

## VYUŽITIE VYBRANÝCH GEODETICKÝCH METÓD PRE ZAMERANIE POVRCHOVÝCH BANSKÝCH PREVÁDZOK S CIEĽOM TVORBY ICH 3D MODELOV

Kamil KYŠEĽA<sup>1</sup>, Peter BLIŠŤAN<sup>2</sup>, Ľudovít KOVANIČ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Kamil.Kysela@tuke.sk*

<sup>2</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Peter.Blistan@tuke.sk*

<sup>3</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Ludo.Kovanic@tuke.sk*

### Abstrakt

V súčasnosti existuje množstvo rôznych geodetických metód vhodných na zameranie 3D objektov, ako sú napr. povrchové banské prevádzky. Tieto metódy sa líšia predovšetkým svojimi princípmi, ale aj použitými prístrojmi. Medzi najpoužívanejšie metódy patria tachymetria, GNSS a terestrické laserové skenovanie. GNSS metóda je v súčasnosti najpoužívanejšou metódou pre hromadný zber priestorových dát z dôvodu jej dostačujúcej presnosti a nízkych nákladov. Naopak laserové skenovanie je moderná a populárna metóda ideálne vhodná na presné zdokumentovanie tvaru objektu. Výber vhodnej metódy závisí aj od toho, či je potrebné používať špecializovaný a hlavne drahý softvér na spracovanie výstupov (mračno bodov pri TLS). Použitelnosť týchto metód v podmienkach banských prevádzok bola overovaná pri meraní v lome Sedlice a výsledky sú prezentované v nasledujúcom príspevku.

### Abstract

Nowadays, there is a lot of different methods that are suitable for surveying 3D objects, such as surface mines are. These methods differ mostly in their principles, but also in used apparatuses. Among the most used methods, tachymetry, GNSS and terrestrial laser scanning are. The GNSS method is the one, predominantly used for the mass collection of space data, because of its acceptable accuracy and low costs. On the contrary, the laser scanning is the modern and popular method optimal for the precise documenting of the object's shape. The selection of the suitable method depends on the fact if it is necessary to use the very specialized, but mainly quite expensive software for output processing (cloud of points at TLS). The applicability of these methods in mine works was tested at measurements in the Sedlice quarry, and results are presented in the ensuing paper.

**Kľúčové slová:** tachymetria, GNSS, laserové skenovanie, povrchový lom, 3D model.

**Keywords:** tachymetry, GNSS, laser scanning, quarry, 3D model.

### 1. ÚVOD

Geodézia je technická disciplína, ktorej hlavnou úlohou je okrem iného aj zber priestorových dát o objektoch reálneho sveta. V súčasnej dobe sú na dokumentovanie a zakresľovanie prírodných ale aj antropogénnych objektov do mapy kladené najrôznejšie požiadavky. Hlavne v posledných rokoch sa stále častejšie požaduje nielen polohové ale aj výškové zameranie objektov. Vyjadrenie tretieho rozmeru – výšky je podstatne zložitejší problém ako zobrazenie polohopisu, pretože terén je tvarovo veľmi zložitá plocha. Najčastejšie sa s týmto problémom stretávame v modernej inžinierskej geodézii ale i v archeológii alebo pri tvorbe 3D modelov pre potreby geovedných disciplín. Práve v súvislosti so širokospektrálnym využitím geodetických prístrojov a metód sa v poslednej dobe stretávame s problémom nesprávnej lokalizácie 3D objektov, ako aj s problémami pri tvorbe 3D modelov geoobjektov. Je to v zásade spôsobené neznalosťou použitej meračskej technológie, resp. neznalosťou princípov modelovacích metód. Treba sa preto zamyslieť nad tým, či je vhodné aby činnosti ako je napr. lokalizácia javov pomocou Globálnych navigačných satelitných

systémov (GNSS), či modelovanie priestorových telies mali vykonávať osoby, ktoré nemajú aspoň základné odborné vedomosti a zručnosti.

## 2. VYBRANÉ GEODETICKÉ METÓDY POUŽÍVANÉ PRE ZAMERANIE POVRCHOVÝCH BANSKÝCH PREVÁDZOK

Priestorové dáta o objektoch reálneho sveta môžeme získať z rôznych zdrojov ale na získavanie primárnych údajov sa väčšinou používajú rôzne geodetické metódy. Dôležitým krokom, ktorý by sme si mali premyslieť je voľba vhodnej technológie, pomocou ktorej získame trojrozmerné dáta [7]. Okrem finančnej stránky je potrebné zväziť aj efektívnosť použitej metódy (prístroja) a v neposlednom rade aj jej presnosť.

Klasické geodetické metódy môžeme rozdeliť podľa spôsobu zberu dát do dvoch kategórií [10]:

a) *priame metódy:*

- *kontaktné (nivelácia, tachymetria, GNSS),*
- *bezkontaktné (laserové skenovanie, radar, fotogrametria, DPZ),*

b) *nepriame metódy (napr. digitalizácia).*

V nasledujúcom texte si stručne opíšeme vybrané geodetické metódy, ktoré sa používajú na zber priestorových dát - polohopisu a výškopisu, pre potreby priestorového modelovania povrchových banských prevádzok.

### 2.1. Tachymetria

Klasická tachymetria (optická tachymetria) je relatívne stará, ale efektívna geodetická metóda, ktorá slúži na súčasné určovanie výšky a polohy bodu (X, Y, Z súradnice bodu) v definovanom súradnicovom systéme. V súčasnosti sa princíp tachymetrie (meranie dĺžky, vodorovného a výškového - zenitového uhla naraz pomocou jedného prístroja) využíva v moderných geodetických prístrojoch - univerzálnych meračských staniciach (UMS), ktoré patria asi k najrozšírenejším geodetickým prístrojom. Bod ktorého súradnicu chceme určiť je obyčajne signalizovaný v teréne výtyčkou s odrazovým hranolom. Moderné laserové prístroje (elektronické tachymetre) umožňujú aj bezhranolové meranie čím dokážeme zamerať aj neprístupné body – objekty a určiť tak ich súradnice. Toto je veľký prínos tejto technológie, pretože ponúka vykonanie doposiaľ technicky nerealizovateľných meraní (napr. zameranie morfológie neprístupného skalného brala, dokumentovanie jaskýň či iných podzemných priestorov) [4], [1].

### 2.2. Globálne navigačné satelitné systémy

V poslednej dobe sa asi najčastejšie pri zbere priestorových dát využívajú globálne navigačné satelitné systémy (GNSS). Na určovanie polohy sa používa navigačný systém NAVSTAR GPS. Vďaka sprístupneniu ruského systému GLONASS a vývoju nových prijímačov, ktoré vedú súčasne spracovať signál z viacerých navigačných systémov sa začalo týmto technológiám hovoriť globálne navigačné satelitné systémy. Výrazné zlepšenie služieb GNSS technológie, ako aj zvýšenie jej presnosti pre civilné účely mal priniesť plánovaný európsky systém GALILEO. Jeho spustenie však mešká kvôli technickým a finančným problémom. Aktívna prevádzka systému GALILEO by mala začať pravdepodobne v roku 2019 [9].

Na určovanie súradníc objektov pomocou GNSS sa používa niekoľko rôznych presných metód, ale všeobecne platí, že pri GNSS meraniach sú horizontálne súradnice (X, Y) vždy určené s vyššou presnosťou ako vertikálna súradnica (Z). Je to dané princípom tejto metódy. Presnosť určenia súradníc ovplyvňuje predovšetkým počet dostupných družíc a ich vzájomná poloha, čo je v našich zemepisných šírkach a dĺžkach občas problém [3], [8], [9].

### 2.3. Laserové skenovacie systémy

Laserových skenovacích systémov existuje v súčasnosti celý rad. Líšia sa fyzikálnymi princípmi, technickými parametrami, účelom a nasadením. V geodézii sa najčastejšie využívajú terestrické laserové skenovacie

systémy - TLS. Systémy TLS poskytujú v súčasnosti najprogressívnejší a najefektívnejší spôsob zberu veľkého množstva priestorových údajov s cieľom vytvorenia digitálneho 3D modelu terénu, objektov alebo uzavretých priestorov. Spôsob merania vychádza z princípov univerzálnych meračských staníc, teda na určenie priestorovej polohy bodu (súradnice X, Y, Z) sa využíva polárna metóda [1].

Využívanie laserových skenovacích systémov na mapovanie rôznych povrchových ale aj podzemných objektov zaznamenalo v posledných rokoch veľký rozmach. Je to predovšetkým vďaka tomu, že táto technológia umožňuje v relatívne krátkom čase detailne zmapovať povrchy aj relatívne veľkých objektov (nepristupné skalné bralo, povrchový lom, tunel, banské dielo, budova, pivnica a pod.) [2] [5] [6].

### 3. VYUŽITIE VYBRANÝCH GEODETICKÝCH METÓD PRE ZAMERANIE ŤAŽOBNEJ STENY V LOME SEDLICE

Terénny zber priestorových dát, teda určovanie priestorových súradníc a prípadne i ďalších atribútov je technicky a odborne náročný proces. Chyby vzniknuté v tomto štádiu riešenia výskumného projektu sa prenášajú do všetkých ďalších fáz riešenia a negatívne tak ovplyvnia všetky výsledky a závery. Z týchto dôvodov je veľmi dôležitá aj fáza prípravy na zber dát (štúdium metód zberu dát) a následná voľba metódy zberu dát. Voľba metódy zberu dát závisí predovšetkým na:

- konkrétnej úlohe, ktorá má byť riešená,
- veľkosti lokality (objektu), ktorá má byť zmapovaná,
- prístupnosti územia (objektu),
- požadovanej presnosti získaných dát,
- dobe, ktorá je určená na zber dát.

Výber metódy by mal vychádzať tiež z dobrej znalosti vlastností a možností jednotlivých metód pre zber dát, ich silných a slabých stránok. No a v neposlednom rade je dôležitým ukazovateľom aj finančné hľadisko, čiže celkové náklady potrebné na zber dát danou metódou.

Geodetické metódy opísané v kapitole 2, ako metódy vhodné na zber dát pre potreby 3D modelovania povrchových banských prevádzok, je možné vzájomne kombinovať, čo je veľmi účelné, pretože nevýhody jednej vykompenzuje svojimi prednosťami iná. Okrem uvedených geodetických metód existujú ešte aj iné metódy na zber priestorových dát, ako napr. nivelácia či klasická tachymetria, ale tieto nie sú pre zameranie nášho záujmového objektu vhodné.

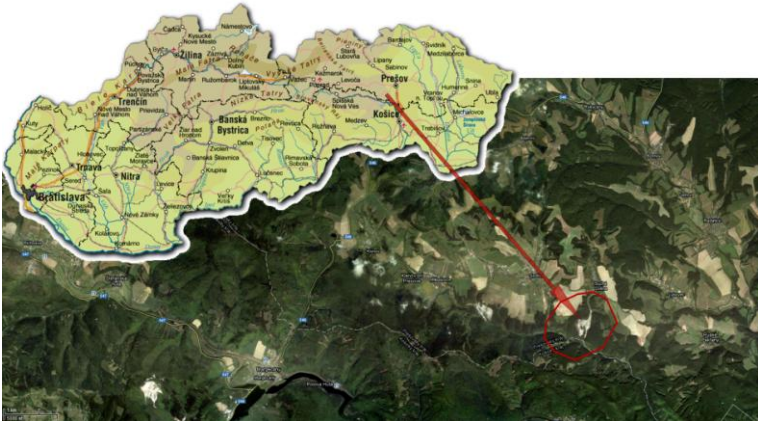
Cieľom realizovaného výskumu bolo overiť technické možnosti najmodernejších geodetických prístrojov a overiť možnosti vybraných geodetických metód pri zbere priestorových dát s cieľom zhodnotiť ich vhodnosť z viacerých hľadísk, a to predovšetkým z pohľadu:

- presnosti merania, ktorá je daná presnosťou použitého prístroja a samotnej metódy,
- rýchlosti zberu dát,
- náročnosti na pracovanie získaných dát.

#### 3.1. Popis záujmovej lokality

Na prezentovanie možností a použiteľnosti vybraných geodetických metód bola ako modelový príklad zvolená ťažobná - lomová stena v lome Sedlice (obr. 1, 2 a 3). Ložisko dolomitu Sedlice sa nachádza v extraviláne katastrálneho územia obce Sedlice, približne 1 km od obce Suchá. Lom je sprístupnený panelovou cestou napojenou na štátnu cestu III. triedy pred obcou Suchá Dolina v smere od obce Ľubovec. Banské činnosti, ktoré prebiehajú na území v plošnom rozsahu 314 912 m<sup>2</sup>, sa začali realizovať v roku 1982. Základné rozmery dobývacieho priestoru sú 700 m x 500 m. Báza ložiska je určená vo výške 400 m n.m. a najvyšším bod má úroveň 501,5 m n.m. Dobývací priestor lomu Sedlice je pod správou spoločnosti VSK Mineral s.r.o. v Košiciach.

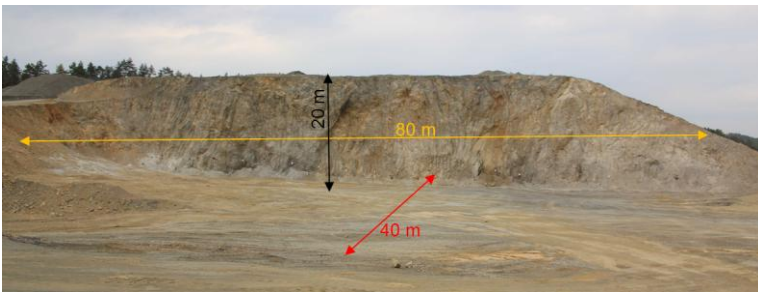
Povrch zvolenej lomovej steny (obr. 3) predstavuje relatívne nepravidelné teleso s rozmermi 80 m (dĺžka) x 40 m (šírka) x 20 m (výška). Jej zameranie bolo realizované všetkými geodetickými metódami, opísanými v kapitole 2.



Obr. 1. Geografická pozícia záujmovej oblasti - lom Sedlice.



Obr. 2. Lom Sedlice.



Obr. 3. Ťažobná - lomová stena v lome Sedlice.

### 3.2. Zber a spracovanie dát

Zameranie objektu - lomovej steny bolo realizované 24. 9. 2012 v doobedňajších hodinách za ideálnych poveternostných podmienok. Lomová stena bolo zameraná pomocou uvedených troch metód využitím nasledujúcich prístrojov:

- GNSS prístroj Leica GPS 900 CS (obr. 4),
- univerzálna meračská stanica Leica FlexLine TS 02 (obr. 5),
- 3D laserový skener Leica ScanStation C 10 (obr. 6).



Obr. 4. GNSS prístroj Leica GPS 900 CS.



Obr. 5. Univerzálna meračská stanica Leica FlexLine TS 02.



Obr. 6. 3D laserový skener Leica ScanStation C 10.

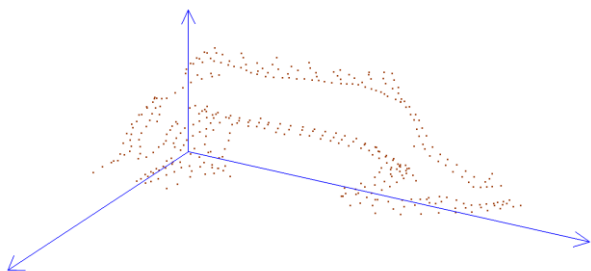
Pre potreby zamerania objektu bola vybudovaná meračská sieť podrobných bodov, ktoré slúžili ako stanoviská prístrojov, resp. orientácie. Body boli stabilizované dočasným spôsobom a zamerané metódou GNSS. Ich súradnice X a Y boli určené v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej - S-JTSK a Z súradnica vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní - Bpv.

Lomová stena bola postupne zameraná každou z vybraných geodetických metód a získané výsledky boli následne spracované pomocou softvérového vybavenia Leica GEO Office [11], resp. v programe RealWorks [12]. Celkovo bolo na lomovej stene zameraných metódou:

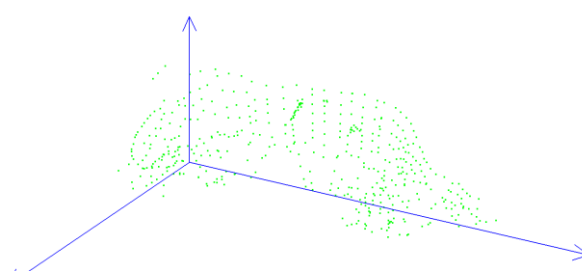
- GNSS 389 bodov,
- elektronickej tachymetrie s využitím UMS 467 bodov,
- terestrického laserového skenovania cca 2 000 000 bodov.

### Zameranie objektu GNSS prístrojom Leica GPS 900 CS

GNSS zameranie lomovej steny bolo vykonané pomocou prijímača Leica GPS 900 CS použitím RTK metódy. Body na stene (hrana a päta steny) boli zamerané v pravidelnom intervale cca 3-5 m a úroveň etáží bola meraná v sieti cca 5x5 m. Výrazné morfológické zmeny boli zdokumentované hustejším počtom bodov, tak aby sa čo najlepšie vystihli tvarové charakteristiky objektu. Samotná stena - jej zvislá časť nebola zameraná, preto že takéto zameranie nie je možné realizovať GNSS metódou. Celkovo bolo zameraných 389 podrobných bodov (obr. 7).



Obr. 7. Body zamerané použitím GNSS.



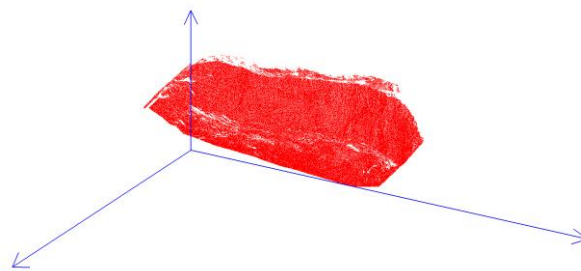
Obr. 8. Body zamerané použitím UMS.

### Zameranie objektu elektronickým tachymetrom Leica FlexLine TS 02

Zameranie lomovej steny tachymetriou bolo vykonané pomocou univerzálnej meračskej stanice Leica FlexLine TS 02 bezhranovým zameraním podrobných bodov na samotnej stene, na úrovni etáží ako aj bodov na hrane a päte steny. Body na záujmovom objekte (hrana a päta steny, samotná stena a etáže) boli zamerané z jedného stanoviska v pravidelnej sieti cca 3x3 m a úroveň etáží bola meraná v sieti cca 5x5 m. Výrazné morfológické zmeny na stene boli taktiež zdokumentované hustejším počtom bodov, tak aby boli dobre zachytené tvarové charakteristiky objektu. Celkovo bolo zameraných 467 podrobných bodov (obr. 8).

### Zameranie objektu terestrickým laserovým skenerom Leica ScanStation C 10

Zameranie objektu pomocou TLS Leica ScanStation C10 bolo realizované z jedného stanoviska. Skener bol nastavený na skenovanie s hustotou bodov cca 5x5 cm pri vzdialenosti 80 m. Výsledkom merania bolo mračno s počtom cca 2 000 000 bodov. Tento súbor bol ďalej editovaný pomocou softvéru Leica Cyclone. Následne boli body v súbore redukované na hustotu 10x10 cm. Celkovo ostalo v dátovom súbore po úprave, orezaní a vypustení prebytočných bodov cca 165 000 podrobných bodov (obr. 9).



Obr. 9. Body zamerané použitím terestrického laserového skenera.

**3.3. Zhodnotenie vhodnosti, presnosti a efektívnosti použitých geodetických prístrojov a metód****3.3.1. GNSS**

Aparatúry GNSS je možné v zásade rozdeliť na dve skupiny: ručné a klasické – geodetické. Použitá GNSS aparatúra Leica GPS 900 CS patrí do skupiny geodetických prístrojov (tab. 1). Pri meraní v teréne sa meracia stanica pripája na viaceré GNSS systémy (GPS, GLONASS). Na spresnenie merania v reálnom čase sa využíva systém permanentných referenčných staníc. Na území Slovenskej republiky sú dvaja poskytovatelia týchto služieb a to GKÚ Bratislava a spoločnosť GEOTECH Bratislava. Títo poskytovatelia umožňujú získanie korekcií potrebných pre spresnenie GNSS meraní pomocou sietí svojich permanentných referenčných staníc [13].

Zber dát využitím GNSS prístroja Leica GPS 900 CS pri meraní v RTK je pomerne rýchly a relatívne lacný spôsob zberu 3D dát. Získané priestorné údaje sú však oproti ďalším dvom použitým prístrojom zaťažené najväčšou chybou. Deklarovaná presnosť RTK metódy využitím služby SKPOS je v horizontálnom smere 2 cm a vo vertikálnom smere 4 cm.

Tab. 1. Technické parametre GNSS Leica GPS900CS [13].

<b>Všeobecne</b>	
Prijímač	ATX900 GG prijímač
Technológia	SmartTrack+
Typ	Dvojfrekvenčný GNSS geodetický RTK prijímač
<b>Meranie</b>	
Módy merania	Statický, rýchly statický, kinematický On the fly, L1+L2, kódové, fázové, RTK metóda, post processing, DGPS/RTCM štandard Rôzne geodetické merania, vytyčovacie merania pomocou RTK
Kanály	14 L1 + 14 L2 GPS/WAAS/EGNOS 12 L1 + 12 L2 GLONASS
SmartCheck	Inicializácia okolo 8 sek., dosah RTK – 50 km aj viac
<b>Presnosť</b>	
Presnosť RTK	Horizontálna (kinematická): 10 mm + 1 ppm, Vertikálna (kinematická): 20 mm + 1 ppm, Spôľahlivosť 99,99% pre základnice do 50 km
Postprocessing s Leica GeoOffice	Horizontálna (statická): 5 mm + 0,5 ppm, Vertikálna (kinematická): 10 mm + 0,5 ppm,

Proces merania podrobných bodov je veľmi jednoduchý. Jeho dĺžka je priamo úmerná počtu bodov ktoré chceme zmerať. Proces zberu dát prebieha nasledovne:

- **Zameranie podrobných bodov.** Je závislé na konfigurácii terénu, množstve meraných bodov, generalizácii a pod. Meranie jedného bodu trvá cca 3 - 5 sekúnd a k tomuto času je potrebné pripočítať aj čas na presun na ďalší bod. Rádovo sa teda jedná o desiatky sekúnd, ktoré potrebujeme na zameranie jedného bodu. Merané body majú nasledujúce parametre: súradnice x, y v JTSK03 a nadmorskú výšku z v Bpv získanú prevodom elipsoidickej výšky pomocou Digitálneho referenčného výškového modelu.
- **Spracovanie meraní.** Namerané údaje sa vyexportujú z prístroja ako dátový súbor a pokiaľ nepotrebujeme merania spracovať aj v režime post-procesingového spracovania, tak ich môžeme rovno použiť na tvorbu mapy, modelu a pod. v CAD systéme.

**3.3.2. UMS**

Pomocou univerzálnych meračských staníc je možné získať súčasne veľmi presné dáta o polohe a výške určených bodov. Časová náročnosť priamych terénnych meraní býva v zásade vyššia ako pri GNSS. UMS Leica FlexLine TS02 je ideálnym prístrojom pre všetky typy úloh, kde sa nevyžaduje vysoká presnosť (tab. 2), ale skôr rýchlosť merania a jednoduchosť ovládania.

Ako už bolo spomenuté, UMS využíva pri meraní polohy a výšky bodov polárnu metódu. Presnosť merania polohy bodu polárnou metódou je určená vzťahom pre strednú polohovú chybu:

$$m_p^2 = \sin^2 z \cdot m_s^2 + s^2 \cdot \cos^2 z \cdot \left(\frac{m_z}{\rho}\right)^2 + s^2 \cdot \sin^2 z \cdot \left(\frac{m_w}{\rho}\right)^2,$$

kde:  $s$  – šikmá dĺžka,  $z$  – zenitový uhol,  $m_w$  – stredná chyba meraného smeru,  $m_z$  – stredná chyba meraného zenitového uhla,  $m_s$  – stredná chyba meranej dĺžky.

Presnosť merania výšky bodu je určená vzťahom pre strednú chybu trigonometrického určenia výšok:

$$m_h^2 = \cos^2 z \cdot m_s^2 + s^2 \cdot \sin^2 z \cdot \left(\frac{m_z}{\rho}\right)^2,$$

kde:  $s$  – šikmá dĺžka,  $z$  – zenitový uhol,  $m_z$  – stredná chyba meraného zenitového uhla,  $m_s$  – stredná chyba meranej dĺžky.

Pre najvzdialenejšie merané body od stanoviska predpokladáme hodnoty  $s=40m$ ,  $z=80^\circ$  a vypočítané apriórne stredné chyby meračskej metódy  $m_p=1,0mm$  a  $m_h=0,3mm$ . Po zohľadnení strednej chyby prechodného stanoviska v polohe aj výške je presnosť určenia polohy a výšky meraných podrobných bodov charakterizovaná strednými chybami:

- poloha - stredná súradnicová chyba  $m_{XY} \leq 25mm$ ,
- výšky - stredná chyba učenia výšky  $m_z \leq 40mm$ .

Tab. 2. Technické parametre Leica FlexLine TS 02 [14].

<b>Uhlové meranie (Hz, V)</b>	
Presnosť	7"
Kompenzácia	"štvorosá" uhlová kompenzácia
<b>Meranie dĺžok s hranolom</b>	
Dosah	3.500 m
Presnosť	Presne+: 1.5 mm+2.0 ppm, Presne Rýchlo: 3.0 mm+2.0 ppm, Tracking: 3.0 mm+2.0 ppm
Štandardný čas merania	1.0 s
<b>Meranie dĺžok bez hranola</b>	
Dosah	> 400 m
Presnosť	2 mm+2 ppm
Veľkosť laserovej stopy	Na 30 m: 7 x 10 mm; Na 50 m: 8 x 20 mm
<b>Ukladanie dát/ Komunikácia</b>	
Vnútoraná pamäť	Max.: 24'000 pevných bodov, max.: 13'500 meraní
Rozhrania	Sériové (Baudrate 1'200 až 115'200)
Formáty dát	GSI / DXF / LandXML / CSV / užívateľom definovateľné ASCII formáty
<b>Klávesniaca a Displej</b>	
Klávesnica a displej	Základná klávesnica s čierno-bielym grafickým displejom, 160 x 288 pixelov, podsvietený displej,
Displej v polohe	Poloha I, Poloha II
<b>Laserová olovnica</b>	
Typ	Laserový bod, 5 úrovní intenzity laserového lúča
<b>Prevádzka</b>	
Pracovná teplota	-20° C až +50° C (-4° F až +122° F) Arktická verzia -35° C až 50° C (-31° F až +122° F)

Pri použití UMS sa proces zberu dát skladá z niekoľkých častí:

- **Tvorba bodového poľa** (polygóny, rajóny, voľné stanoviská). Líši sa množstvom bodov, ktoré je potrebné stabilizovať pre zameranie objektu a okrem tvaru a veľkosti meraného telesa závisí aj od členitosti územia, charakteru vegetácie a pod.. Proces tvorby základného bodového poľa trvá rádovo hodinu až niekoľko hodín (v závislosti od počtu potrebných bodov).
- **Zameranie podrobných bodov**. Záleží na konfigurácii (členitosti) terénu, množstve meraných bodov, generalizácii, počte a skúsenostiach figurantov. Vlastné meranie jedného bodu trvá cca 5 - 10 sekúnd, ku ktorým musí byť pripočítaný čas na presun a urovnávanie odrazového hranolu na ďalšom bode. Rádovo sa

teda jedná o desiatky sekúnd na jeden bod. V prípade použitia bezhranolovej technológie je čas výrazne kratší a vrátane cielenia na bod trvá cca 10 sekúnd.

- **Spracovanie meraní.** UMS umožňujú výpočet súradníc bodov priamo v prístroji pomocou integrovaného výpočtového softwaru - v tom prípade sa vykoná iba prenos výsledného súboru do PC. Tento proces trvá niekoľko minút.

### 3.3.3. Laserové skenovacie systémy

Laserové skenovanie je jedna z najrýchlejšie rozvíjajúcich sa oblastí za posledných 5 rokov a jej využitie si našlo široké uplatnenie aj v oblastiach geodézie, kde je objektom záujmu detailné dokumentovanie povrchu objektov prípadne terénu. Čo sa týka polohovej a výškovej presnosti, sú výsledky tejto metódy postačujúce pre detailné dokumentovanie blízkych telies, kde pri malých vzdialenostiach sa chyba pohybuje rádovo v mm. Pri vzdialenostiach niekoľko 100 m je chyba rádovo v cm. Leica ScanStation C10 patrí k svetovo najobľúbenejším laserovým skenerom, ktorý v sebe obsahuje všetko v jednom kompaktnom celku (tab. 3) [15].

Tab. 3 Technické parametre TLS Leica ScanStation C10 [15].

<b>Všeobecné</b>	
Typ prístroja	Kompaktný, pulzný, dvojoso vo kompenzovaný, dobrý dosah a zorné pole, vysokorýchlostný.
Ovládanie	Pomocou dotykového displeja, notebookom, alebo tabletom PC.
Ukladanie	Integrovaný hardisk, možné pripojenie externých USB zariadenie
<b>Presnosť</b>	
Polohová	6 mm
Vzdialenosť	4 mm
Uhol (H/V)	60 µrad / 60 µrad
Model. povrch/šum	2 mm
Automat. určenie stredu terča	2 mm (str. chyba)
<b>Laserový systém</b>	
Typ/trieda lasera	Pulzný laser/3R (IEC 60825-1), zelená vlnová dĺžka = 532nm
Dosah	300 m@90%; 134 m@18% (min. vzdialenosť 0,1 m)
Rýchlosť skenovania	50 000 bodov/sekundu, max. nepretržitá rýchlosť
Zorné pole	H - 360° (max.); V – 270° (max.); cielenie - bez paralaxy
Skenovacia optika	Vertikálne rotujúce zrkadlo na horizontálnej rotačnej báze (Smart X – Mirror™), automaticky rotuje

Podobne ako pri UMS aj pri použití TLS sa doba pre získanie dát skladá z častí ako:

- **Tvorba bodového poľa** – podobne ako pri UMS.
- **Zameranie podrobných bodov.** Tento proces je podstatne rýchlejší ako pri UMS, vzhľadom na to že TLS vykonávajú proces zamerania bodov automaticky. Celý proces zamerania mračna bodov tak trvá iba rádovo niekoľko minút až desiatok minút a to v závislosti od zvolenej hustoty mračna bodov.
- **Spracovanie meraní.** Proces spracovania výsledkov TLS je veľmi náročný a vyžaduje predovšetkým dobré znalosti spracovateľského softwaru. V tomto software s vykonáva primárne spracovanie nameraných dát a ich export do výstupného súboru bodov. Tento proces trvá aj niekoľko hodín. Potom nasleduje proces modelovania v profesionálnych CAD softwaroch, ktoré sú schopne spracovať mračno bodov v počte niekoľkých miliónov bodov a vymodelovať z neho merané objekty.

### 3.3.4. Vplyv chýb na výsledky merania

V procese merania vždy zákonite vznikajú rôzne chyby. Obmedzovaním chýb napr. využitím presnejšieho prístroja môže znížiť ich vplyv, a tak zvýšiť presnosť meraní. Premennivé vplyvy určujú číselne výsledok meraní, ktorý je v určitých medziach náhodnou (ľubovoľnou a nepredvídateľnou) veličinou. Rozdielnosť výsledkov meraní vychádza z fyzikálnej podstaty prostredia, spôsobu a kvality prevedenia merania. Pri meraní a jeho spracovaní je hľadaná najspoľahlivejšia hodnota výsledku meraní, odhadovaná presnosť a medze jej spoľahlivosti.



Treba si uvedomiť, že meraním či spracovaním meraní nikdy nezískame skutočnú hodnotu veličiny, vždy sa jedná iba o odhad, respektíve meranie zaťažené chybou. Z týchto dôvodov chyby rozdeľujeme na:

- *omyly a hrubé chyby* - sú viditeľné na prvý pohľad, opakovaním meraní sa odhalia a odstránia,
- *nevyhnutné chyby*,
  - a) *systematické chyby* - systematicky sústavne ovplyvňujú výsledky opakovaných meraní zavádza sa závislosť na určitej príčine. Potlačenie - kalibrácia a rektifikácia prístrojov, správna metodika meraní, vrátane nezávislých kontrol.
  - b) *náhodné* - jednotlivé nemajú zákonitosti vo väčších súboroch majú štatistické zákonitosti

Pre náhodné chyby merania môžeme formulovať tzv. *zákon hromadenia stredných chýb*, ktorý vyjadruje strednú chybu funkcie  $Fm(l_1, l_2, \dots, l_n)$  ako funkciu stredných chýb merania:

$$Fm^2 = \alpha_1^2 m_1^2 + \alpha_2^2 m_2^2 + \alpha_n^2 m_n^2$$

kde:  $m_1, m_2, \dots, m_n$  sú stredné chyby meraných hodnôt,  $\alpha$  je riziko spoľahlivosti pre medzné hodnoty.

Je možné konštatovať, že voľbou primeraných prístrojov, pomôcok a technológie merania vytvárame podmienky na splnenie vyžadovanej presnosti merania. Presnosť merania môžeme určiť len vtedy, ak sa jednotlivé veličiny odmerajú nezávisle viackrát, alebo sa odmeria viac veličín, než je nutné na riešenie danej úlohy (nadbytočné merania). Existencia opakovaných (nadbytočných) meraní nám umožňuje vyrovnáť merania metódami vyrovnávacieho počtu a v konečnom dôsledku tak eliminovať negatívny vplyv chýb na výsledky merania.

## ZÁVER

Prezentované metódy zberu 3D údajov pre potreby banskej praxe majú svoje jednoznačné výhody ale aj významné nevýhody. Pri výbere najvhodnejšej metódy pre geodetické zameranie konkrétneho objektu v konkrétnych podmienkach je potrebné sledovať celý rad parametrov, ktoré vstupujú do procesu rozhodovania. Hlavnými kritériami tohto procesu sú vždy:

- účel, pre ktorý majú byť výsledné merania použité,
- presnosť a podrobnosť výsledného modelu,
- časová náročnosť merania a získania výsledkov,
- finančná dostupnosť technológie,
- rozsah dokumentovaného územia,
- vlastné technické možnosti.

Sumarizáciou poznatkov prezentovaných v tomto príspevku môžeme dôjsť k záverom, že GNSS metóda je v súčasnosti najpoužívanejšou metódou pre hromadný zber priestorových dát a to práve pre jej relatívne nízke náklady a postačujúcu presnosť získaných priestorových súradníc. Naopak terestrické laserové skenovanie je ideálne na presné zdokumentovanie tvaru objektu (budova, skalný útvar) a prípadné monitorovanie jeho pretvorenia (deformácie telesa, erózia a pod.) ale obstarávacie náklady sú veľmi vysoké a zvládnutie práce so skenerom a spracovateľským software si vyžaduje skúseného odborníka. Medzi klasické metódy dosahujúce dobré výsledky sa zaraďuje tachymetria využívajúca UMS. Presnosť tejto technológie výrazne prevyšuje GNSS a jej cena sa v posledných rokoch stále znižuje. Moderné robotizované UMS sa svojím výkonom (vďaka bezhranlovej technológii merania dĺžok) začínajú približovať TLS, pričom ich cena je oproti TLS výrazne nižšia.

Z pohľadu rýchlosti zberu údajov a potreby ďalšieho spracovania nameraných údajov sa ako najefektívnejšie javia GNSS a tachymetria s využitím UMS. Takto namerané údaje je možné po vyexportovaní z prístroja takmer bez úpravy rovno použiť pre ďalšie spracovanie v CAD systémoch.

**PodĎakovanie**

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/0887/11.

**Literatúra - References**

- [1] CEBECAUER, D. - BITTERER, L. - ŠTUBŇA, J. - HODAS, S.: Inžinierska geodézia v dopravnom staviteľstve. Vysokoškolská učebnica, Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, 1998.
- [2] HARMAN, P. - ŠIMČÁK, M. - KOVANIČ, Ľ.: 3D vizualizácia vínnych pivníc v CAD prostredí. In: Juniorstav 2012 : 14. odborná konferencia doktorského studia : zborník anotácií : Brno, 26.1.2012. - Brno : VUT, 2012 P. 1-10. - ISBN 978-80-214-4393-8
- [3] HEFTY, J - HUSÁR, L.: Globálny polohový systém. Bratislava: STU, 2003. 186s. ISBN 80-227-1823-8.
- [4] KOVANIČ, Ľ. - BAKOŠOVÁ, K.: Profilové meranie podzemných priestorov laserovými dĺžkomermi. In: Aktuální problémy důlního měřictví a geologie. - Ostrava : VŠB TU, 2002 P. 39.
- [5] PUKANSKÁ, K. - BARTOŠ, K. - GREIF, V. - VLČKO, J.: Laserové skenovanie skalného podložia hradu Gýmeš a inžiniersko-geologické posúdenie stability horninového podložia. Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2012. 7. vedecko-odborná medzinárodná konferencia : zborník článkov : 24. - 25.október 2012, Tatranská Lomnica, Slovensko. - Košice : TU, FBERG, 2012 S. 1-8. - ISBN 978-80-553-1173-9
- [6] PUKANSKÁ, K. - SABOVÁ, J. - RUSNÁKOVÁ, K. - GAJDOŠÍK, J.: Využitie terestrického laserového skenovania pri zisťovaní morfológických zmien terénov. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum. Vol. 15, no. 3 (2008), p. 28-31. - ISSN1210-7697
- [7] STAŇKOVÁ, H. - ČERNOTA, P.: A Principle of Forming and Developing Geodetic Bases in the Czech Republic. Geodesy and Cartography, Vilnius: Technica, 2010, Vol.36, No.3 p. 103-112, ISSN 1392-1541
- [8] VILLIM, A. - HODAS, S. - STAŇKOVÁ, H.: Spoločné spracovanie družicových a terestrických meraní v priestorovej sieti pre dopravnú infraštruktúru. Civil and Environmental Engineering, CEE/SEI SvF ŽU v Žilíně, December 2011, vol. 7<sup>th</sup>/7, issue 2/2011, str. 126-138, ISSN 1336-5835
- [9] VITÁSKOVÁ, J. - STAŇKOVÁ, H.: Návod na měření s GPS. MZLU v Brně, VŠB-TU Ostrava, Brno 2004, ISBN 80-7157-828-2
- [10] www.1: Digitální modely terénu. Učební text. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2010, 64 s. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <<http://gis.fzp.ujep.cz/DTM/3d.pdf>>
- [11] www.2: Leica Geo Office Online Help. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <[http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO\\_80\\_Help\\_en.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO_80_Help_en.pdf)>
- [12] www.3: Trimble RealWorks. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.trimble.com/survey/realWorks.aspx>>
- [13] www.4: Leica GPS 900CS. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.geotech.sk/Produkty/GPS-GNSS/GPS-900CS.html>>
- [14] www.5: Leica FlexLine TS 02. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <[http://www.geotech.sk/downloads/Totalne-stanice/FlexLine\\_TS02\\_Datasheet\\_en.pdf](http://www.geotech.sk/downloads/Totalne-stanice/FlexLine_TS02_Datasheet_en.pdf)>
- [15] www.6: Leica ScanStation C 10. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na internete: <[http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skeneryHDS/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_Brochure\\_en.pdf](http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skeneryHDS/Leica_ScanStation_C10_Brochure_en.pdf)>