

Laserové verzus optické skenovanie skalných masívov

MAREK FRAŠTIA

Katedra geodézie SvF STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
marek.frastia@stuba.sk

Laser vs. optical scanning of rock massifs

The paper analyses the measuring technologies of laser and optical scanning, their use in engineering geology, namely for scanning surfaces of rocks. Evaluation of their accuracy, advantages and applicability to specific cases is shown in the article.

Key words: laser scanning, optical scanning, digital close-range photogrammetry

Úvod

Zhodnotenie stavu skalných masívov, stien a zárezov si často vyžaduje – okrem iného – aj komplexnú a podrobnú informáciu o geometrii a textúre skalného povrchu. Rovnako sa bez týchto informácií nezaobíde moderné projektovanie sanačných opatrení (Baliak et al., 2010) a monitoring stability horninového prostredia (Wagner et al., 2010). V súčasnosti sú tieto požiadavky schopné naplniť technológie laserového a optického skenovania (Fraštia, 2009), pričom výstupom zberu údajov je mračno bodov reprezentujúcich pozorovaný povrch vo vysokom priestorovom rozlíšení. Po nástupe technológie terestrického laserového skenovania (TLS) koncom 90. rokov sa zdalo, že fotogrametria stratí uplatnenie v mnohých, dovtedy pre ňu výsostných aplikáciách. Technológia digitálnej fotogrametrie a hlavne automatizovaného spracovania primárne digitalizovaných snímok však otvorila úplne nové možnosti skenovania povrchov z ich optických obrazov.

V príspevku sú predstavené 2 experimenty – laserové a optické skenovanie skalného zárezu nad cestnou komunikáciou v okolí Banskej Štiavnice a optické skenovanie hradného brala hradu Beckov.

V prvom experimente je uvedené podrobné porovnanie výsledkov laserového a optického skenovania s meraniami vykonanými univerzálnou meracou stanicou Leica TS30. Toto porovnanie bolo realizované na kontrolných bodoch signalizovaných kruhovými odrazovými fóliami s priemerom 10 mm, stabilizovanými priamo na skalnom povrchu (obr. 1). Aposteriórne odhady presnosti na bodoch z meraní prístrojom Leica TS30 nepresahovali vo všetkých osiach XYZ lokálneho súradnicového systému hodnotu 1 mm. Túto vysokú presnosť môžeme predpokladať vďaka presnostným charakteristikám samotného prístroja, krátkym dĺžkam, meraniam na odrazovú fóliu (1 mm + 1 ppm) a homogénnej sieti bodov meraných z jedného stanoviska priestorovou polárnou metódou.

V lokálnom súradnicovom systéme, ktorého os X je približne kolmá na zárez, boli určené body na lícovanie laserových a optických skenov, ako aj 10 kontrolných bodov (obr. 2) na samotné priame porovnanie súradníc určených geodeticky (Leica TS30), laserovým skenovaním a fotogrametricky (optickým skenovaním).

Druhým experimentom bolo skenovanie hradného brala a stien samotného hradu Beckov, kde bolo realizované len optické skenovanie a zhodnotenie postupov a výstupov v tomto konkrétnom prípade. Získané skúsenosti sú potom zhrnuté do porovnania obidvoch skenovacích technológií a sú uvedené návrhy a odporúčania ich použitia.

Terestrické laserové skenovanie

Terestrické laserové skenovanie (Štroner, 2008) je meracia technológia založená na priestorovej polárnej metóde, kde sa merajú vertikálny a horizontálny uhlový krok a šikmá dĺžka. Podľa spôsobu merania dĺžky rozlišujeme impulzné a fázové laserové skenery (tab. 1).

Výsledkom laserového skenovania je tzv. mračno bodov, teda množina diskretných priestorových bodov definovaných súradnicami XYZ. Túto množinu je ďalej potrebné spracovať až do výsledného modelu meraného objektu, zvyčajne vyjadreného trojuholníkovou sieťou, t. j. TIN modelom.

Experiment 1 – skalný zárez

V rámci monitoringu nestabilných lokalít je už niekoľko rokov pozorovaný skalný zárez nad štátnou cestou I. triedy pri Banskej Štiavnici (obr. 3). Lokalita je meraná raz ročne.

V rámci experimentu bol celý zárez skenovaný zo vzdialenosti 20 m v rozlíšení 1 cm, vybrané čisté skalné plochy v rozlíšení 3 – 5 mm. Skenovanie z 2 stanovísk trvalo cca 4 hodiny. Mračná bodov (skeny) boli transformované

Tab. 1
Základná charakteristika laserových skenerov
Basic characteristics of laser scanners

Typ skenera	Dosah ¹⁾	Dĺžková presnosť ²⁾	Rýchlosť ³⁾
Impulzný	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

¹⁾ v závislosti od atmosférických podmienok a odrazivosti povrchu

²⁾ v závislosti od veľkosti meranej dĺžky a modelu skenera

³⁾ v závislosti od modelu skenera, hustoty skenovania a veľkosti zorného poľa

Tab. 2
Technické špecifiká skenera Leica ScanStation 2
Technical specification of the scanner Leica ScanStation 2

Typ prístroja	Impulzný, vysoko rýchlostný laserový skener s dvojosím kompenzátorom
Kamera	Integrovaná digitálna kamera
Presnosť jednotlivého bodu	Poloha: 6 mm Vzdialenosť: 4 mm
Veľkosť laserovej stopy	Od 0 do 50 m: 4 mm (FWHH); 6 mm (Gaussian)
Presnosť modelovaného povrchu	2 mm (v prípade matematických plôch)
Parametre skenovania	Dosah: 300 m – 90 % odrazivosť Rýchlosť: 50 000 bodov za sekundu Hustota: max. 1,2 mm v celom dosahu

do referenčného systému pomocou vybraných bodov meraných prístrojom Leica TS30. Rezíduá po priestorovej zhodnostnej transformácii neprekročili hodnotu 2 mm vo všetkých osiach súradnicového systému. Priestorové súradnice kontrolných bodov boli určené priamo z transformovaného mračna tak, že sa preložila regresná rovina bodmi v úzkom okruhu (cca 10 mm) – mimo kruhovej značky od okraja značky. Následne bol určený stred



Obr. 1. Detail pozorovaného bodu (výrez z originálnej snímky).

Fig. 1. Detail of observed point (cut from original image).

kruhu z okrajových bodov tesne mimo okraja značky v regresnej rovine. Tento stred reprezentoval hľadaný bod. Uvedený postup bol zvolený kvôli chybným dĺžkam meraným laserovým skenerom priamo na odrazovú fóliu (príliš silný signál), preto sa značka rekonštruovala z bodov tesne mimo nej. V tomto experimente bol použitý impulzný skener (Leica Scanstation2: Informačná brožúra, 2012) s parametrami uvedenými v tab. 2.

Nevýhodou použitého prístroja je integrovaná digitálna kamera s nízkym geometrickým a rádiometrickým rozlíšením, čím dochádza ku skreslenému „zafarbeniu“ meraných bodov. Kvalitná informácia o farbe bodov mračna je dôležitá na správnu identifikáciu bodov, resp. častí objektu v procese spracovania mračien, a takisto zvyšuje prezentačnú hodnotu meraných údajov.

Tab. 3 dokumentuje vysokú presnosť na kontrolných bodoch dosiahnutú laserovým skenerom – výsledky sú významne lepšie ako presnosť polohy meraného jednotlivého bodu deklarovaná výrobcom (6 mm). Treba ale poznamenať, že dosiahnutý výsledok nie je z merania jednotlivého bodu, ale vznikol priemerovaním viacerých bodov (na okraji značky), čím sa redukuje šum (nepresnosť)



Obr. 2. Vybraný detail na plošné laserové a optické skenovanie.

Fig. 2. Selected detail for laser and optical scanning of surface.

hlavne z meraných dĺžok (± 4 mm) a približuje sa hodnote presnosti modelovanej matematickej plochy 2 mm, ktorú udáva výrobca. Pozorovaný skalný povrch mal vhodné vlastnosti na skenovanie – bol suchý, s drsnou štruktúrou, bez hladkých a lesklých plôch. Na druhej strane, čiastočne nepriaznivým faktorom je hnedá farba skalného povrchu, čo môže viesť k zvýšeniu hodnoty šumu. Za predpokladu narastajúcej vzdialenosti skenera od pozorovanej plochy a konštantnej presnosti sa bude priamo úmerne zvyšovať aj relatívna presnosť laserového skenovania (hodnota m/D bude klesať).

Optické skenovanie

Podobne ako laserové skenovanie, optické skenovanie našlo hlavné uplatnenie v automatizovanej tvorbe 3D modelov s hustým (podrobným) bodovým pokrytím povrchu (Luhman, 2006). Metóda je využívaná predovšetkým na objekty s náhodne premenlivou textúrou a nie príliš členitou

štruktúrou, aj keď posledné výsledky ukazujú na možnosti jej využitia aj pri objektoch doposiaľ rekonštruovaných výlučne metódou konvergentnej fotogrametrie (Fraštia, 2011). Princíp metódy je založený na korelácii (podobnosti) dvoch obrazov, ktoré sú vyhotovené z rôznych pozícií, čím je potom možné rekonštruovať priestorové zväzky lúčov a z nich priestorovú polohu bodov, resp. prvkov zaznamenaných na digitálnych obrazoch.

Experiment 1 – skalný zárez

Zárez bol snímkaný z protiláhlého oporného múru a zeme z predmetových vzdialeností od 20 m (spodná časť zárezu) do 30 m (horná časť zárezu). Kvôli plošnému monitoringu zárezu sa prešlo od tradičnej stereofotogrametrie (bodové a profilové merania) k optickému skenovaniu. Snímky boli vyhotovené strednoformátovou kamerou Mamyia 654 AF s digitálnou stenou LEAF Aptus7-II s rozlíšením 33 megapixelov a objektívom s ohniskovou

Tab. 3
Porovnanie súradníc bodov určených geodeticky a laserovým skenovaním
Comparison of geodetic and laser scanner coordinates

10 bodov Prístroj	Min. – Max. odchýlky [mm]			Kvadratické priemery [mm]			Relatívna presnosť ²⁾ m/D		
	dx ¹⁾	dy ¹⁾	dz ¹⁾	mx	my	mz	x	y	z
Leica	2,4	–1,6	1,2	0,9	1,9	0,8	1 : 21 000	1 : 10 000	1 : 22 000
ScanStation 2	–0,2	–2,5	–0,6						

¹⁾ os X smeruje kolmo na zárez, os Y rovnobežne so zárezom, os Z smeruje do zenitu

²⁾ m je presnosť reprezentovaná kvadratickými priemermi, D je vzdialenosť skenera od pozorovanej plochy

Tab. 4
Porovnanie súradníc bodov určených geodeticky a fotogrametricky
Comparison of geodetic and photogrammetric coordinates

10 bodov Objektív	Min. – Max. odchýlky [mm]			Kvadratické priemery [mm]			Relatívna presnosť ²⁾ m/D		
	dx ¹⁾	dy ¹⁾	dz ¹⁾	mx	my	mz	x	y	z
Objektív 45 mm	2,4	0,4	1,6	1,5	2,4	0,9	1 : 13 000	1 : 8 000	1 : 22 000
	–3,0	–3,9	–0,5						
Objektív 80 mm	4,4	0,9	–1,8	2,5	1,5	2,7	1 : 8 000	1 : 13 000	1 : 7 500
	0,2	–2,2	–3,2						

¹⁾ os X smeruje kolmo na zárez, os Y rovnobežne so zárezom, os Z smeruje do zenitu

²⁾ m je presnosť reprezentovaná kvadratickými priemermi, D je vzdialenosť skenera od zárezu

Tab. 5
Presnosť a podrobnosť skenovanej plochy
Accuracy and resolution of the scanned surface

Vzdialenosť snímkovania	Objektív f = 45 mm GSD ¹⁾	Objektív f = 80 mm GSD ¹⁾	Presnosť mx	Presnosť my	Presnosť mz	Presnosť priestorová	Max. priestor. chyba
100 m	16 mm	8 mm	7 mm	7 mm	7 mm	12 mm	25 mm

¹⁾ GSD (ground sampling distance) – veľkosť pixelu na fyzickej ploche

vzdialenosťou 45 mm, resp. 80 mm. Snímky boli vyhotovené v 2 pásoch nad sebou v približne „normálnej“ polohe (obr. 4).

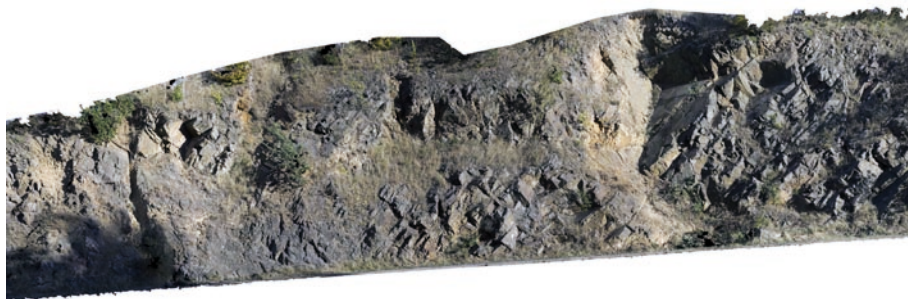
Plošná dokumentácia povrchu je výsledkom tzv. optického (fotogrametrického) skenovania, ktoré je principiálne odlišné od laserového, ale primárne surové údaje sú rovnakého typu – mračná bodov. Je to neselektívna metóda na určovanie plôch s vysokou hustotou záznamu (Fraštia, 2009). Na analýzu presnosti tejto metódy bola vybratá tá istá časť zárezu s rozmermi cca 4 x 2 m ako na laserové skenovanie (obr. 2), kde bolo signalizovaných 10 bodov reflexnými kruhovými značkami (obr. 1). Analyzovaná časť

zárezu neobsahovala vegetáciu, aby boli body presne definované na povrchu a porovnanie korektné.

Postup spracovania snímok v systéme PhotoScan bol takýto:

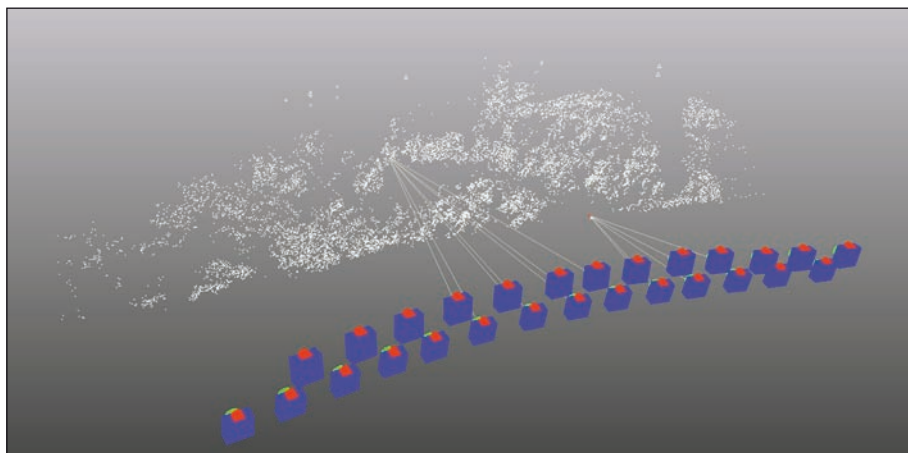
- automatická orientácia snímok pomocou obrazovej korelácie (cca 5 000 bodov),
- perspektívna transformácia cez 8 identických bodov,
- generovanie bodov povrchu v kroku 5 mm,
- tvorba trojuholníkovej siete TIN,
- zafarbenie plošnej siete TIN reálnymi fototextúrami.

Následne boli na plochu s textúrou vo vysokom rozlíšení umiestnené značky na miesta, kde sa nachádzali



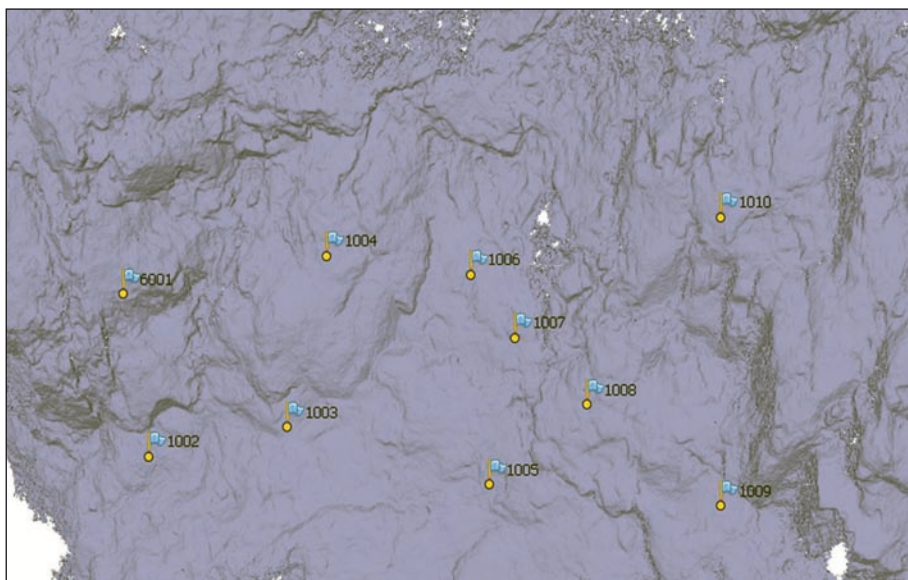
Obr. 3. Pozorovaný skalný zárez s dĺžkou cca 50 m nad cestou I. triedy (ortosnímkka).

Fig. 3. Observed rock cut above the state road, length cca 50 m (orthoimage).



Obr. 4. Konfigurácia snímkovania.

Fig. 4. Camera configuration.



Obr. 5. Meracie značky na rekonštruovanom povrchu.

Fig. 5. Measuring targets located on reconstructed surface.

signalizované body. Vďaka kvalitnej textúre modelu bolo možné tieto značky umiestniť s presnosťou cca 0,5 pixelu priamo na modeli. Značky tak získali svoje súradnice určené fotogrametricky v referenčnom systéme (obr. 5).

Odhadovaná apriórna presnosť optického skenovania bola v tomto prípade 2 mm na rovine rovnobežnej so snímkovou rovinou (rovina YZ) a 5 – 10 mm v smere osi záberu kamery (rovina XZ). Keďže však nepoznáme algoritmus výpočtu pomocou použitého softvéru, hodnoty boli uvedené iba odhadom a skutočná presnosť bola odhadnutá práve analýzou výsledku skenovania.

Z tab. 4 vyplývajú tieto závery:

- Výsledná presnosť na rovine rovnobežnej so snímkovou je rovnaká alebo vyššia ako apriórne odhadovaná, a to na úrovni presnosti 0,5 – 0,8 pixelu na snímkovej rovine.
- V smere osi záberu bola dosiahnutá presnosť na snímkovej rovine na úrovni až 0,1 pixelu, čo však obrazová korelácia umožňuje a po použití vhodného algoritmu sú tieto výsledky relevantné.
- Presnosť dosiahnutá optickým skenovaním sa pohybuje v hodnotách blízky presnosti konvergentnej fotogrametrie určenia diskretných signalizovaných bodov. Tento fakt spolu s automatizáciou generovania povrchov je mimoriadne dôležitý a svedčí o vysokej efektívnosti metódy optického skenovania.
- Dosiahnutá presnosť optického skenovania v danej predmetovej vzdialenosti (20 m) je na úrovni presnosti modelovanej plochy z meraní impulznými skenermi (2 mm). Samozrejme, skracovaním predmetovej vzdialenosti sa bude presnosť optického skenovania úmerne zvyšovať. Presnosť fázových skenerov (0,3 až 3 mm) je možné dosiahnuť snímkaním zo vzdialenosti 1 – 5 m (závisí aj od textúry povrchu).
- Objektív s dvojnásobne dlhšou ohniskovou vzdialenosťou neprinesol pre dané predmetové vzdialenosti významné zlepšenie presnosti, dvojnásobne však zvyšuje priestorové rozlíšenie (menšia veľkosť pixelu na objektivej ploche), z čoho vyplýva podrobnejší záznam textúry povrchu.

Výsledky teda hovoria, že pri snímkovaní zo vzdialenosti napr. 5 m bude veľkosť pixelu na skenovanej ploche

0,70 mm (objektív $f = 45$ mm) a teoretická presnosť rekonštrukcie povrchu bude cca 0,35 mm pre každú os. Priestorová presnosť bodu potom bude 0,65 mm s maximálnymi chybami 1,25 mm.

Experiment 2 – hrad Beckov

Bralo s hradom bolo snímkané opäť strednoformátovou digitálnou kamerou s rozlíšením 33 megapixelov s objektívom s ohniskovou vzdialenosťou 45 mm. Snímkovanie komplikovala situácia okolo brala, kde je pomerne husto zastavaný intravilán a v spodnej časti prekážajú vo výhlade budovy, stĺpy, elektrické vedenia a pod. (obr. 6 vľavo). Na tvorbu modelu bolo použitých 12 snímok (obr. 6 vpravo). Hlavným problémom bolo snímkovanie „zo zeme“, keďže okolie brala si vyžadovalo snímkať z pozícií nad uvedenými prekážkami. Tento problém je pre terestrické laserové skenovanie v podstate neriešiteľný, maximálne by bolo možné skener umiestniť na vyvýšené miesto, ako napr. veža kostola.

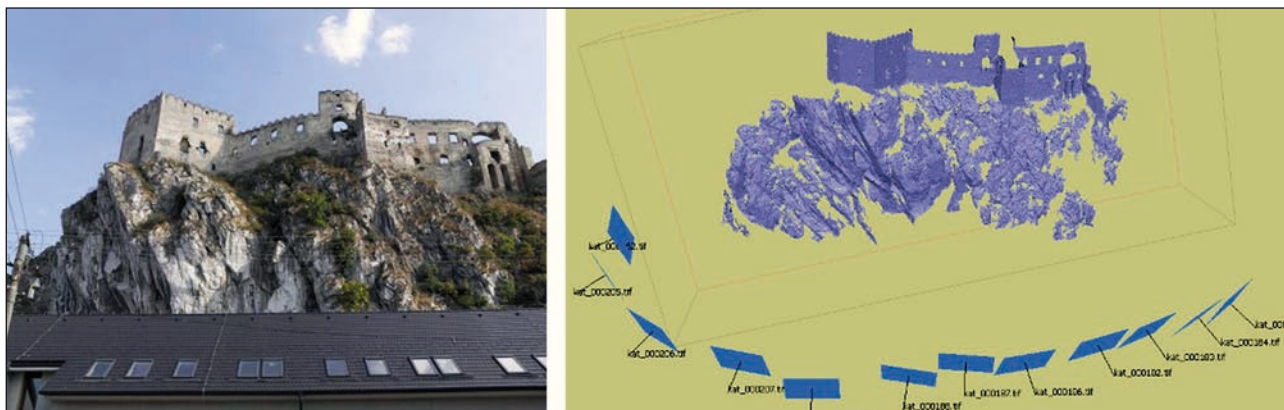
Pri optickom skenovaní je možné toto riešiť snímkaním z bezpilotovaných modelov (UAV – unmanned aerial vehicle), tie však majú nízku nosnosť, ktoréj je potrebné prispôbiť hmotnosť kamery, a takisto si vyžadujú zručného pilota, ktorý svoj model dobre ovláda.

Ďalšou možnosťou je prenájom malého lietadla alebo vrtuľníka a snímkovanie z ruky pri oblete celého objektu. To by však bola otázka financií, pričom letová hodina sa pohybuje okolo 150 – 300 € v závislosti od cenníka a dohody s konkrétnym aeroklubom, resp. pilotom.

Predmetové vzdialenosti snímkovania boli približne 100 – 150 m. Pre túto hodnotu boli vypočítané parametre uvedené v tab. 5.

Následné spracovanie prebiehalo v systéme PhotoScan, pričom bol generovaný TIN model (obr. 7), vyplnený sieťový model (obr. 8) a textúrovaný sieťový model (obr. 9).

Detailnosť, presnosť a úplnosť modelu by jednoznačne zvýšili šikmé letecké snímky, čím by sa celkovo docielila podstatne vyššia kvalita modelu. Práve mobilita metódy optického skenovania je v týchto prípadoch značnou výhodou oproti laserovému skenovaniu.



Obr. 6. Originálna snímka (vľavo), konfigurácia snímkovania (vpravo).

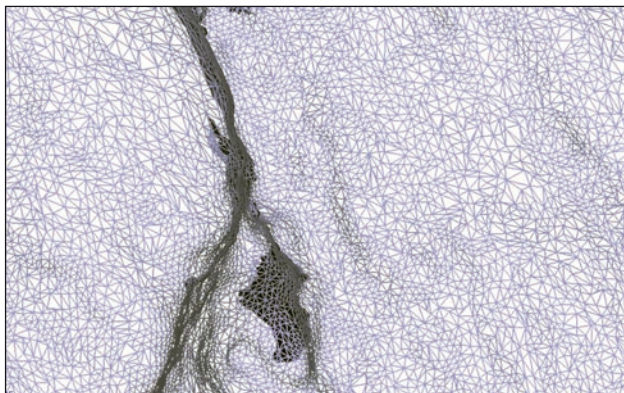
Fig. 6. Original image (left), camera stations configuration (right).

Porovnanie metód pre praktické využitie

Na obr. 8 a 9 vidieť diery v sieťovom modeli z optického skenovania. Diery sú spôsobené buď zákrytmi, alebo na týchto miestach nenastala vyhovujúca korelácia obrazov. To môže byť spôsobené viacerými faktormi:

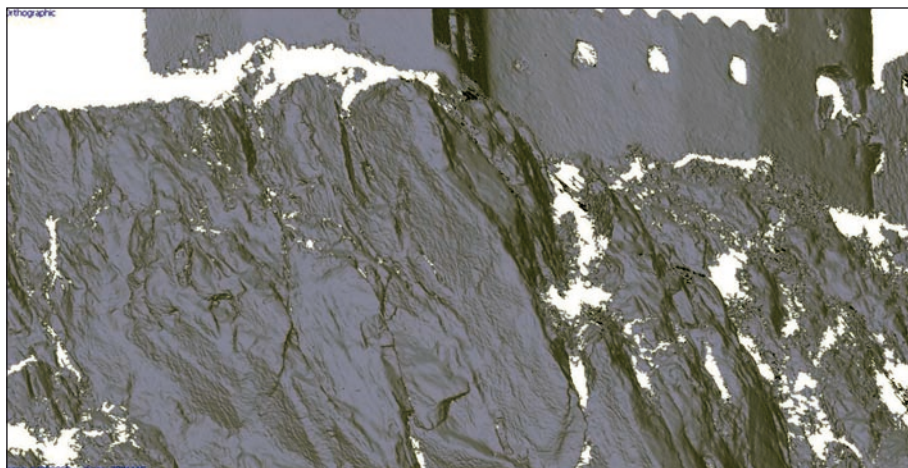
a) nízkou premenlivosťou textúry na objekte (napr. tieň, plochy bez štruktúry),

b) textúra na objekte je síce dobrá, ale priestorové rozlíšenie kamery je nedostatočné, a preto nedokáže túto textúru reprodukovat,



Obr. 7. Ukážka hustoty siete TIN, reálna dĺžka obrazca je 3 m.

Fig. 7. Show of TIN density, real length of image is 3 m.



Obr. 8. Sieťový model a diery spôsobené zákrytmi, tieňmi a vegetáciou.

Fig. 8. Mesh model and holes caused by occultation, shadows and vegetation.



Obr. 9. Textúrovaný sieťový model.

Fig. 9. Textured mesh model.

c) mierny zmaz na snímkach a nízky kontrast (napr. spôsobený zlým osvetlením alebo oparom) má rovnaký efekt ako v bodoch a) a b),

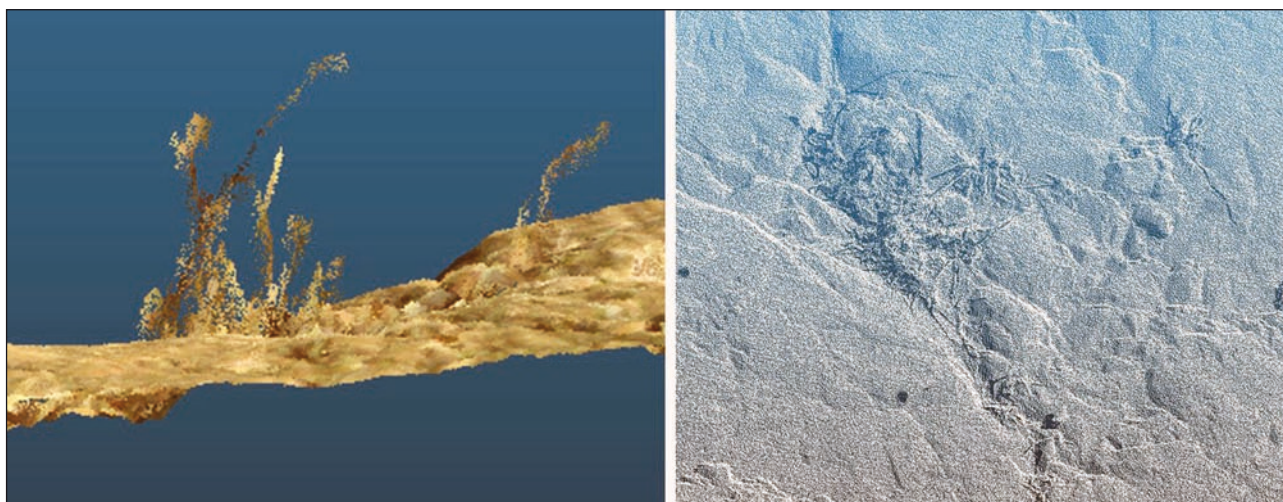
d) veľká priestorová členitosť objektu v kombinácii s perspektívnym zobrazením spôsobuje nepodobnosť obrazov,

e) pohybujúce sa objekty menia na jednotlivých snímkach polohu,

f) vegetácia, ktorá spôsobuje efekt z bodov d), e).

Výsledky porovnania obidvoch technológií vychádzajú z našich teoretických, ale hlavne praktických skúseností realizácie viacerých projektov a experimentov a sú prehľadne zhrnuté v tab. 6. Opierajú sa predovšetkým o skúsenosti skenovania horninových masívov a skalných povrchov. Najväčší problém spôsobuje práve vegetácia a zatienené miesta. Samozrejme, zákryty nepočítame, tam, kde kamera „nevidí“, nemôže nič skenovať (rovnako ako laserové skenery). Čiastočná alebo úplná absencia miest pokrytých vegetáciou sa ale môže javiť práve ako výhodná, pretože sa takto prirodzene filtruje model od nežiaducich údajov.

Naopak, výhoda laserového skenovania v tomto prípade spočíva v prechode laserového lúča pomedzi nie príliš hustú vegetáciu a v odraze od skalného povrchu. Laserové lúče však v plnom rozsahu detekujú aj vegetáciu (stromy, listy, trávnu – obr. 10) a samostatným problémom je potom takéto údaje – pokiaľ sú nežiaduce odfiltrovať.



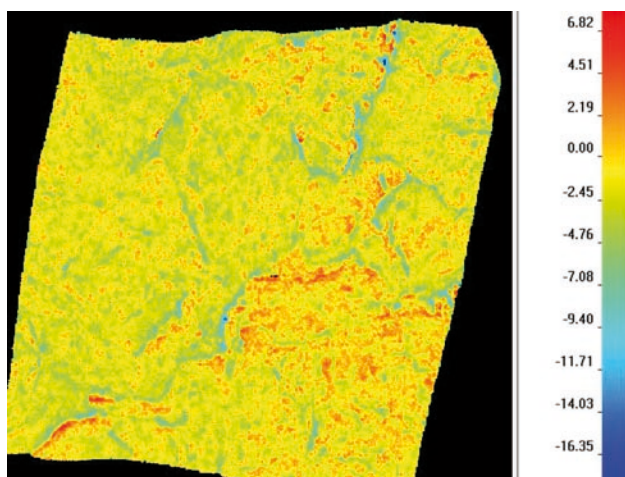
Obr. 10. Záznam vegetácie laserovým skenovaním.

Fig. 10. Record of vegetation by laser scanning.

Tab. 6

Porovnanie obidvoch metód z pohľadu praxe
Comparison of both methods from the viewpoint of praxis

Optické skenovanie – OS	Terestrické laserové skenovanie – TLS
+ výhody a nevýhody -	
- možná variabilita výsledkov ¹⁾ väčší výskyt hrubých chýb	+ stabilné výsledky
- klesajúca presnosť a rozlíšenie s narastajúcou vzdialenosťou	+ presnosť stabilná ²⁾ , rozlíšenie stabilné s narastajúcou vzdialenosťou
+ zvyšujúca sa presnosť a rozlíšenie až na 0,01 mm s klesajúcou vzdialenosťou	- presnosť stabilná, rozlíšenie s klesajúcou vzdialenosťou stúpa na max. úroveň 4 mm, resp. 1 mm (teoretická hustota)
+ vzdialenosti <5 m – vyššia presnosť ako TLS	+ vzdialenosti >20 m – vyššia presnosť ako OS
+ mračno bodov s vysokou rádiometrickou kvalitou	- mračno bodov s nízkou rádiometrickou kvalitou ³⁾
+ homogénna priestorová presnosť vo všetkých smeroch	+ homogénna priestorová presnosť vo všetkých smeroch
- potreba aspoň 2 snímkov (dvoch vhodne umiestnených stanovísk)	+ 1 stanovisko postačuje na generovanie 3D údajov
+ vysoká mobilita	- obmedzená mobilita
+ relatívne nízke obstarávacie náklady na hardvér a softvér	- vysoké obstarávacie náklady na hardvér a softvér
+ jednoduchý a rýchly zber údajov v teréne	- prácnejší, časovo, personálne a technicky náročnejší zber údajov v teréne
+ možnosť generovania kvalitnej ortosnímky	- ortosnímka s nízkou kvalitou ³⁾
- negatívne vplyvy pre zber údajov	
tiene	vysoká atmosférická vlhkosť
vegetácia	vysoká vlhkosť meraného povrchu
ploché (nepremennivé) textúry	veľmi tmavé a čierne plochy
veľká priestorová členitosť plochy	lesklé a kovové plochy
zlé svetelné podmienky a opar ovzdušia	nestabilné stanovisko
1) v závislosti od spôsobu softvérového nastavenia a spracovania	
2) neplatí pre vzdialenosti nad 300 m a fázové skenery	
3) neplatí pre skenery s možnosťou externého optického záznamu	



Obr. 11. Rozdiely laserového a optického skenovania v [mm] vyjadrené farebnou stupnicou.

Fig. 11. Differences between laser and optical scanning in [mm] expressed by colour scale.

Obr. 11 dokumentuje rozdiely sieťového modelu z laserového a optického skenovania. Maximálne rozdiely sú na hranách a ryhách, resp. puklinách, kde je predpoklad čiastočného zaoblenia hrán a vyplnenia rýh pri optickom skenovaní ako dôsledok tieňov. Svoju úlohu v rozdielovej mape zohráva aj šum údajov z laserového skenovania.

Záver

Z porovnania výsledkov laserového a optického skenovania s geodetickým meraním veľmi presnou univerzálnou meracou stanicou (tab. 3 a 4) vyplývajú závery, že pre predmetné vzdialenosti do 20 m je možné dosiahnuť obidvom skenovacími technológiami priestorovú presnosť skalného povrchu približne do 3 mm. Väčšie nepresnosti potom vyplývajú skôr z nedostatočnej hustoty záznamu pri veľmi členitých povrchoch a zo samotného algoritmu modelovania plochy z primárnych údajov – mračien bodov (obr. 11). Pre kratšie vzdialenosti (<5 m) je možné dosahovať optickým skenovaním až submilimetrovú presnosť, naopak, so zväčšovaním snímkovacej vzdialenosti presnosť úmerne klesá. Laserové skenovanie (impulzné skenery) je schopné zabezpečiť prakticky rovnakú presnosť, a to v rozsahu 3 – 5 mm pre predmetové vzdialenosti

od niekoľko metrov po niekoľko 100 metrov (Riegl VZ-400: Informačná brožúra, 2012). Hlavnou výhodou optického skenovania je kvalitný obrazový záznam z digitálnych kamier s vysokým rozlíšením, ktorý je nenahraditeľný pri identifikácii texturálnych a štruktúrnych prvkov a pre správnu interpretáciu výsledkov pozorovaní (Fraštia, 2009). Cieľom príspevku nebolo postaviť technológie optického a laserového skenovania do antagonistickej polohy, ale práve naopak, poukázať na pozitíva (a negatíva) metód (tab. 6) na optimalizáciu digitalizačných prác a rozšírenie možností tak objednávateľa, ako aj realizátora. Veľmi vhodnou alternatívou sa potom javí integrácia obidvoch technológií na zabezpečenie efektívnej realizácie a výsledku (Haličková et al., 2011).

References

- BALIAK, F., FRAŠTIA, M., & CHLEPKOVÁ, M., 2010: Photogrammetric measurements in geotechnics. In: *Sbor. vědeckých prací Vysoké školy báňské. Technická univerzita Ostrava*, 10, 2, 1 – 8.
- FRAŠTIA, M., 2009: Produkcia horninových masívov s rozlíšením a presnosťou vyššími ako 1 cm. In: *Geotechnical monitoring, 9th International Geotechnical Conference, Bratislava*, 263 – 267.
- FRAŠTIA, M., 2011: Blízka fotogrametria, jej aplikácie a nástroje. 19. slovenské geodetické dni [elektronický zdroj]. In: *Zbor. referátov. Bratislava: Komora geodetov a kartografov. Nestr.*
- HALIČKOVÁ, J., FRAŠTIA, M., & MARČIS, M., 2011: Integrácia údajov z terestrického laserového a fotogrametrického skenovania. In: *Aktuálne problémy geodézie, inžinierskej geodézie a fotogrametrie [elektronický zdroj]. Bratislava, STU SvF. Nestr.*
- LEICA SCANSTATION2: Informačná brožúra. [cit. 15.03.2012]. Dostupné na internete: <http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skenery-HDS/Leica-ScanStation-2_brochure-SK.pdf>
- LUHMAN, T., 2006: Close Range Photogrammetry. Scotland, UK: Whittles Publishing, p. 504.
- RIEGL VZ-400: Informačná brožúra. [cit. 15. 03. 2012]. Dostupné na internete: <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/10_DataSheet_VZ400_03-04-2012.pdf>
- ŠTRONER, M., & POSPÍŠIL, J., 2008: Terestrické skenovací systémy. Praha, ČVUT, 13 – 32.
- WAGNER, P., ONDREJKA, P., IGLÁROVÁ, L., & FRAŠTIA, M., 2010: Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. Bratislava, Miner. Slov., 42, 2, 229 – 240.

Rukopis doručený 12. 3. 2012

Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012

Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Laser vs. optical scanning of rock massifs

It is shown that the spatial precision of rock surface approximately 3 mm can be achieved (Tabs. 3 and 4) by both scanning technologies from an object distance of 20 m. Major uncertainties arise rather than the lack of density recording at a very rugged surface and modelling algorithm from primary data – cloud of points (Fig. 11). For short distances (<5 m) it is possible to achieve sub-millimeter accuracy by optical scanning, while increasing object distance decreases accuracy proportionally. Laser scanning (pulsed scanners) is able to provide virtually the same accuracy in the range from several meters to several hundred meters within the range 3–5 mm (Riegl VZ-400: An

information booklet, 2012). The main advantage of the optical scanning is a superior optical recording of digital high-resolution cameras, which is indispensable for the identification of textural and structural elements and for correct interpretation of the results of observations (Fraštia, 2009). The aim of paper was not to put the optical and laser technology to antagonistic position, but rather to highlight the positives (and negatives) of methods (Tab. 6) for optimization of digitization works, and enhancing possibilities of the customer and the contractor too. Integration of both technologies then seems as a very good alternative to ensure effective implementation and results (Haličková et al., 2011).