



# PROBNO LASERSKO SNIMANJE SPILJE SAMOGRAD U PEĆINSKOM PARKU GRABOVAČA

Nenad Buzjak<sup>1</sup>, Duje Kalajžić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geografski odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu

<sup>2</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

U članku su navedeni preliminarni rezultati probnog laserskog skeniranja obavljenog u spilji Samograd (Pećinski park Grabovača, Perušić). Skeniranje je obavljeno skenerom FARO Focus 3D X130. Zbog nedostatka odgovarajućeg svjetla izrađen je monokromatski oblak točaka. Skenovi su obrađeni i registrirani u softveru FARO SCENE te naknadno obrađeni programom CloudCompare. Konačni oblak točaka snimljen u prvih 50 m spilje sastoji se od 145 milijuna točaka te ima razlučivost od 5 mm. Prostorni podaci iz oblaka koriste se za geomorfološku analizu, a plan je koristiti ih i u mikroklimatskom modeliranju.

**Ključne riječi:** lasersko skeniranje, oblak točaka, speleološki nacrt, prostorna analiza, spilja

**Keywords:** laser scanning, point cloud, cave survey, spatial analysis, cave

## ► Uvod

U metode izmjere i izrade speleoloških nacrti temeljene na korištenju optičkog kompasa, padomjera i mjerne vrpce, veliku

revoluciju unijeli su prenosivi i lagani elektronički instrumenti i uređaji za prikupljanje, obradu i vizualizaciju podataka. Prvi takav ručni uređaj bio je laserski daljinomjer, predstavljen još 1994. godine (Lasić 2008). Ta

je, prvo glomazna, a zatim sve manja i moćnija sprava, ubrzala direktna i indirektna mjerenja poligonskih i pomoćnih vlakova, te omogućila mjerenje teško dostupnih i nedostupnih dijelova kanala i dvorana, te površina

Slika 1 | Podešavanje i puštanje skenera u rad.  
Foto: Nenad Buzjak



i volumena. Sljedeći korak bila je pojava daljinomjera s još dvije funkcije korisne speleolozima: mjerenje azimuta i nagiba. Ona u široku upotrebu nije ušla kroz komercijalna rješenja, nego kroz pojavu modula koje su korisnici ugrađivali u odabrane modele ručnih daljinomjera. Tako su speleolozi dobili mogućnost mjerenja kutova, memoriju za podatke te bežičnu komunikaciju s prijenosnim uređajima (ručnim računalima i pametnim telefonima) na kojima se mogla obavljati kontrola kvalitete mjerenja, crtanje i vizualizacija. Pri tome je kvaliteta nacрта, kao za vršnog "proizvoda", ovisna o vještini snimatelja, strpljenju, uvjetima i broju uzetih točaka na temelju kojih se konstruiraju profil, tlocrt i poprečni presjeci.

Na sličnom principu kao i laserski daljinomjer, funkcionira i laserski skener ili LiDAR. To je uređaj pomoću

kojeg se, u relativno kratkom vremenu, može prikupiti veliki broj prostornih podataka. Laserski skener u pravilnim i kratkim vremenskim razmacima u prostor oko sebe odašilje lasersku zraku. Ona se reflektira od plohe ili predmeta (npr. stijenke spiljskog kanala ili sige) i vraća natrag do skenera. Softver skenera određuje udaljenost analizirajući ukupno vrijeme "putovanja" na temelju faznog kašnjenja emitiranog i odbijenog, tj. primljenog vala laserske zrake. Kombinacija izmjerene udaljenosti i kuta s određenog stajališta (na kojem je instrument postavljen) daje koordinate tražene točke u 3D prostoru. Skeniranje se, dakle, odvija metodom registracije udaljenosti i kuta do određene točke u području snimanja. Rezultat ovakvog načina snimanja je skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka (Miler i dr. 2007). Suvremeni skeneri su opremljeni i fotokamerom pa

je, osim oblaka točaka, moguće dobiti i fotorealistične 3D modele. Pri tome je u speleološkim objektima najveći problem osigurati dovoljno kvalitetnog svjetla, posebno u velikim prostorima.

Korištenje ovog tipa na laserskoj tehnologiji baziranih mjernih instrumenata u Hrvatskoj je još uvijek rijetka, iako nije nova i nepoznata. Razloga rjeđe primjene je nekoliko: od još uvijek visokih cijena skenera i softvera za obradu i vizualizaciju podataka dobivenih analizom oblaka točaka, do velike osjetljivosti skenera na ekstremne uvjete u speleološkim objektima i velikog rizika od oštećenja i kvarova. Laserska tehnologija slična LiDAR-u po prvi je puta u Hrvatskoj primijenjena za izradu profila spilje Vrelo kod Fužina 1992. godine (Furić i Garašić 1992). U novije vrijeme laserski skener je korišten za snimanje Cerovačkih pećina, Đulinog

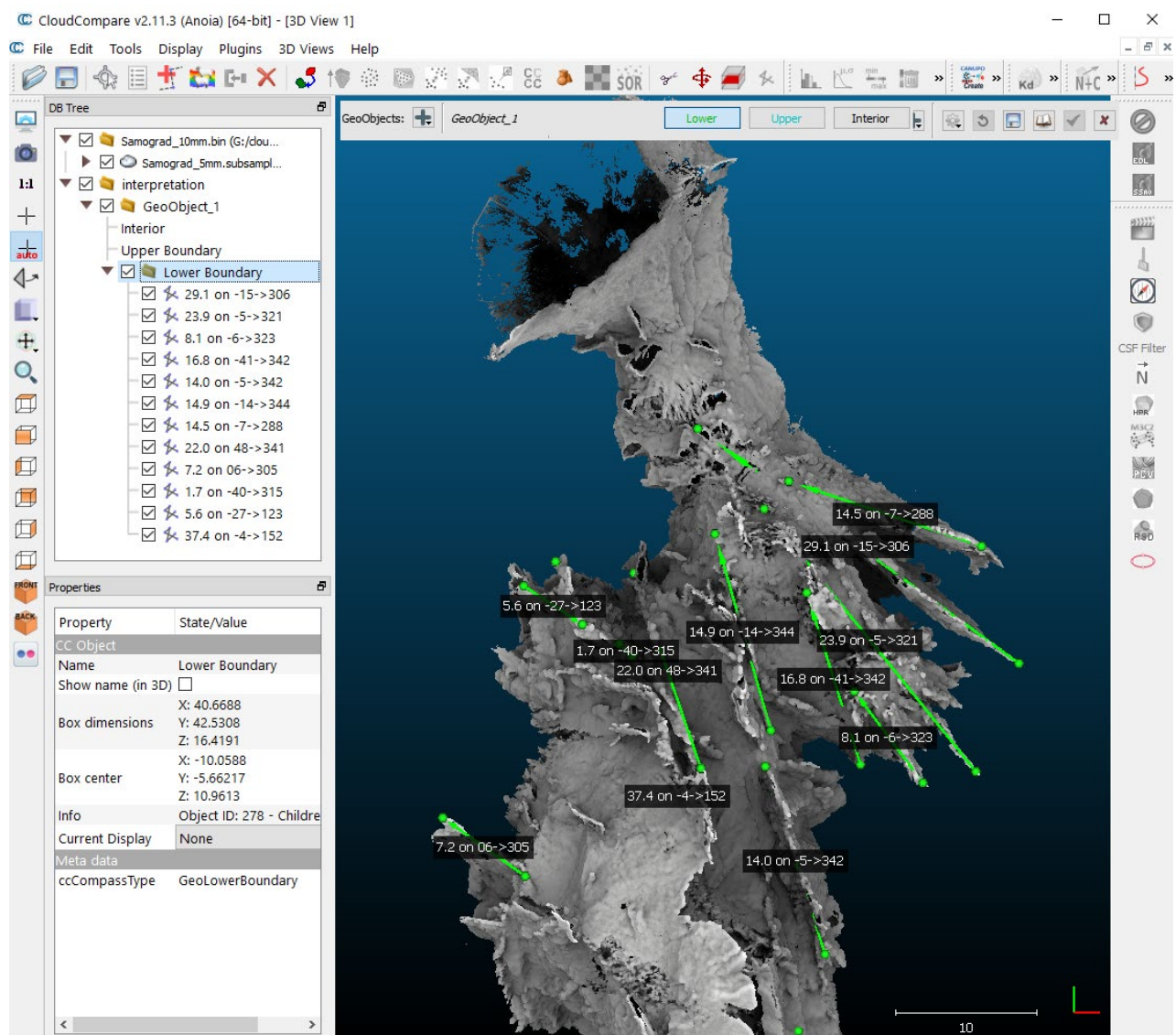
ponora, spilje Kuća i Golubinka (Đapo i Redovniković 2019). U svijetu također upotreba ove tehnologije nije česta. No pojava prenosivih uređaja, poput ručnog skenera Leica BLK2GO ili GeoSLAM Zeb-Revo, daje naslutiti puno širu primjenu u budućnosti (Dewez i dr. 2017, Santagata 2018). Laserski skeneri, odnosno njima snimljeni oblaci točaka u speleologiji su našli široku primjenu – od snimanja za potrebe uređenja turističkih speleoloških objekata, monitoringa leda i geomorfoloških procesa do primijenjenih geoloških istraživanja i sl. (Gallay i dr. 2015, Idrees i Pradhan 2018, Konsolaki i dr. 2019, Pukanska i dr. 2019, Šupínský i dr. 2019, Walters i Zupan Hajna 2020).

## ► Lasersko skeniranje spilje Samograd

Lasersko skeniranje spilje Samograd rezultat je suradnje Geografskog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, Građevinskog fakulteta u Rijeci i JU Pećinski park Grabovača. Za lasersko snimanje korišten je laserski 3D skener FARO Focus 3D X130 (slika 1). Skener ima domet od 0,6 do 130 m s preciznošću od  $\pm 2$  mm te mjeri do milijun točaka u sekundi. Posjeduje kameru za snimanje sferne fotografije od 70 megapiksela pomoću koje izmjerene točke, osim položaja u prostoru, dobivaju i informacije o boji snimanog objekta pa je moguće kreirati vrlo detaljne i realistične 3D modele. Radi upoznavanja s

posebnostima snimanja u spiljskom okolišu koje je zahtjevno i za snimatelje i za opremu (niska temperatura zraka, strujanje zraka, visoka relativna vlažnost zraka, kapanje vode, lebdeće čestice, prljanje instrumenta blatom), ovo je snimanje bilo probne prirode. Dana 18. 8. 2021. snimljen je ulazni dio spilje i Prva dvorana u ukupnoj duljini od 50 metara od točke ulaza.

Zbog slabih svjetlosnih uvjeta i nemogućnosti ravnomjernog osvjetljenja čitavog objekta, spilja je snimljena bez korištenja kamere. Zato je dobiveni oblak točaka monokromatski, odnosno prikazan je u nijansama sive boje. Žrtvujući boje, trajanje snimka je kraće za cca 3 minute što je



Slika 2 | Izvlačenje linija i priprema podataka za morfometrijsku analizu pukotinskih sustava u programu CloudCompare.



**Slika 3** | U CloudCompare-u izrezani poprečni presjek dvorane. Na takvim je prikazima u samom softveru moguće izvoditi vrlo precizne izmjere dimenzija i pratiti strukturno-geomorfološke elemente bitne za speleogenezu speleološkog objekta. Lijepo su vidljivi dimnjaci, pukotinski sustavi i pojedine sige u stropu kanala. Razlučivost isječka je 5 mm pa su moguće izmjere velike točnosti i analiza mikrodetalja.

omogućilo da se s jednim punjenjem baterije obavi skeniranje s više lokacija te da se "ulovi" više detalja, odnosno podataka o geometriji samog objekta.

Već je preliminarna obrada podataka dala odlične rezultate koji će biti korišteni u strukturno-geomorfološkim istraživanjima, tj. istraživanju povezanosti geoloških struktura i speleogeneze, zatim u istraživanju akumulacijskih i denudacijskih mikroreljefnih oblika, te u naprednim modeliranjima koja će pomoći u izradi planiranog mikroklimatskog modela spilje u kojem će biti korišteni i rezultati mikroklimatskog istraživanja (Buzjak 2021). Na temelju ovako

preciznih prikaza moguće je raditi detaljne analize speleomorfoloških odnosa na temelju generiranih tlocrta, te poprečnih i uzdužnih presjeka s različitih pozicija.

Postavke skenera:

- *Rezolucija: 1/5 (na skali od 1/32 do 1/1)*
- *Kvaliteta: 4x (min. 2x, maks. 6x)*
- *Veličina snimka: 28M točaka*
- *Udaljenost između točaka: 7.67 mm/10m*
- *Vrijeme trajanja snimka: cca 5:34*

Snimljeno je ukupno 18 skenova koji su obrađeni i registrirani pomoću programa FARO SCENE te

naknadno obrađeni programom CloudCompare u kojem su isprobane mogućnosti vizualizacije i strukturno-geomorfološke analize (slike 2 i 3). Radi se o besplatnom softveru koji je "pojačan" s više *plug-inova* od kojih su neki jako korisni u speleomorfološkim analizama. Pojedinačni skenovi se sastoje od 40 do 45 milijuna točaka, dok je finalni sken reduciran na razlučivost od 5 mm i ukupno ima 145 milijuna točaka.

#### ► Planovi za nastavak istraživanja

Probnim laserskim skeniranjem Samograda skupljeno je dragocjeno

iskustvo koje će se iskoristiti u planiranju snimanja cijele spilje koje je planirano za 2021. godinu. Osim toga, u proljeće 2021. godine u sklopu projekta "Geomorfološka istraživanja na području Nacionalnog parka Plitvička jezera" voditelja izv. prof. dr. sc. Nevena Bočića (Geografski odsjek PMF-a), započeto je detaljno lasersko skeniranje spilje Golubnjače. Laserski snimak bit će korišten u geomorfološkim istraživanjima i povezivanju s mikroklimatskim značajkama spilje. Sljedeći cilj je lasersko skeniranje spilje u sedri Vilinske jame u Samoborskom gorju. Namjena skeniranja je povezati precizne prostorne podatke s lokacijama uzorkovanja sedre radi rekonstrukcije njene geneze i paleogeografskih uvjeta.

### ► Zahvale

Za podršku u realizaciji snimanja zahvaljujemo doc. dr. sc. Igoru Ružiću (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci), ravnateljici Jeleni Milković, mag. geogr. (JU Pećinski park Grabovača) i izv. prof. Nevenu Bočiću (Geografski odsjek PMF-a). Skener korišten za snimanje je nabavljen u sklopu Europskog projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na Kampusu Sveučilišta u Rijeci (RISK).

### ► Literatura

- Buzjak, N. 2021: Mikroklimatsko istraživanje spilje Samograd. <https://antares.geog.pmf.hr/grabovaca/> (29. 6. 2021.)
- Dewez, T., Thuon, Y., Plat, E. 2017: Towards cavity-collapse hazard maps with Zeb-revo handheld laser scanner point clouds. *The Photogrammetric Record*, 32 (160), 354–376.
- Đapo, A., Redovniković, L. 2019: Izmjera speleoloških objekata. *Eksentar*, 20, 102-107.
- Furić, D., Garašić, M. 1992: Primjena novih geodetskih instrumenata i metoda pri istraživanju spilja (PROFILER 2000). *Spelaeologia Croatica*, Vol. 3, 61-65.
- Gallay, M., Kanuk, J., Hochmuth, Z., Meneely, J.D., Hofierka, J., Sedlak, V. 2015: Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domic Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 44 (3), 277-291.
- Idrees, M.O., Pradhan, B. 2018: Geostructural stability assessment of cave using rock surface discontinuity extracted from terrestrial laser scanning point cloud. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10, 534-544.
- Konsolaki, A., Vassilakis, E., Giannopoulos, V., Kontostavlos, G., Psaltakis, G. 2019: 3D rock thickness extraction by combining Point Clouds of different origin. Case Study: The roof of Koutouki Cave Peania, Greece. 15th International Congress of the Geological Society of Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Sp. Publ.
- Pukanská, K., Bartoš, K., Bella, P., Gašinec, J., Blistan, P., Kovanič, L. 2019: Surveying and High-Resolution Topography of the Ochtiná Aragonite Cave Based on TLS and Digital Photogrammetry. *Applied Sciences*, 10, 1-19.
- Santagata, T. 2018: 3D cave mapping with handheld and terrestrial laser scanning. Leica Geosystems, <https://leica-geosystems.com/case-studies/science-and-education/3d-cave-mapping-with-handheld-and-terrestrial-laser-scanning> (29. 6. 2021.)
- Šupinský, J., Kanuk, J., Hochmuth, Z., Gallay, M. 2019: Detecting dynamics of cave floor ice with selective cloud-to-cloud approach. *The Cryosphere*, 13, 2835–2851.
- Walters, R., Zupan Hajna, N. 2020: 3D laser scanning of the natural caves: example of Škocjanske jame. *Geodetski vestnik*, 64/1, 89-103.

## Laser Imaging Test of Samograd Cave in the Grabovača Cave Park

This article presents the preliminary results of a trial laser scan performed in the Samograd Cave (Grabovača Cave Park, Perušić). The scan was performed with a FARO Focus 3D X130 scanner. Due to the lack of adequate light, a monochromatic point cloud was created. The scans were processed and registered in the FARO SCENE software and subsequently processed by the CloudCompare software. The final point cloud, recorded in the first 50 m of the cave, consists of 145 million points and has a resolution of 5 mm. Spatial data from the clouds is used for geomorphological analysis, and the plan is to use them in microclimatic modelling.