

TESTOVANIE ELEKTRONICKÝCH TACHYMETROV PODĽA STN ISO 17123-5

Ježko J.

1. ÚVOD

Príspevok predstavuje ďalšiu normu z oblasti pôsobnosti medzinárodnej technickej komisie ISO/TC 172/SC 6 – „Optics and optical instruments /Geodetic and surveying instruments“ (Optika a optické prístroje/Geodetické a meracie prístroje), ktoré boli do sústavy STN prevzaté v roku 2010. Zoznam noriem je uvedený v [2]. Normy boli prevzaté originálom – úvodná časť v slovenskom jazyku, text normy v anglickom jazyku. Testovanie geodetických prístrojov podľa týchto noriem umožňuje používať základné – jednoduché postupy, vhodné na testovanie prístrojov a pomôcok v teréne bez potreby špeciálnych zariadení (testovacích základníc v teréne a pod.)

2. POSTUP NA TESTOVANIE ELEKTRONICKÝCH TACHYMETROV

Medzinárodnú normu ISO 17123-5 pripravila technická komisia ISO/TC 172, Optika a optické prístroje, subkomisia SC 6, Geodetické a meracie prístroje ako súčasť ISO 17123, pozostávajúcej z častí uvádzaných v predchádzajúcom texte (pod hlavným titulom Optika a optické prístroje - Postupy na testovanie geodetických prístrojov).

Táto časť ISO 17123 špecifikuje skúšobné postupy, zamerané na určovanie a odhad presnosti elektronických tachymetrov a pomocného vybavenia pri meraniach v stavebníctve a geodézii. Cieľom týchto skúšok je najmä overenie vhodnosti jednotlivých prístrojov na príslušnú úlohu a splnenie požiadaviek iných noriem. Postupy sú určené na skúšanie prístrojov v teréne bez potreby ďalších zariadení a sú navrhnuté tak, aby bol minimalizovaný vplyv atmosférických podmienok na výsledok testu [3].

2.1 Testovanie elektronických tachymetrov podľa STN ISO 17123-5: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 5. časť: Elektronické tachymetre

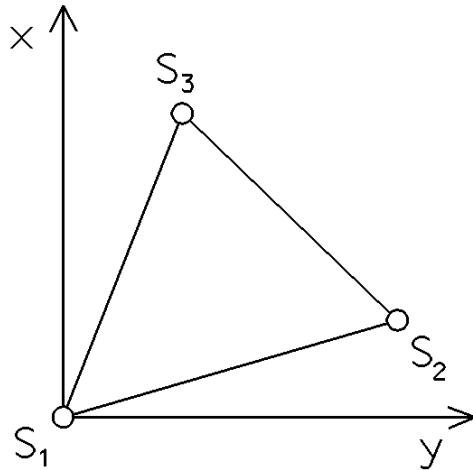
2.1.1 Zjednodušený postup skúšky

Zjednodušený postup skúšky je založený na obmedzenom počte meraní, pričom testovanie spočíva v meraní súradníc X , Y , Z . Z dôvodu atmosférickej refrakcie presnosť súradníc X a Y môže byť rozdielna ako presnosť súradnice Z . Preto sú presnosti počítané samostatne [3]. Ak zjednodušený postup skúšky nie je postačujúci, je potrebné prejsť k úplnému - presnejšiemu postupu testovania a určeniu strednej chyby.

Konfigurácia testovacieho poľa

Testovacie pole pozostáva z trojuholníka, pričom v každom rohu trojuholníka sú umiestnené statívy (obr. 1). Dĺžky strán závisia od úlohy, resp. prác, pre ktoré je testovanie vykonávané, (napr. 100m až 200m) a výšky sa volia v závislosti od terénu.

¹ Ing. Ján Ježko, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: 59274 338, e-mail: jan.jezko@stuba.sk.



Obr. 1 : Schéma testovacieho poľa (prevzaté z ISO 17123-5, 2005)

Meranie

Pred meraním je potrebné prístroj aklimatizovať, zaviesť atmosférické a prístrojové korekcie (adičnú konštantu) a meranie vykonať v jednom dni. Stanovisko S_1 sa nachádza v začiatku ľubovoľného lokálneho súradnicového systému (X, Y, Z) . Nulové čítanie na horizontálnom kruhu definuje os X .

Z každého stanoviska S_j ($j = 1,2,3$) sú odmerané súradnice ostatných dvoch bodov v lokálnom súradnicovom systéme. Výsledky merania zo stanoviska S_1 sú použité ako súradnice stanovísk S_2 resp. S_3 pre nasledujúce merania (orientácia späť na S_1), tab.1. Všetky merania vykonávame v jednej polohe ďalekohľadu [3].

Tab. 1: Schéma merania pre zjednodušený postup skúšky (prevzaté z ISO 17123-5, 2005)

Stanovisko	Cieľ	X [m]	Y [m]	Z [m]
S_1	Súradnice: ľubovoľné (napr. 1 000,2 000, 300) Orientácia: ľubovoľná			
	S_2	$X_{2,1}$	$Y_{2,1}$	$Z_{2,1}$
	S_3	$X_{3,1}$	$Y_{3,1}$	$Z_{3,1}$
S_2	Súradnice: $(X_{2,1}, Y_{2,1}, Z_{2,1})$ Orientácia: späť na S_1 (1 000,2 000, 300)			
	S_3	$X_{3,2}$	$Y_{3,2}$	$Z_{3,2}$
	S_1	$X_{1,1}$	$Y_{1,1}$	$Z_{1,1}$
S_3	Súradnice: $(X_{3,1}, Y_{3,1}, Z_{3,1})$ Orientácia: späť na S_1 (1 000,2 000, 300)			
	S_1	$X_{1,2}$	$Y_{1,2}$	$Z_{1,2}$
	S_2	$X_{2,2}$	$Y_{2,2}$	$Z_{2,2}$

Kde $X_{i,k}$ je k -te meranie ($k = 1,2$) X -ovej súradnice bodu j ($j = 1,2,3$)

Výpočet

Súradnicové prírastky sú vypočítané nasledovne :

$$\begin{aligned}
 d_1 &= X_{1,1} - X_{1,2}, \\
 d_2 &= X_{2,1} - X_{2,2}, \\
 d_3 &= X_{3,1} - X_{3,2}, \\
 d_4 &= Y_{1,1} - Y_{1,2}, \\
 d_5 &= Y_{2,1} - Y_{2,2}, \\
 d_6 &= Y_{3,1} - Y_{3,2}, \\
 d_7 &= Z_{1,1} - Z_{1,2}, \\
 d_8 &= Z_{2,1} - Z_{2,2}, \\
 d_9 &= Z_{3,1} - Z_{3,2},
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

a polovičný rozdiel z maximálneho prírastku súradníc

$$d_{x,y} = \frac{1}{2} \max_{i=1,\dots,6} |d_i|, \tag{2.2}$$

$$d_z = \frac{1}{2} \max_{i=7,8,9} |d_i|. \quad (2.3)$$

Polovičné rozdiely $d_{X,Y}$, resp. d_Z musia byť v rozmedzí krajnej odchýlky $\pm p_{X,Y}$ resp. $\pm p_Z$ (v súlade s ISO 4463 - 1). Ak $\pm p_{X,Y}$, resp. $\pm p_Z$ nie sú dané $d_{X,Y}$, resp. d_Z musia spĺňať podmienku $d_{X,Y} \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-XY}$ resp. $d_Z \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-Z}$, kde $s_{ISO-TACH-XY}$ resp. $s_{ISO-TACH-Z}$ sú krajné odchýlky určené z úplného postupu skúšky s rovnakým prístrojom [3].

2.1.2 Úplný postup skúšky

Tento postup je založený na meraní súradníc na testovacom poli bez ich nominálnej hodnoty. Stredná chyba meranej súradnice jednotlivých bodov je určená pomocou metódy najmenších štvorcov (MNS). Výsledkom testovania presnosti je stredná chyba jedenkrát meranej súradnice v dvoch polohách d'alekohľadu $s_{ISO-TACH-XY}$ a $s_{ISO-TACH-Z}$, ktorú vyhodnotíme podľa štatistických testov [3].

Konfigurácia testovacieho poľa

V každom rohu trojuholníka sú umiestnené statívy podľa (obr. 1). Dĺžky strán závisia od úlohy, či prác, pre ktoré je testovanie vykonávané, (napr. 100 m až 200 m) a výšky sa volia v závislosti od terénu.

Meranie

Pred začiatkom merania je potrebné prístroj aklimatizovať. Všetky súradnice musia byť merané v rovnakom dni. Závislou centráciou je eliminovaná chyba z centrácie prístroja.

Meranie realizujeme v troch sériách ($i = 1..3$), každá séria obsahuje meranie na každom stanovisku S_j ($j = 1..3$), pri rovnakej obmene stanovísk v každej sérii (napr. $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \dots$). Na každom stanovisku je potrebné zaviesť atmosférické korekcie a použiť rovnaké typy odrazových hranolov.

Súradnice stanovísk (x_j, y_j, z_j) volíme vždy nulové (0,0,0). Súradnice cieľa S_k ($k = 1,2,3$) meriame v dvoch polohách d'alekohľadu $X_{i,j,k}, Y_{i,j,k}, Z_{i,j,k}, X_{i,j,k}, Y_{i,j,k}, Z_{i,j,k}$; $i = 1,2,3$; $j = 1,2,3$; $k = 1,2,3$.

Pre výpočet je potrebné dodržať postupnosť merania (tab. 2) [3].

Tab.2 Postup merania (prevzaté z ISO 17123-5, 2005)

Bod	i	j	k	Bod	i	j	k	Bod	i	j	k
$S_1 \rightarrow S_2$	1	1	2	$S_1 \rightarrow S_2$	1	1	2	$S_1 \rightarrow S_2$	1	1	2
$S_1 \rightarrow S_3$	1	1	3	$S_1 \rightarrow S_3$	1	1	3	$S_1 \rightarrow S_3$	1	1	3
$S_2 \rightarrow S_1$	1	2	1	$S_2 \rightarrow S_1$	1	2	1	$S_2 \rightarrow S_1$	1	2	1
$S_2 \rightarrow S_3$	1	2	3	$S_2 \rightarrow S_3$	1	2	3	$S_2 \rightarrow S_3$	1	2	3
$S_3 \rightarrow S_1$	1	3	1	$S_3 \rightarrow S_1$	1	3	1	$S_3 \rightarrow S_1$	1	3	1
$S_3 \rightarrow S_2$	1	3	2	$S_3 \rightarrow S_2$	1	3	2	$S_3 \rightarrow S_2$	1	3	2

Výpočet strednej hodnoty z merania v dvoch polohách d'alekohľadu:

$$\begin{aligned}
X_{i,j,k} &= \frac{1}{2}(X_{i,j,k,|} + X_{i,j,k,||}) \\
Y_{i,j,k} &= \frac{1}{2}(Y_{i,j,k,|} + Y_{i,j,k,||}) \\
Z_{i,j,k} &= \frac{1}{2}(Z_{i,j,k,|} + Z_{i,j,k,||}) \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3
\end{aligned} \tag{2.4}$$

[3].

Výpočet

Presnosť súradnice X a Y

Za účelom získania porovnateľných výsledkov troch sérií meraní, je potrebné transformovať každú sériu merania do rovnakej polohy, napr. prvé stanovisko v prvej sérii.

Pretože bod S_1 má súradnice $(0,0)$, posun každého stanoviska je nasledovný:

$$\begin{aligned}
X'_{i,j,k} &= X_{i,j,k} - X_{i,j,1}, \\
Y'_{i,j,k} &= Y_{i,j,k} - Y_{i,j,1}, \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Pre prvé postavenie ($i = 1, j = 1$) nie je potrebná rotácia, teda transformované súradnice pre rotáciu dvoch bodov S_2 a S_3 dostávame priamo ako posunuté súradnice pre stanovisko $j = 1$ a sériu merania $i = 1$.

$$\begin{aligned}
X''_{1,1,k} &= X'_{1,1,k}, \\
Y''_{1,1,k} &= Y'_{1,1,k}, \\
k &= 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Pre každé nasledujúce stanovisko $j = 1, 2, 3$ zo série merania $i = 1, 2, 3$ je potrebná rotácia okolo stanoviska S_1 o uhol $\varphi_{i,j}$.

Najlepší spôsob rotácie je pomocou polárnych súradníc. Pre každý cieľ $k = 2, 3$ pravouhlé súradnice transformujeme na polárne.

$$t'_{i,j,k} = \arctan \frac{Y'_{i,j,k}}{X'_{i,j,k}}, \tag{2.7}$$

$$s_{i,j,k} = \sqrt{X'^2_{i,j,k} + Y'^2_{i,j,k}}. \tag{2.8}$$

Orientácia každého stanoviska j série merania i môže byť vyjadrená strednou hodnotou:

$$t'_{i,j} = \frac{1}{2}(t'_{i,j,2} + t'_{i,j,3}). \tag{2.9}$$

Z toho dôvodu uhol rotácie je

$$\begin{aligned}
\varphi_{i,j} &= t'_{1,1} - t'_{i,j}, \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Nová orientácia

$$\begin{aligned}
t_{i,j,k} &= t'_{i,j,k} + \varphi_{i,j}, \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Transformované súradnice vypočítame ako

$$\begin{aligned}
X''_{i,j,k} &= s_{i,j,k} \times \cos t_{i,j,k}, \\
Y''_{i,j,k} &= s_{i,j,k} \times \sin t_{i,j,k}, \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Presné súradnice S_2 a S_3 vypočítame

$$\begin{aligned}
\overline{X''}_k &= \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 X''_{i,j,k}, \\
\overline{Y''}_k &= \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 Y''_{i,j,k}, \\
k &= 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Dostávame 36 opráv:

$$\begin{aligned}
r_{x,i,j,k} &= \overline{X''}_k - X''_{i,j,k}, \\
r_{y,i,j,k} &= \overline{Y''}_k - Y''_{i,j,k}, \\
i &= 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 2, 3.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Suma štvorcov opráv:

$$\sum r_{X,Y}^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 (r_{x,i,j,k}^2 + r_{y,i,j,k}^2). \tag{2.15}$$

Počet neznámych parametrov: 12 - 8 parametrov rotácie a 4 priemerné súradnice bodov S_2 a S_3 , stupeň voľnosti je:

$$v_{XY} = 36 - 12 = 24. \tag{2.16}$$

Stredná chyba X – ovej alebo Y – ovej súradnice meranej jedenkrát v dvoch polohách ďalekohľadu je

$$s_{XY} = \sqrt{\frac{\sum r_{X,Y}^2}{24}}, \tag{2.17}$$

a nakoniec

$$s_{ISO-TACH-XY} = s_{XY}. \tag{2.18}$$

[3].

Presnosť súradnice Z

Súradnica Z stanoviska S_1 je známa. Neznáme parametre sú súradnice Z_2 a Z_3 stanoviska S_2 a S_3 a prevýšenie δ ($u = 3$).

$$Z_2 = \frac{1}{18} \begin{pmatrix} 2Z_{1,1,2} + Z_{1,1,3} - 2Z_{1,2,1} - Z_{1,2,3} - Z_{1,3,1} + Z_{1,3,2} + 2Z_{2,1,2} + Z_{2,1,3} - 2Z_{2,2,1} \\ -Z_{2,2,3} - Z_{2,3,1} + Z_{2,3,2} + 2Z_{3,1,2} + Z_{3,1,3} - 2Z_{3,2,1} - Z_{3,2,3} - Z_{3,3,1} + Z_{3,3,2} \end{pmatrix}, \tag{2.19}$$

$$Z_3 = \frac{1}{18} \begin{pmatrix} Z_{1,1,2} + 2Z_{1,1,3} - Z_{1,2,1} + Z_{1,2,3} - 2Z_{1,3,1} - Z_{1,3,2} + Z_{2,1,2} + 2Z_{2,1,3} - Z_{2,2,1} \\ +Z_{2,2,3} - 2Z_{2,3,1} - Z_{2,3,2} + Z_{3,1,2} + 2Z_{3,1,3} - Z_{3,2,1} + Z_{3,2,3} - 2Z_{3,3,1} - Z_{3,3,2} \end{pmatrix}, \tag{2.20}$$

$$\delta = \frac{1}{18} \begin{pmatrix} -Z_{1,1,2} - Z_{1,1,3} - Z_{1,2,1} - Z_{1,2,3} - Z_{1,3,1} - Z_{1,3,2} - Z_{2,1,2} - Z_{2,1,3} - Z_{2,2,1} \\ -Z_{2,2,3} - Z_{2,3,1} - Z_{2,3,2} - Z_{3,1,2} - Z_{3,1,3} - Z_{3,2,1} - Z_{3,2,3} - Z_{3,3,1} - Z_{3,3,2} \end{pmatrix}, \tag{2.21}$$

ďalej vypočítame 18 opráv $r_{i,j,k}$

$$\begin{aligned}
r_{1,1,2} &= Z_2 - \delta - Z_{1,1,2}, & r_{2,1,2} &= Z_2 - \delta - Z_{2,1,2}, & r_{3,1,2} &= Z_2 - \delta - Z_{3,1,2}, \\
r_{1,1,3} &= Z_3 - \delta - Z_{1,1,3}, & r_{2,1,3} &= Z_3 - \delta - Z_{2,1,3}, & r_{3,1,3} &= Z_3 - \delta - Z_{3,1,3}, \\
r_{1,2,1} &= -Z_2 - \delta - Z_{1,2,1}, & r_{2,2,1} &= -Z_2 - \delta - Z_{2,2,1}, & r_{3,2,1} &= -Z_2 - \delta - Z_{3,2,1}, \\
r_{1,2,3} &= -Z_2 + Z_3 - \delta - Z_{1,2,3}, & r_{2,2,3} &= -Z_2 + Z_3 - \delta - Z_{2,2,3}, & r_{3,2,3} &= -Z_2 + Z_3 - \delta - Z_{3,2,3}, \\
r_{1,3,1} &= -Z_3 - \delta - Z_{1,3,1}, & r_{2,3,1} &= -Z_3 - \delta - Z_{2,3,1}, & r_{3,3,1} &= -Z_3 - \delta - Z_{3,3,1}, \\
r_{1,3,2} &= Z_2 - Z_3 - \delta - Z_{1,3,2}, & r_{2,3,2} &= Z_2 - Z_3 - \delta - Z_{2,3,2}, & r_{3,3,2} &= Z_2 - Z_3 - \delta - Z_{3,3,2}.
\end{aligned} \tag{2.22}$$

Suma štvorcov opráv

$$\sum r_Z^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^3 r_{i,j,k}^2. \tag{2.23}$$

Stupeň voľnosti

$$v_Z = 18 - 3 = 15. \tag{2.24}$$

Stredná chyba Z – ovej súradnice meranej jedenkrát v dvoch polohách ďalekohľadu je

$$s_{ISO-TACH-z} = \sqrt{\frac{\sum r_Z^2}{15}}. \tag{2.25}$$

[3].

Štatistický test

Štatistické testy sú použiteľné len pre úplný postup skúšky. Na vyhodnotenie výsledkov musí byť vykonané štatistické testovanie použitím strednej chyby meraných súradníc na testovacom trojuholníku, (tab. 3).

- Je vypočítaná stredná chyba s menšia alebo rovná ako prislúchajúca hodnota strednej chyby σ , stanovená výrobcom alebo menšia ako iná vopred stanovená stredná chyba σ ?
- Rovnajú sa dve stredné chyby s a \tilde{s} určené na inej vzorke merania? Predpokladáme, že obe vzorky majú rovnaký stupeň voľnosti v .

Stredné chyby s a \tilde{s} môžeme získať :

- z dvoch vzoriek údajov odmeraných rovnakým prístrojom ale iným meračom,
- z dvoch vzoriek údajov odmeraných rovnakým prístrojom ale v odlišnom čase,
- z dvoch vzoriek údajov odmeraných rôznym prístrojom.

Na testovanie zvolíme hladinu významnosti $1 - \alpha = 0,95$ a stupeň voľnosti pre súradnicu X a Y je $v_{XY} = 24$ a pre súradnicu z $v_z = 15$ (tab. 3) [3].

Tab.3: Štatistické testy (prevzaté z ISO 17123-5, 2005)

Otázka	Nulová hypotéza	Alternatívna hypotéza
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$

Odpoveď na otázku a)

Ak nasledujúce podmienky nie sú splnené, nulová hypotéza $s \leq \sigma$ sa zamietne [3].

$$\begin{array}{ll}
\text{pre } X \text{ a } Y & \text{pre } Z \\
s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(v_{XY})}{v_{XY}}}, & s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(v_Z)}{v_Z}}, \\
s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(24)}{24}}, & s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(15)}{15}}, \\
\chi_{0,95}^2(24) = 36,42, & \chi_{0,95}^2(15) = 25,00, \\
s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{36,42}{24}}, & s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{25,00}{15}}, \\
s \leq \sigma \times 1,23, & s \leq \sigma \times 1,29.
\end{array} \tag{2.26}$$

Odpoveď na otázku b)

V prípade dvoch odlišných vzoriek test ukazuje, či stredné chyby s a \tilde{s} patria do rovnakej triedy. Ak nasledujúce podmienky nie sú splnené, nulová hypotéza $\sigma = \tilde{\sigma}$ sa zamietne.

$$\begin{array}{ll}
\text{pre } X \text{ a } Y & \text{pre } Z \\
\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_{XY}, v_{XY})} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v_{XY}, v_{XY}), & \frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_Z, v_Z)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v_Z, v_Z), \\
\frac{1}{F_{0,975}(24, 24)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0,975}(24, 24), & \frac{1}{F_{0,975}(15, 15)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0,975}(15, 15), \\
F_{0,975}(24, 24) = 2,27, & F_{0,975}(15, 15) = 2,86, \\
0,44 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2,27, & 0,35 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2,86.
\end{array} \tag{2.27}$$

Ďalšie podrobnosti, vrátane ukážok výstupného protokolu zo skúšok a testovania sú uvedené v [3].

3. NIEKTORÉ VÝSLEDKY Z TESTOVANIA PRÍSTROJA TOPCON GPT-3005 PODĽA STN ISO 17123-5

V zmysle podmienok, uvedených v predmetnej norme boli pri testovaní rozmiestnené stanoviská podľa obr. 1. Použitá bola závislá centrícia a odrazové hranoly boli od toho istého výrobcu ako testovaný prístroj, (adičná konštanta nulová). Na každom stanovisku bola meraná teplota a atmosférický tlak. Namerané údaje z terénu a výsledné charakteristiky presnosti pre prístroj Topcon GPT 3005 pri zjednodušenom postupe skúšky sa nachádzajú v tab. 4.

3.1 Výsledky testovania pri zjednodušenom postupe skúšky

Zjednodušený postup skúšky začína na stanovisku S1 zadaním jeho súradníc (1000,2000,300) s ľubovoľnou orientáciou. Po určení súradníc zvyšných dvoch stanovísk S2 a S3 (len v jednej polohe) nasleduje presun na stanovisko S2 a vloženie súradníc stanoviska S2, určených z merania na S1, (orientácia späť na S1). Podobný je postup aj na stanovisku S3.

Z nameraných hodnôt bol vypočítaný polovičný rozdiel súradnicových rozdielov pomocou vzťahov 2.1, 2.2 a 2.3 (kap. 2). Potom nasledovalo porovnanie s predpísanou maximálnou krajnou odchýlkou podľa normy ISO 4463 – 1, resp. s maximálnou krajnou odchýlkou určenou z úplného postupu skúšky.

Tab. 4: Namerané hodnoty a vypočítané charakteristiky presnosti prístrojom Topcon GPT 3005

Stanovisko	Cieľ	X [m]	Y [m]	Z [m]	Súradnicové rozdiely [m]	
					d ₁	d ₂
S ₁		1000.000	2000.000	300,000	d ₁	-0,001
	S ₂	1041,393	2119,572	304,122	d ₂	0,001
	S ₃	1113,891	2008,809	302,629	d ₃	0,003
S ₂		1041,393	2119,572	304,122	d ₄	-0,003
	S ₃	1113,888	2008,812	302,626	d ₅	-0,004
	S ₁	999,999	1999,997	299,997	d ₆	-0,003
S ₃		1113,891	2008,809	302,629	d ₇	-0,002
	S ₁	1000,000	2000,000	299,999	d ₈	0,003
	S ₂	1041,392	2119,576	304,119	d ₉	0,003
Meral: P.T. Počasie: slnečno					d_{X,Y} = 0,0020 m	
Prístroj: Topcon GPT 3005, v.č. 440644 Dátum: 19. 3. 2010					d_Z = 0,0015 m	

3.1.1 Zhodnotenie výsledkov testovania pri zjednodušenom postupe skúšky

Z dôvodu, že nie sú dané maximálne dovolené odchýlky $\pm p_{x,y}$ resp. $\pm p_z$ (v súlade s ISO 4463 - 1) výsledné charakteristiky presnosti $d_{x,y}$ a d_z boli porovnávané so strednými chybami meraných súradníc určených pomocou úplného postupu skúšky (kap. 3.2). Pri testovaní musí byť splnená podmienka $d_{x,y} \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-XY}$ resp. $d_z \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-Z}$.

Prístroj Topcon GPT – 3005:

Testovanie v teréne

pre X a Y:

$$d_{x,y} \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-XY},$$

$$0,0020m \leq 2,5 \times 0,0025m,$$

$$0,0020m \leq 0,0063m,$$

⇒ platí

pre Z:

$$d_z \leq 2,5 \times s_{ISO-TACH-Z},$$

$$0,0015m \leq 2,5 \times 0,0038m,$$

$$0,0015m \leq 0,0095m.$$

⇒ platí [4].

3.2 Výsledky testovania pri úplnom postupe skúšky

Meranie začína na stanovisku S1 so súradnicami X, Y, Z (0,0,0), meranie súradníc na ďalších stanoviskách je realizované vo dvoch polohách so súradnicami S2 (0,0,0) a S3 (0,0,0), tab.5. Po ukončení 1. série na S3 nasleduje druhá a tretia séria meraná rovnakým postupom. Namerané údaje sú v tab. 5. Ako charakteristika presnosti je vypočítaná stredná chyba merania súradníc X a Y a stredná chyba súradnice Z (kap. 2.1.2), tab.6.

Tab. 5: Namerané hodnoty a vypočítané charakteristiky presnosti súradníc x, y prístrojom
Topcon GPT 3005 [4]

1			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
i	j	k	X	Y	X'	Y'	t'	t	s	X''	Y''	r _v	r _v	
			m	m	m	m	rad	rad	m	m	m	m	m	
1	1	1	0,000	0,000	0,000	0,000								
		2	41,399	119,572	41,399	119,57	1,237				41,3990	119,5720	-0,0046	0,0040
		3	113,892	8,813	113,892	8,813	0,077				113,892	8,8130	0,0024	-
						$t'_{1,1} = 0,657356$								
1	2	1	67,773	-	0,000	0,000								
		2	0,000	0,000	-67,773	106,85	2,136	1,237545	126,537	41,3927	119,5762	0,0017	-	
		3	131,818	-12,265	64,045	94,593	0,975	0,077167	114,234	113,894	8,8064	-0,0005	0,0015	
						$t'_{1,2} = 1,555823$		$\varphi_{1,2} = -0,898467$						
1	3	1	-	-49,449	0,000	0,000								
		2	-	76,998	-4,719	126,44	1,608	1,237565	126,535	41,3894	119,5744	0,0050	0,0016	
		3	0,000	0,000	102,976	49,449	0,447	0,077147	114,233	113,893	8,8040	0,0008	0,0039	
						$t'_{1,3} = 1,027891$		$\varphi_{1,3} = -0,370535$						
2	1	1	0,000	0,000	0,000	0,000								
		2	16,987	125,392	16,987	125,39	1,436	1,237526	126,537	41,3948	119,5750	-0,0004	0,0010	
		3	109,917	31,108	109,917	31,108	0,275	0,077185	114,234	113,894	8,8085	0,0003	-	
						$t'_{2,1} = 0,855974$		$\varphi_{2,1} = -0,198618$						
2	2	1	81,16	-97,082	0,000	0,000								
		2	0,000	0,000	-81,16	97,082	2,267	1,237533	126,538	41,3941	119,5759	0,0002	0,0001	
		3	132,289	5,075	51,129	102,15	1,106	0,077178	114,237	113,897	8,8079	-0,0031	0,0000	
						$t'_{2,2} = 1,686927$		$\varphi_{2,2} = -1,029571$						
2	3	1	-36,946	-	0,000	0,000								
		2	-130,41	-22,79	-93,464	85,304	2,401	1,237533	126,539	41,3947	119,5775	-0,0003	-	
		3	0,000	0,000	36,946	108,09	1,241	0,077178	114,233	113,893	8,8076	0,0009	0,0003	
						$t'_{2,3} = 1,821631$		$\varphi_{2,3} = -1,164275$						
3	1	1	0,000	0,000	0,000	0,000								
		2	0,232	126,54	0,232	126,54	1,568	1,237525	126,540	41,3959	119,5776	-0,0015	-	
		3	104,828	45,39	104,828	45,39	0,408	0,077187	114,232	113,892	8,8085	0,0016	-	
						$t'_{3,1} = 0,988793$		$\varphi_{3,1} = -0,331437$						
3	2	1	87,467	-91,441	0,000	0,000								
		2	0,000	0,000	-87,467	91,441	2,333	1,237536	126,538	41,3939	119,5762	0,0004	-	
		3	131,655	13,903	44,188	105,34	1,173	0,077176	114,236	113,896	8,8076	-0,0019	0,0003	
						$t'_{3,2} = 2,021435$		$\varphi_{3,2} = -1,096450$						

Tab. 5: Namerané hodnoty a vypočítané charakteristiky presnosti súradníc x, y (pokračovanie)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
i	j	k	X	Y	X'	Y'	t'	t	s	X''	Y''	r _x	r _y
			m	m	m	m	rad	rad	m	m	m	m	m
3	3	1	-14,757	-113,278	0,000	0,000							
	2		-123,294	-48,221	-108,537	65,057	2,601615	1,2375365	126,5413	41,3948	119,5791	-0,0005	-0,0031
	3		0,000	0,000	14,757	113,278	1,441254	0,0771755	114,2352	113,8951	8,8074	-0,0007	0,0005
							$t'_{3,3} = 2,021435$	$\varphi_{3,3} = -1,364079$					
									$\overline{X''}$	$\overline{Y''}$			
									41,3944	119,5760			
									113,8944	8,8079			
										$\sum r_{X,Y}^2 = 1,545 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $S_{ISO-TACH-XY} = \mathbf{0,0025m}$ $v_{XY} = 24$			

Tab. 6: Namerané hodnoty a vypočítané charakteristiky presnosti súradnice s prístrojom Topcon GPT 3005 [4]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	j	k	Z _{i,j,k}	Z ₂	Z ₃	δ	4,1240	2,6271 m	0,0014 m	r _{i,j,k}
			m							m
1	1	2	4,122	2	1	-1	1	0	-1	0,0006
	1	3	2,634	1	2	-1	0	1	-1	-0,0078
1	2	1	-4,128	-2	-1	-1	-1	0	-1	0,0022
	2	3	-1,500	-1	1	-1	-1	1	-1	0,0018
1	3	1	-2,633	-1	-2	-1	0	-1	-1	0,0040
	3	2	1,499	1	-1	-1	1	-1	-1	-0,0030
2	1	2	4,126	2	1	-1	1	0	-1	-0,0034
	1	3	2,624	1	2	-1	0	1	-1	0,0022
2	2	1	-4,122	-2	-1	-1	-1	0	-1	-0,0033
	2	3	-1,499	-1	1	-1	-1	1	-1	0,0008
2	3	1	-2,626	-1	-2	-1	0	-1	-1	-0,0025
	3	2	1,491	1	-1	-1	1	-1	-1	0,0064
3	1	2	4,121	2	1	-1	1	0	-1	0,0016
	1	3	2,625	1	2	-1	0	1	-1	0,0012
3	2	1	-4,122	-2	-1	-1	-1	0	-1	-0,0038
	2	3	-1,503	-1	1	-1	-1	1	-1	0,0048
3	3	1	-2,627	-1	-2	-1	0	-1	-1	-0,0020
	3	2	1,494	1	-1	-1	1	-1	-1	0,0015
Neznáme parametre: 4,1240 m 2,6271 m 0,0014 m								$\sum r_Z^2 = 2,162 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $S_{ISO-TACH-Z} = \mathbf{0,0038 m}$ $v_Z = 15$		

3.2.1 Zhodnotenie výsledkov testovania pri úplnom postupe skúšky

Vypočítané stredné chyby boli testované na hladine významnosti $1 - \alpha = 0,95$ pomocou štatistických testov a porovnávané so strednou chybou meraných súradníc stanovenou výrobcom. Nakoľko výrobcovia elektronických tachymetrov strednú chybu meraných súradníc neudávajú, pretože tá je závislá od veľkosti meranej vzdialenosti, je možné ju určiť (aplikáciou zákona o hromadení chýb) na základe výrobcom danej strednej chyby meraného uhla a strednej chyby meranej dĺžky [4].

Pri odvodení strednej polohovej súradnicovej chyby boli základom vzťahy na určenie bodu polárnou metódou

$$X = X_0 + s \cos(\sigma), \quad (3.1)$$

$$Y = Y_0 + s \sin(\sigma). \quad (3.2)$$

Vzhľadom k tomu, že začiatok súradnicovej sústavy je rovný nule, dostávame vzťahy:

$$X = s \cos(\sigma), \quad (3.3)$$

$$Y = s \sin(\sigma). \quad (3.4)$$

Aplikáciou zákona o hromadení chýb dostávam:

$$m_x = \sqrt{\cos^2(\sigma) m_s^2 + s^2 (-\sin(\sigma))^2 m_\sigma^2}, \quad (3.5)$$

$$m_y = \sqrt{\sin^2(\sigma) m_s^2 + s^2 \cos^2(\sigma) m_\sigma^2}. \quad (3.6)$$

Stredná polohová súradnicová chyba :

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (3.7)$$

Pri odvodení strednej súradnicovej chyby merania súradnice Z vychádzame zo známeho vzťahu na výpočet výšky bodu na základe meraného výškového uhla a meranej dĺžky:

$$Z = H = H_0 + s \cdot \text{tg} \varepsilon. \quad (3.8)$$

Vzhľadom na nulovú výšku začiatočného bodu dostávame:

$$Z = H = s \cdot \text{tg} \varepsilon, \quad (3.9)$$

a aplikáciou zákona o hromadení chýb dostávame vzťah:

$$m_z = \sqrt{(\text{tg} \varepsilon)^2 \cdot m_s^2 + s^2 \cdot \left(\frac{1}{\cos^2 \varepsilon}\right)^2 \cdot m_\varepsilon^2}. \quad (3.10)$$

Stredné súradnicové chyby stanovené výrobcom sú pre prístroj Topcon GPT – 3005 nasledovné:

$$m_{x,y} = 0,0032 \text{ mm},$$

$$m_z = 0,0033 \text{ mm}.$$

Výsledné stredné chyby meraných súradníc testujeme odpoveďou na otázky a) a b) uvedené v kapitole 2 podľa výsledkov štatistických testov. Rozhodnutie o tom, či je prístroj vhodný na meranie z hľadiska presnosti vyhodnocujeme na základe testovania štatistických hypotéz [4].

Odpoveď na otázku a)

Je vypočítaná stredná chyba s menšia alebo rovná ako prislúchajúca hodnota strednej chyby σ stanovená výrobcom alebo menšia ako iná vopred stanovená stredná chyba σ ?

Prijímame nulovú hypotézu $H_0: s \leq \sigma$ oproti alternatívnej hypotéze $H_A: s > \sigma$.
 Rozhodnutie o prijatí resp. zamietnutí nulovej hypotézy určujeme na základe výsledkov testu s rozdelením χ -kvadrát na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ (koeficient spoľahlivosti $t = 2$).
 Stupeň voľnosti pre súradnice x a y je 24 a pre súradnicu z 15.

$$\begin{array}{ll}
 \text{pre } X \text{ a } Y & \text{pre } Z \\
 s_{ISO-TACH-XY} \leq m_{X,Y} \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v_{XY})}{v_{XY}}}, & s_{ISO-TACH-Z} \leq m_Z \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v_Z)}{v_Z}}, \\
 s_{ISO-TACH-X,Y} \leq m_{X,Y} \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(24)}{24}}, & s_{ISO-TACH-Z} \leq m_Z \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(15)}{15}}, \\
 s_{ISO-TACH-X,Y} \leq m_{X,Y} \times 1,23, & s_{ISO-TACH-Z} \leq m_Z \times 1,29.
 \end{array} \quad (3.11)$$

Prístroj Topcon GPT – 3005:

pre x a y :
 $s_{ISO-TACH-X,Y} \leq 0,0032m \times 1,23,$
 $0,0025m \leq 0,0039m,$
 \Rightarrow prijímam nulovú hypotézu
 na hladine významnosti 95%,

pre z :
 $s_{ISO-TACH-Z} \leq 0,0033m \times 1,29,$
 $0,0038m \leq 0,0043m,$
 \Rightarrow prijímam nulovú hypotézu
 na hladine významnosti 95% [4].

4. ZÁVER

Výsledkom testovania podľa STN ISO 17123 pri prístroji Topcon GPT – 3005 je stredná chyba merania súradníc X a Y $m_{XY} = 0,0025m$ a stredná chyba merania súradnice Z $m_Z = 0,0038m$. Obe stredné chyby určené na základe postupu podľa predmetnej normy a testované na základe testovacích štatistík potvrdili, že prístroj vyhovuje daným požiadavkám na meranie pre potreby v stavebníctve.

Tak ako na medzinárodnej i na národnej úrovni majú normy svoju nezastupiteľnú úlohu. Ich používanie, preberanie i tvorba sú neodmysliteľnou a nevyhnutnou zložkou v procese technickej realizácie akéhokoľvek výrobku i tovaru. Takýmto tovarom i službou sú i geodetické a kartografické práce a činnosť geodetov a kartografov. Používanie technických noriem i ich tvorba sa stávajú nevyhnutnou súčasťou technickej praxe i v oblasti geodézie a kartografie.

LITERATÚRA

- [1] JEŽKO, J.: Testovanie a kalibrácia geodetických prístrojov z pohľadu technických noriem. In.: Interdisciplinárne aplikácie geodézie, inžinierskej geodézie a fotogrametrie. Bratislava, Katedra geodézie SvF STU, 2008, 10 s., (CD ROM) ISBN 978-80-227-2938-3.
- [2] JEŽKO, J. : Nové technické normy na testovanie geodetických prístrojov v praxi. In: Slovenský geodet a kartograf. - ISSN 1335-4019. - Roč. 15, č. 1 (2010), s. 20-22
- [3] STN ISO 17123-5: 2005 Optika a optické prístroje – Postupy na testovanie geodetických prístrojov. 5. časť: Elektronické tachymetre.
- [4] TURČÁNY, P.: Testovanie geodetických prístrojov podľa ISO 17123. Katedra geodézie SvF STU Bratislava, 2010, DP.