

# Földi lézerszkennő laboratóriumi vizsgálata

Berényi Attila – Dr. Lovas Tamás – Dr. Barsi Árpád

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem



Napjainkban egyre több felmérési, geodéziai projektben alkalmaznak új, innovatív mérési technológiákat, ezek közül az egyik kiemelkedő a földi lézerszkennelés. A legtöbb esetben a mérési körülményekről, a pontosságról, vagy a pontosságot negatívan befolyásoló tényezőkről egyáltalán nem esik szó. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fotogrammetria és Térinformatika Tanszéke a Burken Kft.-vel együttműködve átfogó laboratóriumi vizsgálatot végzett a Riegl LMS Z420i földi lézerszkennő mérési paramétereinek megállapítása céljából.

Az elemzés magában foglalta a pontossági vizsgálatokat, a beesési szög, valamint a különböző anyagok és színek visszavert jelre gyakorolt hatásának vizsgálatát. A cikk kiemelt célja, hogy segítse az építőmérnökök munkáját a jövőbeni lézerszkennelési mérési technológiát alkalmazó munkákban.

## A lézerszkennelésről – egy kicsit másképp

A lézerszkennelést általában korszerű távérzékelési technológiaként jellemezzük, amellyel lehetőség nyílik gyors, pontos térbeli adatgyűjtésre. Az eredmény egy 3D pontfelhő a felmért objektumról, gyakran fényképekkel kiegészítve; ilyen esetben a pontfelhő pontjai színinformációval láthatók el, így valós színű pontfelhőt állíthatunk elő.

Azonban mennyire pontos, mennyire megbízható ez a lézerszkennelt adat? A gyártó által megadott adatok milyen típusú mérések és mérési körülmények esetén helytállóak? Ha egy adott pontossági mérőszámot veszünk alapul (például 50 méteres távolságra vetítve 20 °C környezeti hőmérséklet esetén), hogyan tudjuk azt az adott mérési körülményeknek megfelelően kiterjeszteni? A cikk ezekre a kérdésekre keresi a választ.

A pontossági mérőszámok különösen fontosak a mérnöki alkalmazásokban, hiszen ezek a paraméterek határozzák meg egy adott technológia alkalmazhatóságát és ezen keresztül a felhasználási területeket.

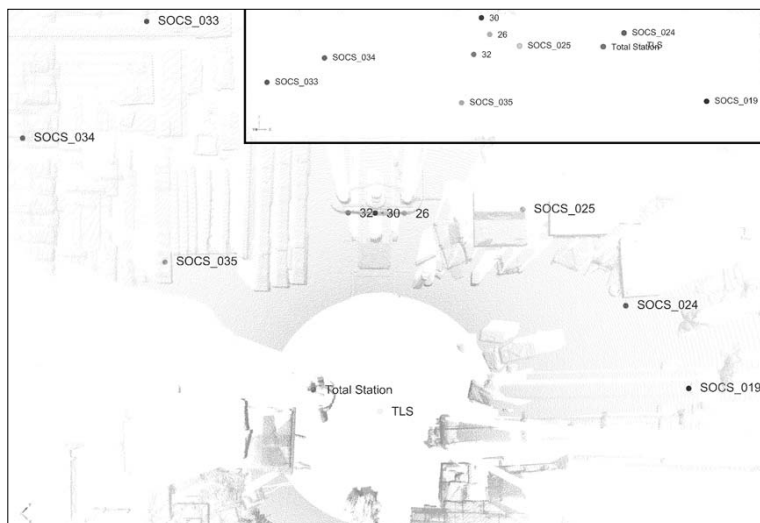
A méréseket a Hidak és Szerkezetek Tanszék laboratóriumában végeztük, az alkalmazott műszer egy Riegl LMS Z420i típusú földi lézerszkennő volt. A vizsgálatok elsődlegesen a következő területekre koncentráltak:

1. általános 3D pontossági mérőszámok levezetése;
2. lézersugár beesési szögének hatása;
3. különböző építőanyagok hatása a visszavert lézersugárra;
4. különböző színek hatása a visszavert lézersugárra.

Földi lézerszkennő laboratóriumi vagy terepi vizsgálatára számos példát találhatunk a szakirodalomban. A fázismérésen alapuló szkennerek (táv)mérési eredményeit vizsgálva megállapítható, hogy a rövid távú méréseket (~50 m) nem befolyásolják a légköri hatások (Molnár et al, 2009). A beesési szög vizsgálata a fázis- és időmérésen (time of flight) alapuló szkennerek esetében megmutatta, hogy míg az időmérésen alapuló műszerek 5–10°-ig képesek értelmezhető eredményt szolgáltatni, addig a fázismérésen alapuló eszközök biztos információt csak kétszer, háromszor nagyobb minimális beesési szög esetén képesek adni (Kersten et al, 2008).

## Általános 3D pontossági mérőszámok

A lézerszkennelési álláspontból 9 speciális pontot (reflektort) mértünk, amelyek a horizont 180°-os részét fedték le. Ezeket a pontokat egy Leica TCRM1203 típusú mérőállomással is megmértük



1. ábra A lézerszkennerek (TLS), a mérőállomás (Total Station) és a mért pontok helyzete (felülnézet), magasságkülönbségek a műszerek és a pontok között (előlnézet – jobb felső sarok).

és ezeket a méréseket használtuk a későbbiekben referenciaként. Az 1. ábrán a műszer és a mért pontok vízszintes elhelyezkedése látható.

A pontossági mérőszámok levezetésében a mérőállomás által szolgáltatott adatokat használtuk referenciaként, az alkalmazott műszer pontossága  $2\text{ mm} + 2\text{ ppm}$  (a gyártó adatai alapján). A számítások első lépéseként a két műszer által számított koordinátákból a pontok térbeli távolságának különbségeit határoztuk meg (1. táblázat). Az SOCS (scanner’s own coordinate system – a szkennerek saját koordináta rendszere) jelű pontok a lézerszkennerek által mért pontokat jelölik, míg 1001-től 1009-ig jelöltük a mérőállomással mért pontokat (az 1001-es mérőállomással mért pont megfelel a SOCS\_034-es jelű lézerszkennerekkel

mért pont, az 1002-es pont megfelelője a SOCS\_035 és így tovább).

A precíz pontosság-vizsgálathoz azonban hibaterjedési számításokra van szükség, amelyekkel lehetővé válik az általános 3D pontossági mérőszámok levezetése a geodéziai mérések alapján. Megjegyezzük, hogy a kiértékelés elsősorban a módszerre fókuszál, a különböző értékek nagymértékben függenek az alkalmazott technológiától, illetve a referáló geodéziai mérésektől és műszerektől.

### Hibaterjedés

A 9 mérési pontot – elhelyezkedésük az 1. ábrán látható

– mindkét műszerrel megmértük. A számítások során a „nyers” méréseket (szögek és távolságok) használtuk fel; szándékosan nem támaszkodtunk a műszerek által szolgáltatott koordinátákra. Első lépésben kiszámoltuk a pontok koordinátáit a nyers mérési eredményekből:

$$(X, Y, Z) = f_{TLS}(H, V, D),$$

ahol  $H$  a vízszintes szög,  $V$  a magassági szög (a szkennerek által szolgáltatott zenittávolságból számolva) és  $D$  a távolságot jelöli.

$$\begin{aligned} X &= f_{TL SX}(H, V, D) = D \cdot \cos(H) \cdot \cos(V) \\ Y &= f_{TL SY}(H, V, D) = D \cdot \sin(H) \cdot \cos(V) \\ Z &= f_{TL SZ}(H, V, D) = D \cdot \sin(V) \end{aligned}$$

1. táblázat

#### A két műszer adataiból levezetett távolságok eltérése (a pontok között) [mm]

	SOCS_034	SOCS_035	SOCS_033	SOCS_032	SOCS_030	SOCS_026	SOCS_025	SOCS_024	SOCS_019
1001	0	6,2	3,0	3,2	4,1	3,7	4,1	5,6	7,0
1002	6,2	0	9,2	0,8	0,8	0,6	0,3	0,0	1,1
1003	3,0	9,2	0	3,7	5,4	5,7	6,1	8,1	9,4
1004	3,2	0,8	3,7	0	1,1	0,2	0,0	3,0	4,8
1005	4,1	0,8	5,4	1,1	0	0,2	0,7	1,9	3,7
1006	3,7	0,6	5,7	0,2	0,0	0	0,1	2,1	3,2
1007	4,1	0,3	6,1	0,0	0,7	0,1	0	1,8	3,0
1008	5,6	0,0	8,0	3,0	1,9	2,1	1,8	0	1,1
1009	7,0	1,1	9,4	4,8	3,7	3,2	3,0	1,1	0

A koordináták szórásnégyzete minden egyes mért pontra (feltételezve, hogy a mért értékek függetlenek):

$$\begin{aligned} \mu_X^2 &= g_{TLX}(H, V, D, \mu_H^{TLX}, \mu_V^{TLX}, \mu_D^{TLX}) = \\ &\left(\frac{\partial f_{TLX}}{\partial H}\right)_0^2 \cdot (\mu_H^{TLX})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLX}}{\partial V}\right)_0^2 \cdot (\mu_V^{TLX})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLX}}{\partial D}\right)_0^2 \cdot (\mu_D^{TLX})^2; \\ \mu_Y^2 &= g_{TLY}(H, V, D, \mu_H^{TLY}, \mu_V^{TLY}, \mu_D^{TLY}) = \\ &\left(\frac{\partial f_{TLY}}{\partial H}\right)_0^2 \cdot (\mu_H^{TLY})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLY}}{\partial V}\right)_0^2 \cdot (\mu_V^{TLY})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLY}}{\partial D}\right)_0^2 \cdot (\mu_D^{TLY})^2; \\ \mu_Z^2 &= g_{TLZ}(H, V, D, \mu_H^{TLZ}, \mu_V^{TLZ}, \mu_D^{TLZ}) = \\ &\left(\frac{\partial f_{TLZ}}{\partial H}\right)_0^2 \cdot (\mu_H^{TLZ})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLZ}}{\partial V}\right)_0^2 \cdot (\mu_V^{TLZ})^2 + \left(\frac{\partial f_{TLZ}}{\partial D}\right)_0^2 \cdot (\mu_D^{TLZ})^2; \end{aligned}$$

ahol például:

$$\frac{\partial f_{TLX}}{\partial H} = -D \cdot \sin(H) \cdot \cos(V)$$

A többi parciális derivált ismertetésétől terjedelmi okokból eltekintünk.

A számítások során kezdeti értéként vettük figyelembe a gyártó által meghatározott pontossági szórás értéket ( $\pm 5$  mm), melyet felbontottunk a különböző tengely irányú vetületekre. Ezen vetületek eredőjét képeztük minden egyes pontra a számítás pontosságának ellenőrzése céljából:

$$\mu_i = \sqrt{\mu_{X_i}^2 + \mu_{Y_i}^2 + \mu_{Z_i}^2} = \pm 5 \text{ mm.}$$

Két pont közötti távolság:

$$d_{i,j} = p_d(X_p, Y_p, Z_p, X_j, Y_j, Z_j),$$

ami kifejtve:

$$d_{i,j} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2}.$$

Végül a hibaterjedés függvénye:

$\mu_{d_{i,j}} = q_d(X_p, Y_p, Z_p, X_j, Y_j, Z_j, \mu_{X_p}, \mu_{Y_p}, \mu_{Z_p}, \mu_{X_j}, \mu_{Y_j}, \mu_{Z_j})$ , jelen esetben a szórásnégyzetekkel (a mérések függetlenségének feltételezése mellett):

## 2. táblázat

**A távolságok szórása [mm]**

	SOCS_034	SOCS_035	SOCS_033	SOCS_032	SOCS_030	SOCS_026	SOCS_025	SOCS_024	SOCS_019
1001		13,2	2,9	11,4	10,9	10,7	10,0	10,3	11,3
1002	13,2		10,3	8,0	8,0	8,8	9,7	9,8	10,7
1003	2,9	10,3		12,3	11,5	11,1	9,7	10,2	11,5
1004	11,3	8,0	12,4		5,4	9,2	10,0	9,3	10,1
1005	10,9	8,0	11,5	5,4		8,2	9,7	8,7	9,3
1006	10,7	8,8	11,1	9,2	8,2		10,0	8,0	8,7
1007	10,0	9,7	9,7	10,0	9,7	10,0		4,1	6,5
1008	10,3	9,8	10,2	9,2	8,7	8,0	4,1		6,2
1009	11,3	10,6	11,5	10,1	9,3	8,7	6,5	6,2	0

$$\begin{aligned} \mu_{d_{i,j}}^2 &= \left(\frac{\partial p_d}{\partial X_i}\right)_0^2 \cdot \mu_{X_i}^2 = \left(\frac{\partial p_d}{\partial Y_i}\right)_0^2 \cdot \mu_{Y_i}^2 = \left(\frac{\partial p_d}{\partial Z_i}\right)_0^2 \cdot \mu_{Z_i}^2 + \\ &+ \left(\frac{\partial p_d}{\partial X_j}\right)_0^2 \cdot \mu_{X_j}^2 = \left(\frac{\partial p_d}{\partial Y_j}\right)_0^2 \cdot \mu_{Y_j}^2 = \left(\frac{\partial p_d}{\partial Z_j}\right)_0^2 \cdot \mu_{Z_j}^2. \end{aligned}$$

Példaként:

$$\frac{\partial p_d}{\partial X_i} = \frac{(X_i - X_j)}{d_{i,j}}.$$

Ez esetben is eltekintünk a többi parciális derivált megadásától.

A fentiek alapján az eredmények a 2. táblázatban láthatók.

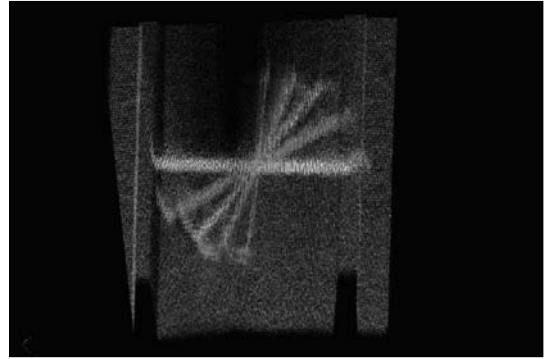
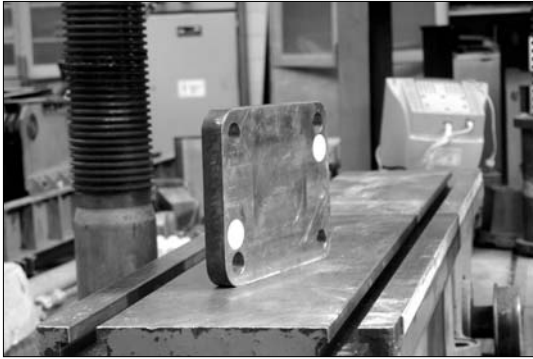
Az eredmények, azaz a mátrix összes elemének könnyebb értelmezése szempontjából a fontosabb statisztikai mérőszámok a következők:

$$\begin{aligned} \min(\mu_d) &= 2,9 \text{ mm,} \\ \max(\mu_d) &= 13,2 \text{ mm,} \\ \text{átlag}(\mu_d) &= 8,3 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Az eredmények azt mutatják, hogy általános esetben a műszer által nyújtott pontosság jobb a gyártó által megadott értéknél, de a szerzők fontosnak tartják megjegyezni, hogy a levezetett mutatók csak az adott laboratóriumi körülmények között érvényesek.

## A beesési szög hatása

A technológia ilyen irányú vizsgálata különösen fontos lehet akkor, amikor szűk helyeken (például keskeny folyosókon) kell méréseket végezni. Ilyen esetben a méréstervezéshez elengedhetetlen ismernünk a műszerünk mérési korlátait, vagyis azt, hogy milyen beesési szög mellett kapunk még értelmezhető, feldolgozható adatot. Ha a lézersugár túl hegyes szögben éri el a felméréndő



2. ábra A beesési szögek elemzésénél vizsgált objektum és a különböző helyzetek pontfelhői (felülnézet).

objektum felületét a visszavert jel szóródik, és csupán a töredéke érkezik vissza a műszerbe. Ennek hatásaként zajos, szellemképes, pontatlan eredményeket kaphatunk.

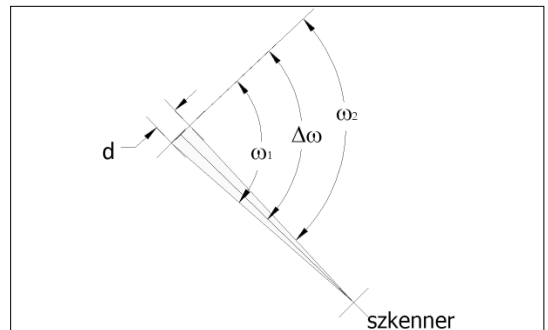
Annak érdekében, hogy a beesési szög szélső (kritikus) értékét meghatározzuk, egy 50 mm vastag acél tárcsát forgattunk és szkenneltünk. A forgatási szögek pontos meghatározását (3. ábra) és egyéb numerikus kiértékelési szempontokat szem előtt tartva két prizmat helyeztünk el az objektum felületén (2. ábra). Többek között vizsgáltuk a két pontot összekötő szakasz ( $d$ ) hosszát minden egyes forgatási állapotban és annak változását ( $\Delta d$ ) a különböző (elforgatott) pozíciók között.

Az acéllapot 8 különböző pozícióban mértük. Az eredmények alapján a 8. szkennelés eredményeként előálló pontfelhő szignifikánsan kevesebb pontot tartalmazott, mint az azt megelőzők, így ezt a szkennelés a kiértékelési folyamatba nem vettük figyelembe. A meghatározott paraméterek (például a felragasztott prizma koordinátáiból levezetett konstans távolság) alapján a 7. mérés durva hibával terheltnek bizonyult, így ezt a mérési eredményt is kizártuk a további vizsgálatokból.

Az elemzés eredményeként a szélső szögérték hozzávetőlegesen  $10^\circ$  ( $170^\circ$ ). A szélső szögérték meghatározásának pontossága a forgatás szögfelbontása miatt alacsony, ennek pontosítását a következő laborkísérletek folyamán tervezik a szerzők.

Ennél kisebb beesési szög esetén a pontfelhő szakadozottá, a modellezés és a numerikus információk levezetése bizonytalaná, pontatlanná válik. Megjegyezzük, hogy ez az érték függ a vizsgált objektum anyagától, ezzel a következő fejezetekben foglalkozunk részletesebben.

A pontosabb eredmények érdekében a vizsgálat továbbfejleszthető a kritikus tartomány pontosabb, nagyobb felbontású vizsgálatával.



forgatás	$\omega = \text{átlag}(\omega_1; \omega_2)$	$d$	$\Delta d$
1	90,00	0,310	
2	121,94	0,311	0,001
3	137,52	0,310	0,000
4	142,50	0,312	0,002
5	158,49	0,313	0,003
6	162,21	0,306	-0,004
7	168,33	0,314	0,004
8	176,73	–	–
9	179,14	–	–

3. ábra Forgatási szögek és az objektumon lévő mérőpontok távolsága, a mért koordináták alapján [ $^\circ$ , m]

### Az anyagok hatása a visszavert sugárra

A különböző anyagok visszavert jelre gyakorolt hatásának vizsgálata érdekében a felmérésbe számos olyan anyag vontunk be, amelyek gyakran előfordulnak az építőmérnöki gyakorlatban. A szkennelt anyagokat a 4. ábra mutatja.

A különböző anyagok a lézerszkennelés szempontjából különböző visszaverő-képességgel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A visszaverő-képesség egy 0 és 1 közötti szám, amely a műszer által kibocsátott és a beérkező lézersugár intenzitásának arányát mutatja.



4. ábra Az anyagok hatásának teszt objektumai.

rendelkeznek. Nagy pontosságot igényelt a minta-objektumok elhelyezése, különösen méreteik elérése miatt.

Az elemzést – az emberi hibák minimalizálása érdekében – saját fejlesztésű szoftverrel végeztük. Első lépésként a különböző anyagok szkennelése által lefedett térrészek metszetét kellett képeznünk, hogy minden anyagról a hasonló mérési paraméterek mellett felmért pontok legyenek vizsgálhatók. Ezt követően az egyes pontfelhő-kivágatok elemzése történt meg (minden anyag esetén  $1 \text{ dm}^2$ ), melynek eredményeit a 3. táblázatban közöljük.

A vizsgálatok kibővítése után a szerzők célja egy olyan lézerszkennelési katalógus összeállítása, amelyben a különböző anyagok lézerszkennelési potenciálja található.

#### A színek hatása a visszavert sugárra

A színek visszaverő-képességre gyakorolt hatásának elemzése érdekében egy falapot matt fekete, szürke és fehér festékekkel vontunk be. A várakozásoknak megfelelően a legjobb paramétereket a fehér szín esetében kaptuk, míg a legrosszabbakat a fekete oldalon (5. ábra).

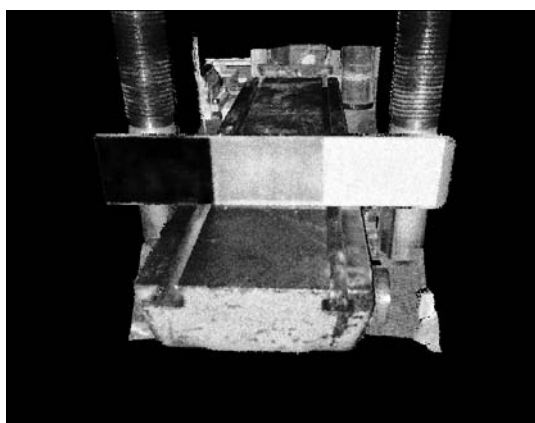
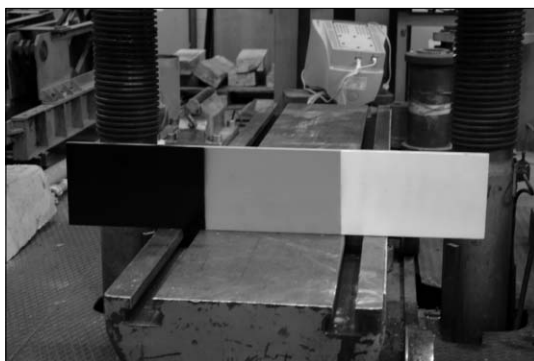
A 4. táblázatban a kiértékelés numerikus eredményei láthatók. Az utófeldolgozási folyamatot itt is közvetlen emberi beavatkozás nélkül, saját fejlesztésű programokkal végeztük el. A kiértékelő szoftverek a különböző területek kijelölése után (ami egy adott szögtartomány megadását jelenti), pontosan  $1 \text{ dm}^2$  területen vizsgálták a visszaverődött pontok számát és azok intenzitás értékeit.

Jól látható, hogy a fehér szín esetén 2,7-szeres a visszavert jel átlagintenzitása a feketére festett anyaggal szemben.

#### 3. táblázat

##### Visszaverődési értékek különböző anyagok esetén

Anyag	Pontok száma	Visszaverő-képesség			
		Min.	Max.	Medián	Átlag
Acél	3621	0,133	0,195	0,145	0,147
Beton	3598	0,172	0,227	0,199	0,198
Beton (festett)	3626	0,141	0,227	0,188	0,186
Fa hasáb	3596	0,199	0,254	0,227	0,226
Fahús	3597	0,168	0,250	0,203	0,204
Fakéreg	3590	0,184	0,254	0,215	0,216
Lakkozott fa	3652	0,203	0,270	0,246	0,246
Nyers fa	3597	0,203	0,231	0,231	0,232
Tégla	3597	0,227	0,281	0,250	0,251



5. ábra A teszt objektum és visszaverődési képe (legrosszabb – fekete, legjobb – fehér).

#### 4. táblázat

##### Pontsűrűség és visszaverődési értékek

Szín	Pontok száma	Visszaverő-képesség			
		Min.	Max.	Medián	Átlag
Fehér	3640	0,207	0,258	0,231	0,232
Szürke	3640	0,156	0,211	0,180	0,181
Fekete	3619	0,035	0,129	0,086	0,085

## Összefoglalás, jövőkép

Számos mérnöki alkalmazás motiválta a fentiekben részletezett kísérleteket. A lézerszkennelési technológia jövőbeni felhasználói számára fontos lehet, hogy bizonyos hatások (színek, anyagok, beesési szögek) hogyan befolyásolják méréseik végeredményét, annak pontosságát. A mérési objektumok mérésre gyakorolt hatása mellett nagyon fontos szempont az eredmények (pontok) 3D pontossága, hiszen ez a tulajdonság a mérnöki gyakorlatban alkalmazott adatnyerési technológiák egyik legfőbb jellemzője. Az elvégzett kísérletek bizonyítják, hogy a gyártó által megadott adatok helytállóak, a műszer a specifikáció szerinti pontossággal működött.

A kísérletek következő fázisában a mérési körülmények megváltoztatása mellett szeretnénk vizsgálni a technológiát. Terveink között szerepel a pontosságvizsgálat kiterjesztése több száz méterre lévő objektumok mérésével, valamint szélesebb vízszintes és magassági tartományt lefedő térrészek szkennelésével. A kutatás célja továbbá a kísérletek elvégzése kultúrára, valós mérési körülmények között annak érdekében, hogy a kapott eredmények a lehető legnagyobb mértékben közelítsék a valóságban tapasztalható viszonyokat.

A szélső szög megállapítására irányuló vizsgálat megmutatta, hogy  $\sim 10^\circ$  alatt az eredmények megbízhatósága jelentősen lecsökken. A gyakorlatban alkalmazott anyagokról elmondható, hogy egy fényes acélfelület kevésbé jó tulajdonságokkal rendelkezik a lézerszkennelés szempontjából, mint egy fáfelület, bár nagy eltérést nem mutatnak. A színek esetében az eredmény a várakozásoknak megfelelően alakult: a fekete felületekről jelentősen kisebb energiájú jelet kapunk vissza.

A szerzők célja a korábbi építőmérnöki alkalmazások (Berényi et al, 2009) pontfelhőinek vizsgálata színek és anyagok szempontjából, integrálva a laboratóriumi kísérletek tapasztalatait. Ezen túlmenően a színek hatásainak vizsgálata, szélesebb színskálát felvonultató objektum vagy objektumok segítségével, kiegészítve ezt fényes festékek hatásának vizsgálatával.

További kutatási lehetőségeket rejt magában a különböző gyártóktól származó műszerek összehasonlító vizsgálata, elemzése egy átfogó laboratóriumi vagy terepi kísérlet-sorozat keretén belül, ami szintén szerepel a szerzők tervei között.

## Köszönetnyilvánítás

A cikkben tárgyalt kutatás a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A szerzők köszönetet mondanak a Burken Kft.-nek a műszerek biztosításáért.

## IRODALOM

- Berényi Attila – Lovas Tamás – Barsi Árpád – Dunai László (2009): Potential of Terrestrial Laserscanning in Load Test Measurements of Bridges, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Vol. 53, No. 1, pp. 25–33.
- Kersten, Thomas P. – Mechelke, Klaus – Lindstaedt, Maren – Sternberg, Harald (2008): Geometric Accuracy Investigations of the Latest Terrestrial Laser Scanning, FIG Working Week 2008, Integrating Generations, Stockholm, Sweden, June 14–19., p. 16.
- Lovas Tamás – Berényi Attila – Barsi Árpád – Dunai László (2009): Földi lézerszkennelők alkalmazhatósága mérnöki szerkezetek deformáció mérésében, *Geomatikai Közlemények*, XII, pp. 281–290.
- Molnár, Gábor – Pfeifer, Norbert – Ressel, Camillo – Dorninger, Peter – Nothegger, Clemens (2009): On-the-job Range Calibration of Terrestrial Laser Scanners with Piecewise Linear Functions, *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, Vol. 2009, No. 1, pp. 9–21.

## Laboratory tests of a terrestrial laserscanner

Berényi, A. – Lovas, T. – Barsi, Á.

### Summary

In many laser scanning projects the measurement circumstances, accuracy issues are not discussed in detail. The Department of Photogrammetry and Geoinformatics has carried out a comprehensive laboratory investigation in order to specify the measurement parameters of a Riegl LMS Z420i terrestrial laser scanner.

The investigation includes accuracy assessment, evaluation of the effect of incident angle and effects of different materials and colors on reflectivity. The paper discusses the measurement technique, the overall post-processing procedure and the results. The paper intends to focus on the measurement and processing methods instead of the evaluation of the particular laser scanner's capabilities, thus it can help civil engineers in the forthcoming laser scanning campaigns.