Systém Autolock má svoje nenahraditeľné uplatnenie pri presných meraniach smerov a uhlov na veľké vzdialenosti, nemožno ho však považovať za „všielik“. Na dosiahnutie uspokojivých výsledkov je nutné poznať jeho úskalia, obmedzenia a slabé stránky.

4 ZÁVER

V článku sa zaoberáme problematikou určenia stability prístroja Trimble S8 DR Plus ROBOTIC. Predmetom testovania bolo stanovenie presnosti merania pravouhlých - trojrozmerných karteziánskych súradníc. Testovanie bolo realizované v súlade s normami STN ISO 17123-3, STN ISO 17123-4 a STN ISO 17123-5. Pri testovaní bola pre všetky skúmané parametre aplikovaná výhradne úplná testovacia metóda určenia charakteristík presnosti. Pri testovaní presnosti merania trojrozmerných karteziánskych) súradníc sa využili módy merania dĺžok Standard a Tracking.

Z uskutočneného testovania je možné potvrdiť, že testovaný prístroj Trimble S8 DR Plus ROBOTIC spĺňa výrobcom stanovenú presnosť pre určovanie trojrozmerných karteziánskych súradníc.

Použitá literatúra

1. STN ISO 17123-5: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 5. časť: Elektronické tachymetre.
2. KVĚT, Q. P. 2011 (PDF). Fascinující technologie Trimble,
3. ZÁTHURECKÝ, P.: Testovanie stability parametrov univerzálnej meracej stanice Trimble S8 DR plus robotic. Diplomová práca, stavebná fakulta STU v Bratislave, Bratislava 2013.