

Počiatkové návrhy optimálnej konfigurácie stanovísk pri aplikácii laserových terestrických skenerov

Michaela Korbašová¹ a Alojz Kopáčik²

Initial Suggestions of Optimal Configuration of Standpoints in the application of Laser Terrestrial Scanners

The aim of this paper is to point at several aspects, which are important by an optimal configuration project of TLS standpoints. The scanning accuracy is influenced by uncertainties in the distance and angle determination as well as by uncertainties resulting from the point transformation into one block. The accuracy measurement analysis at one standpoint anticipates the creation of the mathematical model of the optimal standpoint configuration by the application of TLS. The angle uncertainties (σ_{α}) have been changed step by step to determine the influence of the distance on the 3D point determination by applying of several variants and causes, resulting in the summary 3D graphical interpretation of results by using of B-spline surfaces in the Surfer 8 and Microstation SE software. All analyses were realised for the HDS 2500 terrestrial laser scanner.

In the end of this paper, on a base of the former analyses, suggestions are described how it is possible to locate the suitable scanner standpoint to achieve a required accuracy in the 3D determination of the point position on the scanned object.

Key words: terrestrial laser scanner (TLS), determination of the point position by TLS, accuracy of points determined by TLS, optimal configuration of standpoints by TLS

Úvod

Terestrické laserové skenery (TLS) získavajú v geodézii stále významnejšie miesto. Umožňujú rýchle, pomerne presné a komplexné bezkontaktné priestorové určenie súradníc, priestorové modelovanie, ako aj vizualizáciu ľubovoľných stavebných objektov. Aplikácia TLS predstavuje v súčasnej dobe jednu z najefektívnejších metód priestorového 3D merania a tvorby 3D modelov.

Cieľom článku je na základe rozboru presnosti určenia priestorovej polohy bodu z jedného stanoviska predstaviť a poukázať na viaceré aspekty, ktoré zohrávajú dôležitú úlohu pri návrhu optimálnej konfigurácie stanovísk pre TLS.

Presnosť určenia priestorovej polohy bodu z jedného stanoviska

Pre riešenie danej úlohy je potrebné vychádzať z predpokladu, že TLS pracujú na základe známej priestorovej polárnej metódy, kde z meranej šikmej dĺžky, vodorovného a vertikálneho uhla sú určované priestorové súradnice príslušného bodu. Pre lepšie pochopenie postupu je vhodné odporučiť práce, ktoré sa týkajú základných princípov a postupov pri aplikácii TLS, napríklad (Kašpar et al., 2003; Zámečníková, Kopáčik, 2003).

Na presnosť skenovania vplyva neistota v určení vzdialenosti (σ_s) a uhlov (vodorovného σ_{α} , vertikálneho σ_{β}), ako aj nepresnosti vyplývajúce z transformácie bodov do jedného celku.

Samotnej tvorbe matematického modelu optimálnej konfigurácie stanovísk pri aplikácii TLS predchádza rozbor presnosti merania na jednom stanovisku. V prezentovanom prístupe bol pri postupne menených uhlových charakteristikách (σ_{α}) zisťovaný vplyv vzdialenosti na presnosť určenia priestorovej polohy bodov. Všetky rozbor a analýzy boli vykonané pre terestrický laserový skener HDS 2500 (Obr. 1).



Obr. 1. Laserový kamerový skenovací systém HDS 2500
Fig. 1. HDS 2500 laser camera scanner system

¹ Ing. Korbašová Michaela, Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovenská republika, Tel. + 421 2 59274 391, michaela.korbasova@stuba.sk

² prof. Ing. Kopáčik Alojz, PhD., Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovenská republika, Tel. +421 2 5927 4559, alozj.kopacik@stuba.sk

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 29. 4. 2005)

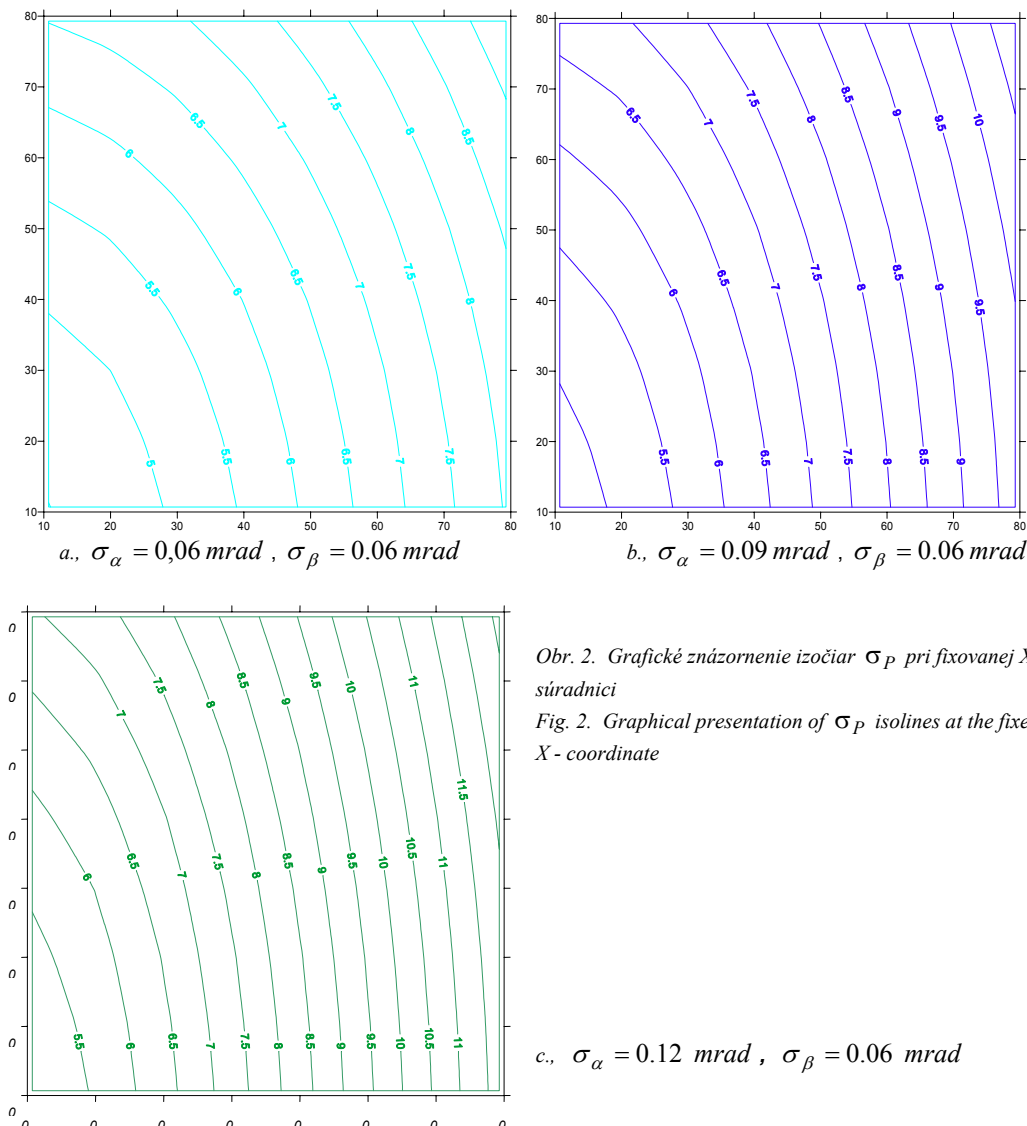
Kamerový systém HDS 2500 sa skladá zo skenera s príslušenstvom a ovládacieho a spracovateľského programu Cyclone. Výrobca udáva presnosť meranej vzdialenosti 4 mm, presnosť horizontálneho a vertikálneho uhla 0.06 mrad a presnosť polohy skenovaného bodu 6 mm pri dĺžke do 50 m (www.cyra.com). Cieľom autorov bolo navrhnuť analýzu na prešetrenie tohoto faktu. Na overovanie presnosti bol použitý súbor bodov simulovaných priestorovou mriežkou s rozmermi 70 m x 70 m x 70 m, s rozstupom rastra 10 metrov. Každá rovina obsahovala spolu 65 bodov. Počiatok miestneho súradnicového systému je v stanovisku skenera.

Pri tvorbe matematického modelu na určenie priestorovej polohy bodu a charakteristík presnosti bol použitý zákon o hromadení stredných chýb v maticovom tvare a súčasne známe postupy teórie odhadov pre druhý lineárny model (Kubáčková et al., 1982). Týmto postupom boli získané charakteristiky presnosti v smere jednotlivých súradnicových osí ($\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$), stredná polohová chyba σ_P a chybový elipsoid pre každý bod mriežky. Pre čo najlepšie vystihnutie priebehu miest s rovnakou polohovou chybou v jednotlivých rovinách (XY, XZ, YZ), bolo realizovaných niekoľko variantov výpočtov.

Variant X predstavoval výpočet pri fixovanej súradnici X, variant Y pri fixovanej súradnici Y a variant Z pri fixovaní súradnici Z.

V rámci každého variantu boli navyše realizované tri rôzne prípady, s postupne menenou uhlovou charakteristikou σ_α .

V prvom prípade boli použité hodnoty vstupných charakteristík presnosti udávané výrobcom (www.cyra.com). V druhom prípade bola hodnota σ_α zvýšená o 50 % a v treťom o 100 %. Cieľom bolo otestovať ako sa zmení presnosť určenia priestorovej polohy bodu vplyvom týchto zmien stredných chýb. Je možné predpokladať, že hodnoty udávané výrobcom nemusia byť pri praktických meraniach reálne dosiahnuteľné, boli skúmané sme tieto zmeny presnosti v polohe bodu. Z hodnôt celkových polohových stredných chýb v rovinách YZ, XZ a XY boli interpolované izočiar (krivky predstavujúce miesta s rovnakou polohovou chybou σ_P) v programovom prostredí Surfer 8.



Obr. 2. Grafické znázornenie izočiar σ_P pri fixovanej X - ovej súradnici

Fig. 2. Graphical presentation of σ_P isolines at the fixed X - coordinate

Grafická interpretácia výsledkov pri fixovaní X-ovej súradnice, ktorú poskytujú obrázky 2a., b., c., Smerom na sever rastie kladná vetva osi Z a smerom na východ osi Y. Z prvých troch obrázkov je zrejmé, že izočiare celkových stredných polohových chýb tvoria výseky elíps, resp. elipsoidov.

Hodnoty stredných polohových chýb σ_p sa pohybujú v rozpätí 4,6 – 9,4 mm pre $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, 4,7 – 10,9 mm pre $\sigma_\alpha = 0,09 \text{ mrad}$ a 5,0 -12,7 mm pre $\sigma_\alpha = 0,12 \text{ mrad}$. Pri fixovaní Y - ovej súradnice sa hodnoty stredných polohových chýb σ_p pohybujú v rozpätí 4,2 – 9,3 mm pre $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, 4,3 – 10,7 mm pre $\sigma_\alpha = 0,09 \text{ mrad}$ a 4,5 – 12,5 mm pre $\sigma_\alpha = 0,12 \text{ mrad}$. Izočiare majú podobný tvar ako pri fixovanej X-ovej súradnici. Posledným prípadom je variant Z. Hodnoty stredných polohových chýb σ_p sa s narastajúcou dĺžkou pohybujú v rozpätí 4,2 – 10,4 mm pre $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, 4,3 – 12,9 mm pre $\sigma_\alpha = 0,09 \text{ mrad}$ a 4,5 – 15,7 mm pre $\sigma_\alpha = 0,12 \text{ mrad}$. V tomto prípade izočiare majú tvar časti kružnice.

Určenie plochy s rovnakou hodnotou strednej polohovej chyby

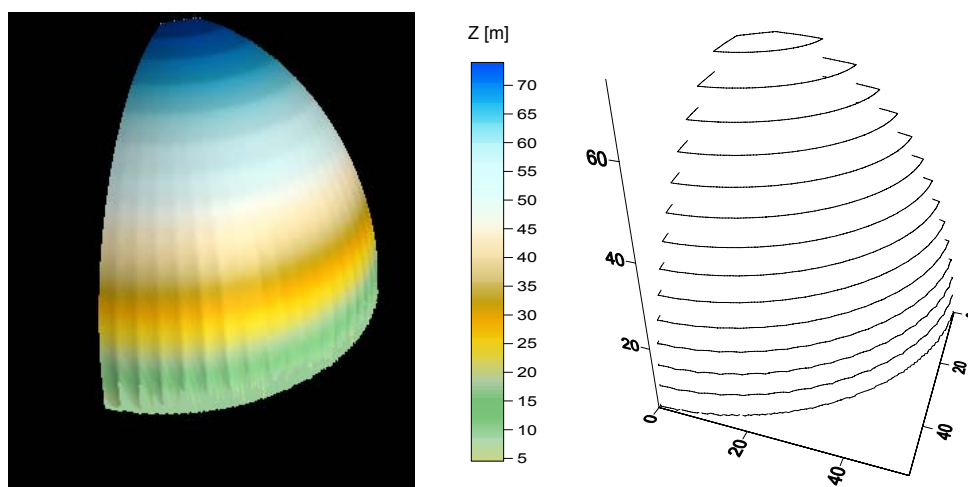
Pre vykreslenie plochy s rovnakou strednou polohovou chybou bolo potrebné určiť súradnice bodov s rovnakou neistotou v polohe bodu, a to 6 mm. Aplikáciou zákona o hromadení stredných chýb a po úpravách vzťahu pre celkovú strednú polohovú chybu dostávame nasledovný vzťah pre dĺžku

$$d = \sqrt{\frac{\sigma_p^2 - \sigma_d^2}{\sin^2 \beta \cdot \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2}}, \quad (1)$$

- kde σ_p je celková polohová chyba,
 σ_α je stredná chyba meraného vodorovného uhla,
 σ_β je stredná chyba meraného vertikálneho uhla,
 β je meraný vertikálny uhol.

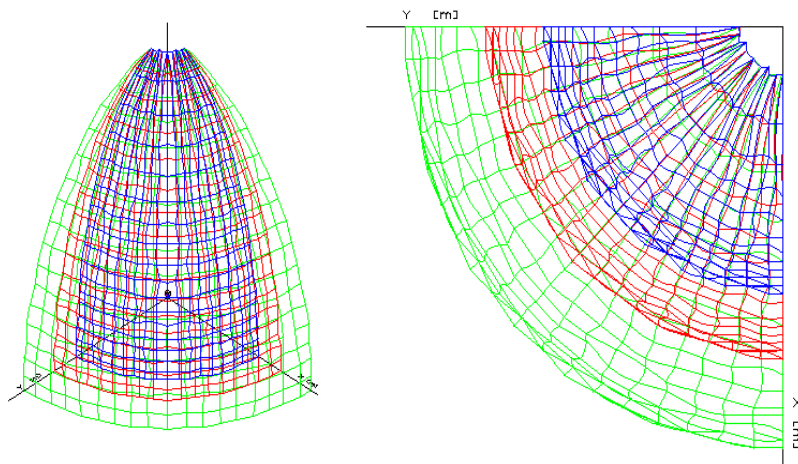
Dĺžky boli určované podľa vzťahu (1), pri postupnej zmene vertikálneho uhla o konštantnú hodnotu 5° a pri konštantnej hodnote $\sigma_p = 6 \text{ mm}$. Z týchto hodnôt boli ďalej určené súradnice bodov, opäť troma prístupmi, pre $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, $\sigma_\alpha = 0,09 \text{ mrad}$ a $\sigma_\alpha = 0,12 \text{ mrad}$.

Vypočítanými množinami bodov s rovnakou neistotou polohy bodov ($\sigma_p = 6 \text{ mm}$) pre volenú strednú chybu horizontálneho uhla ($\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, $\sigma_\alpha = 0,09 \text{ mrad}$, $\sigma_\alpha = 0,12 \text{ mrad}$) sme preložili B-splajnové plochy v programovom prostredí Surfer 8 a pre porovnanie aj pomocou softvéru Microstation SE. Plochy pripomínajú výsek povrchu elipsoidu (obr. 3), (obr. 4).



Obr. 3. Plochy s rovnakou neistotou v polohe bodu - software Surfer 8 (pre $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, $\sigma_\beta = 0,06 \text{ mrad}$)

Fig. 3. Surfaces with the same uncertainty in point position – Surfer 8 software (for $\sigma_\alpha = 0,06 \text{ mrad}$, $\sigma_\beta = 0,06 \text{ mrad}$)



Obr. 4. Plochy s rovnakou neistotou v polohe bodu – software Microstation SE (zelená pre $\sigma_{\alpha}=0,06$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad; červená pre $\sigma_{\alpha}=0,09$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad; modrá pre $\sigma_{\alpha}=0,12$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad)

Fig. 4. Surfaces with the same uncertainty in the point position – Microstation SE software (green for $\sigma_{\alpha}=0,06$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad; red for $\sigma_{\alpha}=0,09$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad; blue for $\sigma_{\alpha}=0,12$ mrad, $\sigma_{\beta}=0,06$ mrad)

Na základe získaných výsledkov je možné odporučiť, aby optimalizácii konfigurácie stanovísk predchádzal takýto rozbor presnosti na jednotlivých stanoviskách. Na základe spomínaných plôch vykreslených z viacerých stanovísk skenera a na základe prienikov týchto plôch (reprezentujúcich miesta, kde je možné určiť priestorovú polohu bodov s rovnakou presnosťou z dvoch susedných stanovísk) bude možné odporučiť vhodné optimálne rozmiestnenie stanovísk TLS.

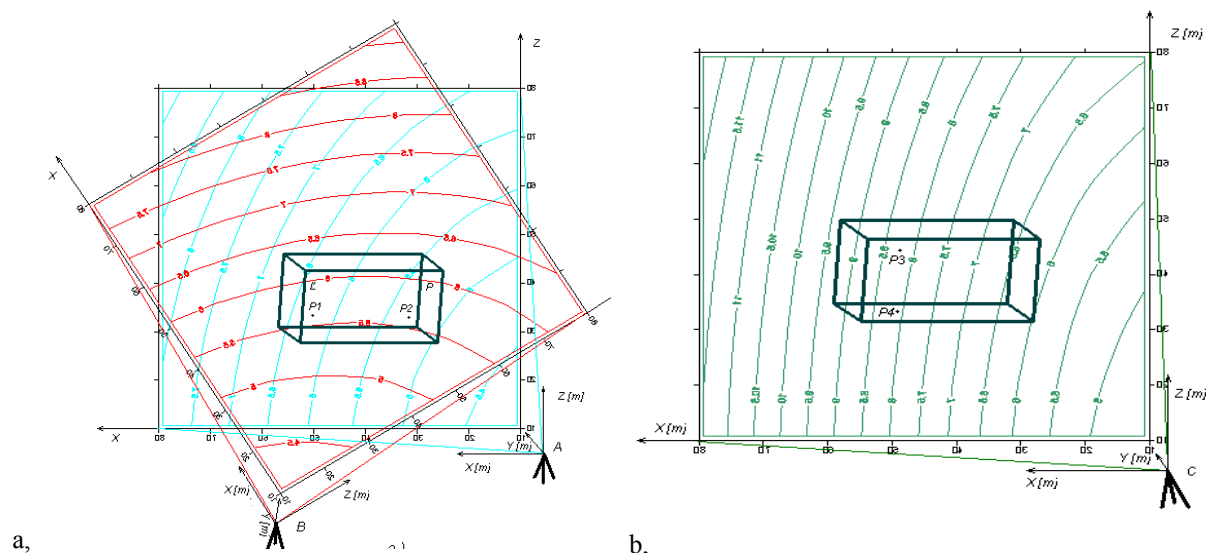
Návrh umiestnenia stanoviska TLS z hľadiska určenia presnosti priestorovej polohy bodu na skenovanom objekte

Na základe predchádzajúcich rozborov je možné venovať sa úvahám o možnom umiestnení stanoviska terestrického laserového skenera z hľadiska určenia presnosti priestorovej polohy bodu na skenovanom objekte. Dôležité je poznamenať, že nakoľko sa všetky doterajšie rozbor presnosti týkali jedného stanoviska skenera, aj nasledujúce úvahy o umiestnení skenera sa týkajú skenovania z jedného stanoviska.

Na obrázku 5a/ je znázornený objekt, snímaný zo stanoviska skenera v bode A (modrý súradnicový systém). Skenovaná je predná fasáda budovy. Pre lepšiu orientáciu je na fasáde objektu zobrazený bod P1 a bod P2, taktiež je písmenami P a Ľ označená pravá a ľavá strana fasády a zároveň sú na obrázku pomocou izočiar znázornené aj miesta s rovnakou strednou polohovou chybou. Z obrázka je zrejmé, že zo stanoviska A bude bod P1 určený s nižšou presnosťou ako bod P2. Teda pravá strana fasády je určená presnejšie ako ľavá. V prípade, že určenie pravej i ľavej strany fasády s rovnakou presnosťou v príslušnej výškovej úrovni, bolo by potrebné stanovisko skenera A premiestniť a natočiť na stanovisko B (červený súradnicový systém). Tak sa dá dosiahnuť, že izočiar stredných polohových chýb by boli približne rovnobežné s prednou fasádou objektu (obr.5a/), a teda ľavá a pravá časť fasády v príslušnej výškovej úrovni bude určená s rovnakou presnosťou.

V rámci doterajších úvah bol riešený problém určenia polohy bodov s rovnakou presnosťou v rámci jednej výškovej úrovne (červený súradnicový systém - body P1 a P2 zo stanoviska B). Je však potrebné zaoberať sa aj prípadom, keď by bolo potrebné určiť polohu bodov s rovnakou presnosťou súčasne na viacerých výškových úrovniach. Z priebehu modrých izočiar – stanovisko A (obr.5a,) alebo na priebeh zelených izočiar – stanovisko C (obr.5b,) je vidieť, že spodná a súčasne horná časť pravej strany fasády je určená s rovnakou presnosťou. Rovnako aj spodná a horná časť ľavej strany fasády je určená s rovnakou presnosťou, hoci pravá a ľavá strana fasády navzájom nie sú určené s rovnakou presnosťou. Predloženú úvahu je možné ľahko dokumentovať pomocou bodov P3 a P4 umiestnených na prednej fasáde objektu (obr. 5b.). Bod P4 nachádzajúci sa v jednej výškovej úrovni (v dolnej časti fasády) je určený s približne rovnakou presnosťou ako bod P3 nachádzajúci sa v inej výškovej úrovni (v hornej časti fasády).

Dôležité je pripomenúť, že všetky doteraz prezentované úvahy sa týkajú jedného stanoviska skenera. V ďalšej odbornej činnosti bude potrebné realizovať rozbor presnosti pre niekoľko stanovísk skenera a následne navrhnúť optimálne rozmiestnenie týchto stanovísk TLS.



Obr. 5. Schematické znázornenie možného umiestnenia stanoviska TLS v závislosti od požadovanej presnosti polohy bodu na skenovanom objekte
 Fig.5. Schematic presentation of possible TLS standpoint location depending on the required accuracy of point position on the scanned object

Záver

Cieľom článku bolo poukázať na viaceré aspekty zohrávajúce dôležitú úlohu pri návrhu optimálnej konfigurácie stanovísk pre TLS.

Výsledkom realizovaných potrebných výpočtov s uvažovaním viacerých variantov a prístupov, je ich prehľadná 3D interpretácia. Neistota v polohe skenovaného bodu ($\sigma_p = 6\text{mm}$) udávanú výrobcom do vzdialenosti 50 m skenovania bola rozborom nielen potvrdená, ale ukázalo sa, že táto vzdialenosť môže byť prekročená až o približne 20 metrov. B-splajnové plochy, preložené cez vypočítané množiny bodov s rovnakou neistotou polohy bodov ($\sigma_p = 6\text{mm}$) pre volenú strednú chybu horizontálneho uhla ($\sigma_\alpha = 0.06\text{mrad}$, $\sigma_\alpha = 0.09\text{mrad}$, $\sigma_\alpha = 0.12\text{mrad}$), pripomínali tvar výseku povrchu elipsoidu. Po vykreslení takto určených plôch z jednotlivých potenciálnych stanovísk skenera je možné dostať prieniky plôch, ktoré vytvárajú oblasti s množinami bodov s rovnakou neistotou v určení ich priestorovej polohy z dvoch susedných stanovísk. Na základe týchto prienikov (oblastí) je možné odporúčať optimálne rozmiestnenia stanovísk TLS. Vieme teda navrhnúť vhodné umiestnenie stanoviska skenera tak, aby bolo možné dosiahnuť požadovanú presnosť v určení polohy bodov na skenovanom objekte.

Z predloženého článku jasne vyplýva, že aplikácia optimalizačných procesov v technológii TLS nebude jednoduchou záležitosťou, a preto ostáva táto problematika aj naďalej otvorená ďalšiemu výskumu.

Článok je publikovaný v rámci riešenia projektu VEGA č. 1/0318/03 podporovaný grantovou agentúrou SR.

Literatúra - References

- Kubáčková, L., Kubáček, L., Kukuča, J.: Pravdepodobnosť a štatistika v geodézii a geofyzike. Bratislava, Veda, 1982, 327 s.
- Kašpar, M. et al.: Laserové skenovací systémy v stavebníctví. Hradec Králové, Vega a.s., 2003, 90 s.
- Zámečníková, M., Kopáčik, A.: Terestrické laserové systémy. In: 11. slovenské geodetické dni, Bratislava, Komora geodetov a kartografov, 2003, s. 1-8.
- www.cyra.com