

PRÍKLAD MONITOROVANIA STABILITY LOMOV VYUŽITÍM LASEROVÉHO SKENOVANIA

THE EXAMPLE OF MONITORING OF OPEN PIT MINES STABILITY USING LASER SCANNING

Peter Blišťan¹, Ľudovít Kovanič²

Abstrakt

Cieľom tohto príspevku je poukázať na špecifiká a použiteľnosť terestrických laserových skenovacích systémov v podmienkach banskej prevádzky, resp. v procese monitorovania stability lomových stien. V posledných rokoch sa začali laserové skenery testovať a využívať aj na dokumentáciu geologických štruktúr a javov ako sú napr. zosuvy, skalné zrútenia a pozorovanie ich morfológických zmien. Práve oblasti monitorovania morfológických zmien skalného masívu – lomovej steny sa venuje tento článok. Predmetom výskumu bola lomová stena v kameňolome Brestov, na ktorej je výrazný lavicovitý až blokový rozpad andezitového masívu a dochádza na nej k padaniu uvoľnených skalných blokov. Stena bola opakovane na jeseň a na jar meraná terestrickým laserovým skenerom a boli vyhodnotené pohyby skalných blokov. Z výsledku pozorovania vyplýva, že neboli pozorované žiadne významné pohyby a ani zrútenia blokov a stena je po zimnej odstávke lomu stabilná.

Abstract

The aim of this paper is show the specifics and applicability of terrestrial laser scanning systems in mining operation, respectively in the stability monitoring process of pit slopes. In recent years, started laser scanners tested and used for the documentation of geological structures, namely landslides, rock collapse and observation of morphological changes. This article is dedicated to the monitoring of morphological changes in the rock massif - pit slopes. The subject of research is pit slopes in open pit mine Brestov, which is characterized by a strong block decay of andesite massive and release of rock blocks. The results show that there are no significant movements and even collapse and block wall is the winter shutdown stable.

Kľúčové slová

prieskum, 3D skenovanie, otvorené lomy, stabilita

Keywords

surveying, 3D laser scanning, open pit mine, stability

1 Úvod

Problém, ktorý sa niekedy objaví pri povrchovej ťažbe nerastných surovín je bezpečnosť prevádzky lomu z pohľadu stability lomových stien pri prerušení dobývacieho procesu na dlhšie obdobie. Pri nevhodnej kombinácii faktorov, ako je napr. nesúdržnosť masívu (ťažného nerastu), nezohľadnenie vrstevnatosti, puklinatosti a zlomových štruktúr pri zakladaní lomu (Peele, 1945) a taktiež dlhá odstávka lomu hlavne v zimnom období (niekoľko mesiacov), môže dôjsť k neželaným procesom ako je zosunutie odstreľom rozvoľnenej steny alebo zrútenie uvoľnených skalných blokov po disjunktívnych štruktúrach. Tieto javy môžu zásadne ovplyvniť bezpečnosť banskej prevádzky a v konečnom dôsledku aj znefunkčniť lom (Vyhláška SBÚ č. 29/1989; Šofranko a Lištiaková, 2012). Tento príspevok ponúka príklad ako je možné monitorovať stabilitu horninových blokov v povrchovom lome pomocou bezkontaktných geodetických meracích systémov.

2 Terestrické laserové skenovacie systémy a monitorovanie stability objektov

Základným monitorovacím meraním vykonávaným v zosuvnom území je meranie veľkosti a smeru pohybu zosuvných hmôt prostredníctvom merania posunov bodov monitorovacej siete v obyčajne pravidelných časových intervaloch - na jar a na jeseň. Na meranie posunov bodov sa používa viacero metód (Tab.1). Najčastejšie sa aplikujú rôzne terestrické geodetické metódy, ktoré majú v tejto oblasti použitia najbohatšiu tradíciu (Bitterer, 2003). Podstata terestrických metód ostáva v zásade rovnaká, avšak s príchodom nových technológií sa mení spôsob spracovania priamo meraných údajov, dosahuje sa čoraz vyššia presnosť meraní a najmä možnosť merať veľké množstvo bodov na záujmovom objekte. Podľa Wagnera a kol. (2010) možno dosiahnuť napr. klasickou geodetickou technológiou založenou na priestorovej polárnej metóde priestorovú bodovú presnosť až 1 mm, terestrickým laserovým skenovaním (TLS) cca 3 – 5 mm. Presnosť fotogrametrických metód závisí predovšetkým od vzdialenosti stanovísk snímkovania od pozorovaného objektu, preto možno pri krátkych vzdialenostiach (< 5 m) dosahovať submilimetrové presnosti, pri väčších vzdialenostiach (20 – 30 m) subcentimetrovú presnosť. Samozrejme, každá zo spomenutých technológií má svoje špecifiká a netreba zabúdať ani na obmedzenia dané podmienkami v pozorovanej lokalite, prípadne obmedzenia dané požadovanými výstupmi (Fraštia, 2009; Pukanská a kol., 2008; Wagner a kol., 2010).

Tab.1 Prehľad aktuálnych a perspektívnych metód monitorovania vybraných svahových pohybov (Wagner a kol., 2010).

Typ svahového pohybu	Merania vykonávané v súčasnosti	Perspektívne metódy
Zosúvanie	• geodetické – terestrické • geodetické – družicové (GNSS)	• geodetické – laserové skenovania (LIDAR) • diaľkový prieskum (SAR/InSAR) • terestrická aplikácia metódy – GB-InSAR
Rútenie	• dilatometrické (tyčovým meradlom Somet a meradlom posunov) • fotogrametrické (metóda stereofotogrametrie, metóda časovej základnice a konvergentná fotogrametria)	• merania automatickým dilatometrom • fotogrametrické skenovanie • terestrické laserové skenovanie

Skenovacích systémov existuje v súčasnosti celý rad. Líšia sa fyzikálnymi princípmi, technickými parametrami, účelom a nasadením. Skenovacie systémy môžu byť umiestnené na družiciach, lietadlách (LIDAR), alebo na Zemi. Terestrické laserové skenovacie systémy (TLS) poskytujú v súčasnosti najprogresívnejší a najefektívnejší spôsob zberu veľkého množstva priestorových údajov s cieľom vytvorenia digitálneho 3D modelu objektov, alebo uzavretých priestorov. Princíp merania TLS vychádza z princípov univerzálnych meracích staníc (UMS), teda na určenie výslednej priestorovej polohy bodu v karteziánskom súradnicovom systéme (súradnice X,Y,Z) sa využíva priestorová polárna metóda. Proces zberu údajov využitím TLS závisí predovšetkým na vlastnostiach dokumentovaného objektu (veľkosť, tvar, drsnosť, odrazivosť a pod.) a samozrejme od typu a parametrov skenera (Tab.2) (Fraštia, 2012).

Technológia terestrického laserového skenovania využíva dva princípy skenerov - pulzný a fázový (www.1). Pulzné „time-of-flight“ skenery merajú čas letu svetelnej vlny od vyslania po prijatie a na základe známej rýchlosti šírenia vlnenia sa vypočíta meraná dĺžka. Tieto skenery majú dosah

merania až niekoľko 100 m s nepatrným poklesom presnosti v závislosti od narastajúcej vzdialenosti. Presnosť určenia priestorovej polohy bodu sa pritom pohybuje od 5 mm po 30 mm pri rýchlosti merania viac ako 50 000 bodov za sekundu. Presnosť modelovanej plochy sa pohybuje pri súčasných skeneroch od 2 mm. Výsledkom laserového skenovania je tzv. mračno bodov (point cloud), teda množina diskretných priestorových bodov definovaných súradnicami X,Y,Z. Je potrebné ich ďalej spracovať až do výsledného modelu meraného objektu, zvyčajne vyjadreného nepravidelnou trojuholníkovou sieťou (TIN) (Hofierka, 2008; Hofierka et al., 2013). Problémy, ktoré prináša táto technológia, spočívajú predovšetkým v možnom šume až strate údajov zapríčinenom nevhodnou odrazivosťou povrchu (čierne, lesklé a mokré povrchy), v šume zapríčinenom samotnou presnosťou meranej dĺžky, v meraní nesprávnych bodov (spôsobenom zákrytmi, hranami a vegetáciou) a v obrovskom množstve údajov (rádovo milióny bodov) so súvisiacimi problémami pri ich spracovaní. Nespornou výhodou a perspektívou tejto technológie je možnosť niektorých spracovateľských softvérov vytvárať rozdielové mapy takto meraných povrchov a určiť tak prípadné zmeny povrchu masívu (Fraštia, 2009).

Fázový skener je založený na meraní fázového rozdielu, ktorý vzniká medzi vysielaným a prijímaným signálom a z tohto fázového rozdielu sa následne určuje meraná dĺžka. Fázový skener má veľmi dobré výsledky pri dokumentovaní blízkych objektov cca do 50 m. Pri väčších vzdialenostiach (zámerách dlhších ako 100 m) ma obmedzené použitie, pretože v závislosti na vzdialenosti od objektu klesá jeho presnosť. Pri krátkych zámerách je presnosť od cca 0,2 mm a pri zámerách okolo 70 m narastá až k cca 5 mm. Na presnosť vplyva aj odrazivosť skenovaného materiálu a samozrejme parametre skenera.

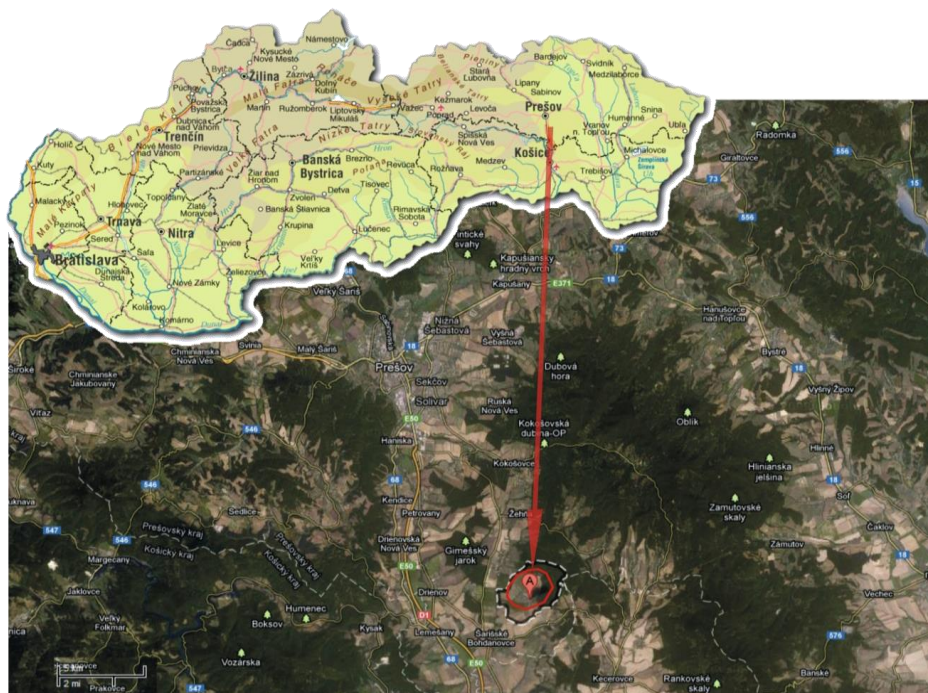
Tab.2 Základná charakteristika laserových skenerov (Fraštia, 2012).

Typ skenera	Dosah <i>v závislosti od atmosférických podmienok a odrazivosti povrchu</i>	Dĺžková presnosť <i>v závislosti od veľkosti meranej dĺžky a modelu skenera</i>	Rýchlosť <i>v závislosti od modelu skenera, hustoty skenovania a veľkosti zorného poľa</i>
Pulzný	do 300 – 4 000 m	2 – 30 mm	5 000 – 100 000 bodov/s
Fázový	do 70 m	0,2 – 5 mm	až 1 000 000 bodov/s

3 Monitorovanie stability lomovej steny v lome Brestov

3.1 Popis záujmovej lokality

Obec Brestov v rámci územnej samosprávy patrí do Prešovského okresu, VÚC – Prešov (Obr.1). Lom (Obr.2) sa nachádza v katastrálnom území obce Brestov, cca 1 km západne od zastavanej časti obce. Ťažba andezitu v lome začala už v devätnástom storočí. Andezity nad Brestovom sú jemne zrnité, svetlošedej farby tvorené živcom, kremeňom s výraznými výrastlicami pyroxénu a amfibolu. Majú lavicovitú odlučnosť, dobrú štiepatelnosť a opracovateľnosť. Pyroxenický andezit je bežný stavebný kameň, ktorý sa využíva pri výstavbe pozemných stavieb a taktiež na ušľachtilé kamenárske výrobky. Ťažba andezitu v lome nad Brestovom bola v roku 1972 zastavená a opätovne otvorená až v roku 2004. Ložisko je v súčasnosti rozdelené na dve časti - starý a nový lom (Obr.2). V minulosti sa banská činnosť vykonávala v Starom lome. V súčasnosti sa ťažba presunula na opačnú stranu ložiska, ktorá dostala pomenovanie Nový lom. V súčasnosti ťažbu kameňa v lome vykonáva spoločnosť Blue Sky Mining s.r.o., ktorá má v lome priznané dobývacie práva (www.2).



Obr.1 Geografická pozícia záujmovej lokality – lom Brestov



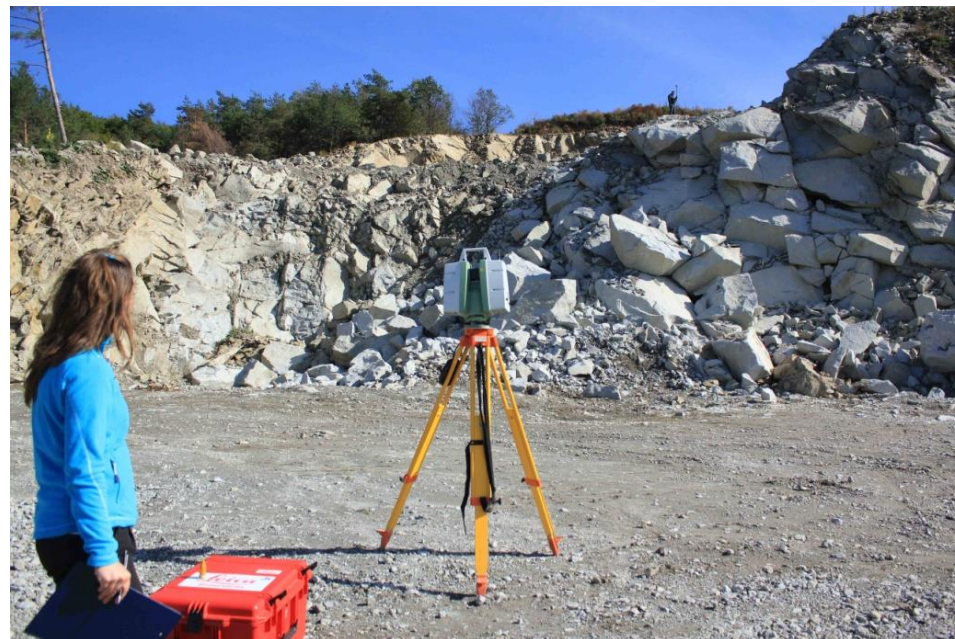
Obr.2 Starý lom (vpravo) a nový lom (vľavo) v lokalite Brestov

Vzhľadom na petrografickú charakteristiku suroviny a geologickú stavbu ložiska sa v lome na niektorých etážach vyskytujú prípady hrubolavicovitej až blokovej odlučnosti (Obr.3). Je to spôsobené prítomnosťou zlomovo-puklinových geologických štruktúr porušujúcich andezitové teleso ako aj vlastnosťami suroviny, predovšetkým dobrou odlučnosťou a štiepatelnosťou. Tento jav môže spôsobovať

problémy so stabilitou lomových stien, pretože hlavne po zimnom období hrozí uvoľňovanie veľkých skalných blokov a ich samovoľný pád na niektorú z nižších etáží. Lavicovitá až bloková odlučnosť je častým problémom hlavne pri zle založených lomoch, pretože môže spôsobiť vážne ohrozenie bezpečnosti v lome. Z týchto dôvodov sa často pristupuje k pravidelnému monitorovaniu stability lomových stien, hlavne ak v lome neprebíha pravidelný ťažobný cyklus a hrozí, že bloky uvoľnené odstrelom sa po dlhom čase vplyvom zmeny počasia (hlavne v zimnom období) a pôsobením vlastnej tiaže nekontrolovane zrútiť (Obr.3).



Obr.3 Lavicovitá až bloková odlučnosť a uvoľnené a zrútené skalné bloky rozmerov cca 1x1x2 m



Obr.4 Geodetické práce v lome Brestov. Meranie steny lomu laserovým skenerom Leica ScanStation C10

3.2 Zber dát

Meranie časti lomu – záujmovej steny bolo realizované v dvoch etapách, na jeseň 5. 10. 2012 a na jar 22. 3. 2013 za ideálnych poveternostných podmienok. Lomová stena bola zameraná pomocou 3D laserového skenera Leica ScanStation C 10 (Obr.4). Skener Leica ScanStation C10 patrí k svetovo najbežnejším pulzným terestrickým laserovým skenerom. Tento prístroj zahŕňa okrem laserového skenovacieho systému aj automatickú videokameru a fotoaparát s vysokým rozlíšením (Tab.3). Prístroj ponúka vysoký výkon, univerzálnosť použitia a dostatočnú presnosť pre práce takéhoto charakteru (www.3). Pred začatím samotného merania lomu bola vybudovaná meračská základnica zahŕňajúca dva body – 5001 a 5002, ktoré pri oboch etapových meraniach slúžili ako stanovisko skenera – bod 5001 a orientácia – bod 5002. Body boli dočasne stabilizované meračským klincom na 2. etáži lomu, ktorá bola predmetom výskumu pretože je najviac postihnutá blokovým rozpadom skalného masívu. Súradnice bodov boli určené GNSS metódou v súradnicovom systéme

S-JTSK a výšky vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní. Celá 2. etáž bola zameraná v oboch prípadoch (na jeseň a na jar) vždy v rozsahu jedného skenu a vždy z bodu 5001 s orientáciou na 5002. Na orientáciu bol použitý 6 palcový HDS terč, umiestnený na statíve. Tento typ terča umožňuje pri meraní a orientácii automatické vyhľadanie stredu terča. Pri skenovaní boli nastavené parametre skenera tak aby pri najväčšej vzdialenosti medzi skenerom a stenou bol raster meraných bodov pri premietnutí na stenu lomu v sieti 2x2 cm na vzdialenosť skenera od objektu 20 m. Toto rozlíšenie bolo zvolené s ohľadom na veľkosť skalných blokov cca 1x1x2 m (Obr.3). Skenovaná oblasť bola v rozsahu 180° horizontálne a 270° vertikálne pri maximálnej vzdialenosti skenera od objektu 20 m. V prípade, ak sa časť meraného objektu nachádza bližšie bola sieť meraných bodov na nej hustejšia a to úmerne skracujúcej sa vzdialenosti.

Tab. 3 Technické parametre TLS Leica ScanStation C10

Všeobecné	
Typ prístroja	Kompaktný, pulzný, dvojsovo kompenzovaný.
Presnosť	
Polohová	6 mm na vzdialenosť do 50 m,
Vzdialenosť	4 mm na vzdialenosť do 50 m,
Uhol [H/V]	60 µrad / 60 µrad
Model. povrch/šum	2 mm
Automat. určenie stredu terča	2 mm (str. chyba)
Laserový systém	
Typ/trieda lasera	Pulzný laser/3R (IEC 60825-1), zelená vlnová dĺžka = 532 nm
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

Pri zbere dát je dôležité zhodnotiť aj presnosť metódy. Polohovú presnosť TLS možno vyjadriť podobne ako presnosť pri použití polárnej metódy merania, a to strednou polohovou chybou [m_p] súradníc meraného bodu podľa vzťahu:

$$m_p^2 = m_{pA}^2 + \sin^2 z \times m_s^2 + s^2 \times \cos^2 z \times \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2 + s^2 \times \sin^2 z \times \left(\frac{m_\omega}{\rho} \right)^2, \quad (1)$$

kde m_{pA} = stredná polohová chyba stanoviska prístroja,
 s = šikmá dĺžka,
 z = zenitový uhol,
 m_{ω} = stredná chyba meraného smeru,
 m_z = stredná chyba meraného zenitového uhla,
 m_s = stredná chyba meranej dĺžky,
 ρ = prevodový koeficient z oblúkovej miery.

Výšková presnosť je určená strednou chybou odvodenou pre trigonometrické meranie výšok podľa vzťahu:

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

kde m_{hA} = stredná chyba výšky stanoviska prístroja.

Súradnice a výšky bodov 5001 a 5002 boli určené metódou RTK s využitím GNSS prístroja Leica GPS 900CS s pripojením na sieť permanentných referenčných staníc SKPOS. Horizontálna presnosť súradníc takto určených bodov (garantovaná službou SKPOS) je obvykle do ± 20 mm a vertikálna do ± 40 mm s ohľadom na podmienky pri meraní (www.4). Vzhľadom na to že obe merania (na jeseň a na jar) boli realizované iba z jedného (vždy toho istého) stanoviska a orientácia bola vykonaná taktiež na ten istý bod, môžeme toto meranie vnímať ako meranie v lokálnom súradnicovom systéme a vplyv strednej polohovej chyby určenia súradníc stanoviska a orientácie na meranie podrobných bodov môžeme vylúčiť (Sabová a Sabo, 2011; Sabová a Sabo, 2012; Staňková, 2010; Staňková a kol., 2012). Uvažovať však treba s chybou z vplyvu centrácie a určenia výšky horizontálnej osi prístroja pri opakovanom postavení s hodnotou asi ± 1 mm.

Terestrické meranie podrobných bodov na povrchu ťažobnej steny (meranie TLS) bolo vykonané zo vzdialenosti približne 20 m od ťažobnej steny. Vzhľadom na to, že meranie bolo vykonané z jedného bodu, sú vypočítané hodnoty stredných chýb súradníc podrobných bodov, pri uvedenej metóde v závislosti na parametroch prístroja uvádzaných výrobcom približne: $m_p \doteq \pm 5\text{mm}$ a $m_h \doteq \pm 5\text{mm}$.

Spoločnosť interpretácie výsledkov meraní je možné posudzovať aj z pohľadu technickej normy STN 730405 – Meranie posunov a pretvorení stavebných objektov, ktorej znenie sa dá primerane vzťahovať aj na problematiku popísanú v tomto článku, v zmysle presnosti meračských metód a očakávanej veľkosti posunov a pretvorení objektov. Zo vzťahu, ktorým určujeme požadovanú presnosť merania, a v ktorom je známa hodnota $[m]$ je možné spätne určiť hodnotu veľkosti posunu a pretvorenia $[s]$. Platí:

$$m = \frac{1}{5} \times s, \quad (3)$$

kde m = základná stredná chyba merania posunov a pretvorení, s = očakávaná veľkosť posunov a pretvorení.

Doplnením hodnôt do vzťahu získavame ukazovateľ najmensej miery pretvorenia tvaru objektu, pre ktorú je v zmysle normy metóda z hľadiska vyžadovanej presnosti vhodná. V našom prípade je veľkosť minimálnej hodnoty pretvorenia objektu $s \pm 25\text{mm}$.

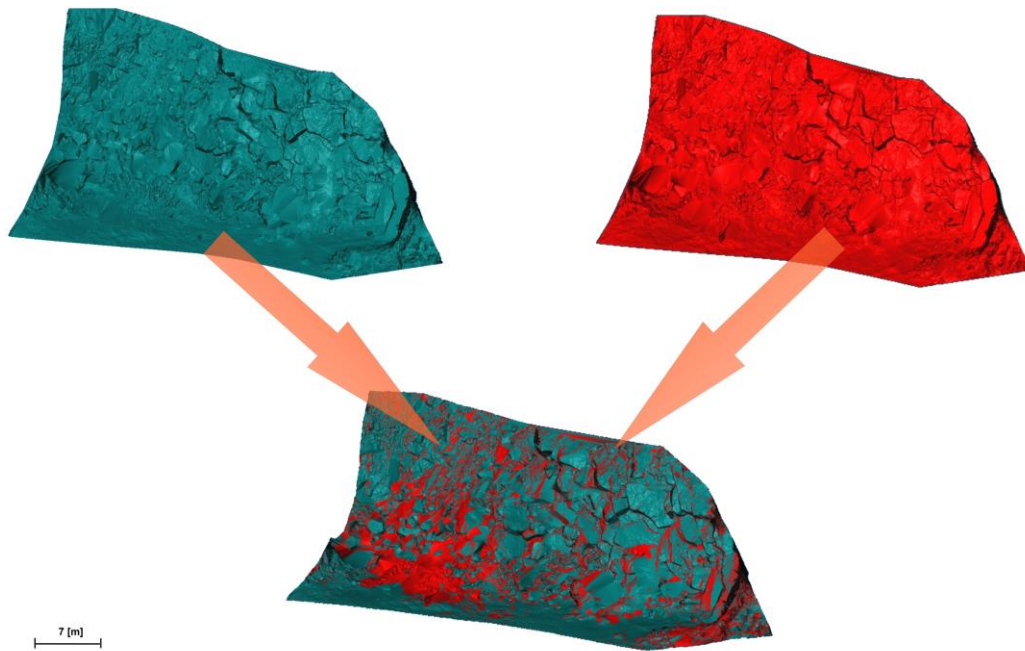
3.3 Spracovanie dát, interpretácia výsledkov a diskusia

Cieľom výskumu bolo otestovať v procese hodnotenia stability lomovej steny metodiku, kde by na overenie stability veľkých blokov (cca 1x1x1 m) bolo použité porovnanie vygenerovaných povrchov - porovnanie TIN modelov a ich rozdielov. Nejedná sa teda o klasické vyhodnotenie posunu na pozorovanom bode, alebo skupine bodov označených značkami, ale o porovnanie modelov celého skalného bloku detailne dokumentovaného v podobe mračna bodov získaného využitím TLS. Porovnávajú sa teda dva modely voči sebe a hodnotí sa ich tvarová podobnosť - zmena ako rozdiel týchto dvoch povrchov. V prípade, že nedôjde k pohybu blokov budú oba povrchy zhodné (zohľadňujúc presnosť merania a hustotu rastra podrobných bodov). V prípade, že dôjde k zmene tvaru monitorovaného objektu, budú povrchy v mieste tejto zmeny voči sebe vzájomne posunuté. Veľkosť týchto zmien vyjadrujeme číselne, alebo graficky využitím zobrazenia pomocou farebnej škály, ktorá vyjadruje veľkosť zmeny na objekte a súčasne ju aj lokalizuje na vytvorenom modeli.

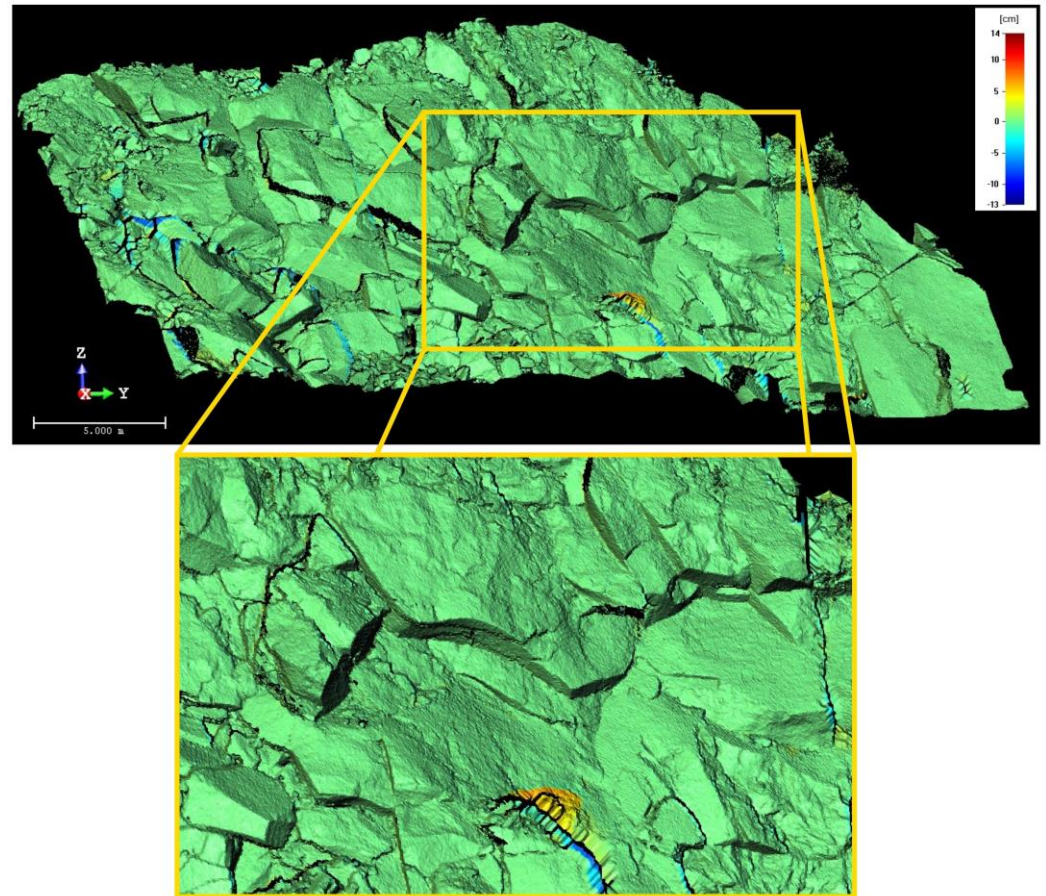


Obr.5 Spracovanie nameraných dát v programe Trimble RealWorks - panoramatický pohľad na meranú lomovú stenu

Na spracovanie dát nameraných TLS bol použitý špecializovaný softvér od spoločnosti Trimble - Trimble RealWorks. Tento softvér umožňuje spracovať veľké súbory bodov získané laserovým skenovaním (www.5). Na obrázku 5 je zobrazenie pôvodného - neredukovaného mračna bodov s priradením skutočnej farby v RGB móde každému meranému bodu. Zo súboru bodov boli odstránené body mimo záujmovej lomovej steny vrátane vegetácie a pod.. V prostredí Trimble RealWorks boli z oboch pôvodných - neredukovaných dátových súborov využitím Delaunay triangulácie (Li, 2008; Blišťan, 2012) vytvorené TIN modely. Ich detailnosť je priamo závislá na počte meraných bodov, ktoré tvoria vrcholy trojuholníkov. Na obrázku 6 sú znázornené TIN modely lomovej steny. Oba TIN modely boli navzájom prekryté a následne vypočítaný rozdiel – posun medzi oboma povrchmi. Vypočítaný rozdiel oboch povrchov je vyjadrený



Obr.6 3D modely lomovej steny z 5.10.2012 a 22.3.2013 a ich vzájomné prekrytie



Obr.7 Analýza prekrytia 3D modelov s vybraným detailom na lomovej stene

formou mesh (z angl. sieť) s farebnou škálou zobrazujúcou veľkosť absolútnych posunov blokov na lomovej stene (Obr.7). Analýzou výsledkov meraní absolútnych posunov sme dospeli k záveru, že na zdokumentovanej časti lomovej steny nedošlo počas zimnej odstávky lomu k významným morfológickým zmenám skalného masívu, ktoré by boli jednoznačne identifikovateľné ako zrútenie skalných blokov resp. ich posun po šmykových plochách. Z obrázka 7 vyplýva vysoká zhoda povrchov monitorovanej časti lomovej steny. Rozdiely na úrovni do 1 – 2 cm je možné pripisovať samotnej presnosti merania a najmä vzájomným vzdialenostiam bodov modelu s ohľadom na zvolené rozlíšenie pri skenovaní. Porovnanie modelov (detail na Obr.7 dole) síce vykazuje aj výraznejšie zmeny morfológie lomovej steny (žltá a modrá farba), ale pri detailnejšom štúdiu týchto častí sme zistili, že sa nejedná o zmenu povrchu steny spôsobenú rozpadom steny vplyvom zvetrávania. Tento rozdiel je spôsobený absenciou meraných bodov v jednom z modelov, spôsobenou zákrytom časti steny ako dôsledok rôznej výšky prístroja na bode meračskej základnice pri meraní. Z týchto dôvodov je pri prácach podobného charakteru vhodné vykonať meranie z viacerých stanovísk prístroja, aby na objekte nevznikali namerané miesta spôsobené zákrytmi apod. V prípade že očakávame menšie zmeny povrchu objektu, je potrebné vykonať zameranie objektu z viacerých stanovísk a s čo najvyšším rozlíšením skenovania, tak aby boli dobre zachytené všetky detaily.

4 Záver

Na riešenie špeciálnych úloh geodézie a geotechniky ako je meranie a posúdenie morfológických zmien na povrchu skalnej steny sa v súčasnosti už dá úspešne aplikovať aj terestrické laserové skenovanie. V posledných rokoch sa terestrické laserové skenovanie začalo využívať aj na dokumentovanie povrchových banských prevádzok, a to hlavne z dôvodu rýchleho zberu veľkého množstva údajov, potrebných na tvorbu 3D modelov používaných nielen pre tvorbu základnej banskomeračskej dokumentácie, či výpočet stavu a úbytku zásob ťažbou (Fraštia, 2009; Fraštia, 2012; Kovanič a kol., 2011; Blišťan a Kovanič, 2012), ale aj pre detailné hodnotenie tvarových zmien horninového masívu už na centimetrovej úrovni. TLS sú schopné, oproti v súčasnosti najrozšírenejším univerzálnym meracím staniciam (UMS), podstatne rýchlejšie zamerať veľké lomy s dostatočnou presnosťou a vytvoriť mračno bodov z ktorého je možné v špecializovaných softvéroch zistiť zmeny na lomovej stene. Proces spracovania mračna bodov je však oproti spracovaniu dát z UMS nepomerne náročnejší, zdĺhavý a drahý. Z týchto dôvodov sa oplatí TLS využívať skôr pre veľké banské prevádzky a pri prácach s dôrazom na detailnosť výsledných modelov, kde by zber dát využitím UMS bol nepomerne zdĺhavý a celkové náklady na zameranie lomu by sa v konečnom dôsledku vyrovnali nákladom na zameranie lomu TLS. TLS boli použité aj v lome Brestov na opakované meranie lomovej steny, na ktorej sa predpokladal pohyb uvoľnených skalných blokov pôsobením poveternostných vplyvov (opakované zamrzanie vody v puklinách a následný posun kamenných blokov). Spracovaním a analýzou etapových meraní sme dospeli k záveru, že v lome neboli identifikované významné pohyby kamenných blokov (zosúvanie, rútenie) po zlomových a šmykových plochách a monitorovaná časť lomovej steny je z pohľadu bezpečnosti prác v lome stabilná a bezpečná.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA - číslo grantu 1/1206/12 a za finančnej podpory grantovej agentúry APVV - číslo grantu APVV-0339-12.

Literatúra

- BITTERER, L. *Geodézia*. Žilinská univerzita, Žilina, 2003
- BLIŠŤAN, P. Interpoláčné metódy pre modelovanie a vizualizáciu priestorových javov v prostredí GIS. In: *Fyzikálne faktory prostredia*. Roč. 2, mimoriadne č. (2012), s. 99-105
- BLIŠŤAN, P. a KOVANIČ, Ľ. ml.: *Geodetic methods for efficient spatial data collection*. In: *Egrse*. Vol. 19, no. 1 (2012), p. 1 - 12
- FRAŠTIA, M. *Produkcia horninových masívov s rozlíšením a presnosťou vyššími ako 1 cm*. In: *Geotechnical monitoring, 9th International Geotechnical Conference*, Bratislava, 2009, s. 263 – 267
- FRAŠTIA, M. Laserové verzum optické skenovanie skalných masívov. *Mineralia Slovaca*, č. 2, roč. 44 (2012), 2010, s. 177 – 184
- HOFIERKA, J. *Spatial interpolation and terrain analysis*. In: Bender, O., Evelpidou, N., Krek, A. & A. Vassilopoulos (eds.): *Geoinformation Technologies for Geocultural Landscapes: European Perspectives*. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema (Taylor & Francis Group), 2008, pp. 189-206
- HOFIERKA, J., GALLAY, M., KAŇUK, J. *Spatial Interpolation of Airborne Laser Scanning Data with Variable Data Density*. *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*, August 25-30, 2013
- KOVANIČ, Ľ., BLIŠŤAN, P. a KOVANIČ, Ľ. ml. *Geodetické metódy pre efektívne určovanie stavu a úbytku zásob v povrchových banských prevádzkach*. In: *Nerastné suroviny a surovinová politika, Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie, Demänovská dolina, 6.-7. október 2011*. Vydala: Slovenská banícka spoločnosť, Banská Bystrica, 2011, s. 175-184
- LI, J. *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*. *Geoscience Australia*, Australia, 2008, 137p
- PEELE, R. *Mining Engineers' Handbook*. J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1945
- PUKANSKÁ, K., SABOVÁ, J., RUSNÁKOVÁ, K. a GAJDOŠÍK, J. Využitie terestrického laserového skenovania pri zisťovaní morfológických zmien terénov. *Uhlí-Rudy-Geologický průzkum*. Vol. 15, no. 3 (2008), s. 28 - 31
- SABOVÁ, J. a SABO, J. GPS network accuracy transformed from WGS 84 into the state plane datum. In: *Acta Avionica*. Roč. 13, č. 22 (2011), s. 168-172
- SABOVÁ, J. a SABO, J. *Assessment of the accuracy of points determined by GNSS*. In: *MMK 2012 - Mezinárodní Masarykova Konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky, Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference, ročník 3, 10. - 14. prosince 2012, Hradec Králové, Česká republika*. Hradec Králové, MAGNANIMITAS, 2012 s. 2864-2869
- ŠOFRANKO, M. a LIŠTIAKOVÁ, V. *Povinnosti organizácií vyplývajúce zo zákona NR SR č. 1242006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov*. In: *Doprava a logistika, 16. medzinárodná vedecko-technická konferencia - Nové poznatky v oblasti vŕtania, ťažby, dopravy a uskladňovania uhl'ovodíkov*. Podbanské, 2012, Košice, TU, 2012. č. 11. mimoriadne číslo (2012), s. 181-184
- STAŇKOVÁ, H. *Analýza identity vybraných identických bodů pro účely mezisystémových transformací*, *Geodetický a kartografický obzor*, ročník 56/98, 2010 číslo 4, str. 76 - 84
- STAŇKOVÁ, H., ČERNOTA, P. a NOVOSAD, M. *Problematika rovinných transformací na území ovlivněných hornickou činností*, *Geodetický a kartografický obzor*, ročník 58/100, číslo 9, 2012, s. 202 - 207
- VYHLÁŠKA Slovenského banského úradu č. 29/1989 Zb. z. *o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu*. In: *Jednotný automatizovaný systém právnych informácií, Ministerstvo spravodlivosti SR*. [online]. [citované 03.10.2012]. Dostupné na <<http://jaspi.justice.gov.sk>>

- WAGNER P., ONDREJKA, P., IGLÁROVÁ, L. a FRAŠTIA, M. Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. *Mineralia Slovaca*, č. 2, Roč. 42 (2010), 2010, s. 229 – 240
- www.1: *Terestrické laserové systémy*. [online]. [cit. 10.05.2013]. Dostupné na internete: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Zamecnikova_Miriam.pdf>
- www.2: *Blue Sky Mining s.r.o.* [online]. [cit. 08.05.2013]. Dostupné na internete: <<http://www.blueskymining.sk>>
- www.3: *Leica ScanStation C 10*. [online]. [cit. 08.05.2013]. Dostupné na internete: http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skeneryHDS/Leica_ScanStation_C10_Brochure_en.pdf
- www.4: *Portál Slovenskej priestorovej observačnej služby GNSS*. [online]. [cit. 09.05.2013]. Dostupné na: <<http://www.skpos.gku.sk>>
- www.5: *Trimble RealWorks*. [online]. [cit. 09.05.2013]. Dostupné na: <<http://www.trimble.com/survey/realWorks.aspx>>

Autor

- ¹ doc. Ing. Peter Blišťan, PhD., Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovensko, tel.: (+421)55/6022786, e-mail: Peter.Blistan@tuke.sk
- ² Ing. Ľudovít Kovanič, PhD., Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovensko, tel.: (+421)55/6023101, e-mail: Ludo.Kovanic@tuke.sk