Primljeno / Received: 10.07.2025.
Ispravljeno / Corrected: 25.09.2025
Prihvaćeno / Accepted: 15.11.2025.

UDK / UDC 528.482:681.783:699.852
Stručni rad / Professional article
DOI: https://doi.org/10.58817/2233-1786.2025.59.56.161

PRIMJENA RUČNIH MOBILNIH SKENERA U INŽENJERSKOJ GEODEZIJI

APPLICATION OF HANDHELD MOBILE SCANNERS IN ENGINEERING GEODESY

Goran Kaurić, Tamara Kecojević

SAŽETAK

U radu je opisana primjena ručnih mobilnih skenera u inženjerskoj geodeziji, s posebnim fokusom na snimanje i analizu tunelskog skloništa ispod pulskog amfiteatra Arena. U uvodnom dijelu opisana je raznovrsnost laserskog skeniranja u modernoj geodeziji te njegova sveobuhvatna primjena. Terenska izmjera obuhvatila je postavljanje geodetske osnove GNSS metodom i terestričkom metodom, čime su definirane referentne točke za precizno georeferenciranje podataka. Snimanje je provedeno ručnim mobilnim skenerom Stonex X120^{GO}, koji omogućuje generiranje oblaka točaka visoke razlučivosti. Obrađeni podaci uključuju georeferenciranje oblaka točaka u službeni koordinatni sustav HTRS96/TM i analizu u programima poput GoPost i Cube3D. Rezultati obuhvaćaju detaljne poprečne i uzdužne profile tunelskog skloništa, dobivene vektorizacijom presjeka u AutoCAD-u, kao i trodimenzionalnu rekonstrukciju prostora. Ovaj proces omogućio je preciznu vizualizaciju i analizu stanja tunela, uključujući ocjenu vlažnosti, derutnog stanja i strukturalnih karakteristika. Zaključno, rezultati ukazuju na mogućnosti optimizacije postojećih metoda i primjenu inovativnih tehnologija za precizno i učinkovito prikupljanje prostornih podataka.

Ključne riječi: ručni mobilni skeneri, tunelsko sklonište, Pula

ABSTRACT

The paper presents the application of handheld mobile scanners in engineering geodesy, with a particular focus on the surveying and analysis of the tunnel shelter located beneath the Pula amphitheater, the Arena. The introduction provides an overview of the versatility of laser scanning in modern geodesy and its wide range of applications. The fieldwork involved establishing a geodetic control network using both GNSS and terrestrial methods, which provided reference points for accurate data georeferencing. Surveying was performed with a Stonex X120GO handheld mobile scanner, capable of generating high-resolution point clouds. The processed data include georeferencing the point cloud to the official HTRS96/TM coordinate system and conducting further analysis in software such as GoPost and Cube3D. The results consist of detailed cross-sections and longitudinal profiles of the tunnel shelter, produced by vectorizing the extracted sections in AutoCAD, along with a three-dimensional reconstruction of the space. This workflow enabled precise visualization and assessment of the tunnel's condition, including evaluations of moisture, degradation, and structural characteristics. Overall, the findings demonstrate the potential to optimize existing methods and to apply innovative technologies for accurate and efficient spatial data acquisition.

Keywords: handheld mobile scanners, tunnel shelter, Pula

Citiranje članka / To cite this article: Kaurić, G., Kecojević, T. (2025). Primjena ručnih mobilnih skenera u inženjerskoj geodeziji. *Geodetski glasnik, 56*, 161-174. | https://doi.org/10.58817/2233-1786.2025.59.56.161

1 UVOD

Lasersko skeniranje predstavlja beskontaktnu i neizravnu metodu mjerenja koja koristi lasersku zraku. Pojam "laser" dolazi od engleske skraćenice za "pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja" (engl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Od otkrića 60-ih godina 20. stoljeća, laser je pobudio interes znanstvenika u raznim disciplinama. Prvotno je bio primijenjen u temeljnim znanostima poput fizike i kemije, no ubrzo je njegova tehnologija pronašla širu primjenu u medicini, industriji, komunikacijama i drugim područjima (Tomić, 2023).

Lasersko skeniranje je napredna metoda prikupljanja podataka (Mulahusić, Topoljak i Tuno, 2017) te se njenom primjenom u kratkom periodu prikupi mnogo podataka vezanih za geoprostorni položaj snimanih objekata ili pak njihove unutrašnjosti (Hamzić i dr., 2025a; Hamzić i dr., 2025b). Prednosti su te metode mnogobrojne, a najvažnija je mogućnost dobivanja modela snimljenog objekta u 3D virtualnom prostoru u najkraćem mogućem roku (Mulahusić i dr., 2015; Mulahusić i dr., 2016; Mulahusić, Ambrožič, Topoljak i Tuno, 2021). Koristi se za snimanje velikih ploča, ruralnih i urbanih područja, morskog dna, fasada, kipova i arheoloških artefakata (Mulahusić i dr., 2013; Mulahusić i dr. 2020; Mulahusić i dr., 2022; Tuno i dr., 2024). U ovome radu je obrađena primjena mobilne laserske tehnologije putem ručnog mobilnog skenera za snimanje tunelskog skloništa u gradu Puli u Republici Hrvatskoj.

2 LASERSKO SKENIRANJE U INŽENJERSKOJ GEODEZIJI

Godina 1957. ostat će zapamćena po lansiranju prvog umjetnog satelita, čime je Sovjetski Savez otvorio svemirsko doba. Iste godine, Gordon Gould, diplomirani student na Sveučilištu Columbia koji je radio s I. I. Rabijem, prvi je opisao principe lasera. U svom opisu naveo je korištenje dvaju paralelnih, djelomično reflektirajućih zrcala za stvaranje optičke šupljine visoke kvalitete (Q), koja omogućuje fotonima da putuju okomito na površine zrcala. Gould je odmah uočio potencijal lasera za primjenu u instrumentima zahvaljujući njegovom vrlo monokromatskom svjetlu koje se može precizno kolimirati. Među njegovim vizionarskim idejama bile su Q-prebacivanje, tehnika za generiranje kratkih i intenzivnih laserskih impulsa idealnih za mjerenje udaljenosti ili dosega, kao i jednoprolazna pojačala za povećanje energije svakog impulsa (Carter i dr., 2007).

Mogućnosti primjene laserskog skeniranja u geodeziji su velike, pa se lasersko skeniranje koristi u oblastima:

- inženjerske geodezije (za brzo snimanje zahtjevnih građevinskih objekata poput mostova, tunela i cesta),
- kartiranja i topografije (za izradu detaljnih topografskih karata i modela terena),
- podzemne geodezije (za skeniranje rudnika, tunela i skloništa) i
- praćenja deformacija (za praćenje pomicanja tla i građevinskih struktura).

Za primjer, implementacija laserskog skeniranja otvara nove mogućnosti u analizi procesa u okolišu, omogućujući brzo i precizno prikazivanje reljefa te omogućuje prelazak s tradicionalnih metoda točkastog mjerenja na diferencijalne analize modela reljefa. Samim time, pruža precizne informacije o promjenama u reljefu i pojavi erozije, uključujući intenzitet, raspon i ključne događaje tih procesa. Istraživanje je provedeno u planinskom šumskom području s velikim

brojem mjernih postaja, što je rezultiralo gustim oblakom točaka jer se lasersko skeniranje definiše kao metoda koja rezultira oblakom točaka (Marjetič, 2018).

Metoda diferencijalnog modela omogućila je procjenu erozijskih pojava poput rillsa (mali kanali ili žlijebovi), nastalih površinskim ispiranjem, što tradicionalne metode mjerenja nisu mogle postići (Dąbek i dr., 2017).

3 LASERSKI SKENERI ZA TRODIMENZIONALNO SKENIRANJE U INŽENJERSKOJ GEODEZIJI

Trodimenzionalni laserski skeneri koji se koriste u inženjerskoj geodeziji mogu se podijeliti prema specifičnim kriterijima koji odgovaraju primjeni u geodetskim zadacima. Osnovna geodetska podjela laserskog skeniranja je na lasersko skeniranje iz zraka (ALS - engl. *Airborne Laser Scanning*) i lasersko skeniranje s zemlje (TLS - engl. *Terrestrial Laser Scanning*). Za skeniranje velikih površina terena najčešće se koriste zračne letjelice kao platforme za nošenje skenera. S druge strane, ograničena područja, poput strmih terena (primjerice kamenoloma), detaljnih modela zgrada, mostova, tunela ili pojedinačnih skulptura, prikladnija su za skeniranje s fiksnih stajališta (Lasić, 2008). Upravo zbog toga se može reći da je terestričko lasersko skeniranje metoda koja omogućava, u veoma kratkom vremenskom razdoblju, mjerenje velikog broja prostornih koordinata točaka koje predstavljaju točnu površinu skeniranog objekta (Balon, 2007; Šćurić, 2019; Kregar i dr. 2023).

Nadalje, laserski skeneri mogu se podijeliti prema tehnologiji mjerenja na terestričke statične laserske skenere, mobilne LiDAR sustave, ručne mobilne skenere i Aerial LiDAR skenere.

3.1 Terestrički statični laserski skeneri

Stacionarni uređaji velikog dosega idealni su za precizno snimanje/mapiranje krajolika, velikih građevinskih i infrastrukturnih objekata. Obično se postavljaju na stative ili fiksne točke te se koriste za detaljna snimanja mostova, zgrada i tunela. Njihov rad temelji se na tehnologijama poput Time-of-Flight ili fazne razlike, osiguravajući visoku razinu točnosti mjerenja. Rezultat prikupljanja podataka laserskim skenerom je oblak točaka sa koordinatama u lokalnom koordinatnom sistemu instrumenta (Kregar, 2019).

3.2 Mobilni LiDAR sustavi

Koriste se za kartiranje u pokretu i često se montiraju na vozila. Omogućuju brzo prikupljanje podataka za geodetske potrebe, poput snimanja prometnica, željeznica ili urbanih područja.

3.3 Ručni mobilni skeneri

Prijenosni uređaji kojima se ručno upravlja, namijenjeni za precizno skeniranje teško dostupnih ili uskih prostora, poput tunelskih skloništa, rudnika ili interijera zgrada. Ovi uređaji prilagođeni su za rad u dinamičnim uvjetima, koristeći tehnologije poput SLAM-a (engl. *Simultaneous Localization and Mapping*).

3.3.1 Ručni mobilni skener Stonex X120^{GO}

Ručni mobilni skener koji je korišten u svrhu snimanja podzemnog tunelskog skloništa je Stonex X120^{GO} (Slika 1). Ručni mobilni skener X120^{GO} je napredni sustav za prikupljanje trodimenzionalnih podataka, opremljen rotirajućom glavom koja pruža pokrivanje 360°×270° i koristi SLAM algoritam za visoko precizne mjerenja bez potrebe za svjetlom i GNSS-om. S tri kamere od 5 MP, sustav može istovremeno prikupljati teksture i generirati obojene točkaste oblake te panoramske slike. Ručni mobilni skener X120^{GO} ima integrirani dizajn s ugrađenim kontrolama, prostorom za memoriju i zamjenjivim baterijama, omogućujući brz početak rada. Prikupljeni podaci mogu se obraditi pomoću softvera Cube-3D ili PointCaba, zahvaljujući suradnji s tvrtkom PointCaba (STONEX, 2025).

Slika 1. Ručni mobilni skener Stonex X120^{GO}.

Upravljanje skenerom Stonex X120^{GO} vrši se putem mobilne aplikacije GOapp koja ima mogućnosti poput upravljanja projektima, prikaza oblaka točaka u stvarnom vremenu, pregleda fotografija, ažuriranja. Aplikacija radi na Android i iOS operativnim sustavima (STONEX, 2025).

Tehničke specifikacije ručnog mobilnog skenera Stonex X120^{GO} se date u Tablici 1.

Tablica 1.
Tehničke specifikacije Stonex X120^{GO} (STONEX, 2025)

TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	
Maksimalni doseg	120 m
Minimalni raspon	0,5 m
Relativna točnost	Do 6 mm
Apsolutna točnost	5 cm
Okomita razlučivost	16 kanala
Frekvencija točke skeniranja	320.000 bodova/s
Vidno polje	Vodoravno 360° Okomito 270°
Laserska klasa	1
Jačina odsjeka	8 bita
KAMERA	
N. od kamere	3 (pa 5 MP)
FOV fotoaparata	200° × 100°
Slika	Polu-sferni
SUSTAV	
Pohrana podataka	32 GB (proširivo)
Način rada	Vizualizacija u stvarnom vremenu
Komunikacija	NFC, Wi-fi
DIMENZIJE	
Dimenzija	372 mm × 163 mm × 106 mm (bez nosača)
Neto težina	1,6 kg (bez baterije)
NAPAJANJE	
Trajanje baterije	2.5 h (svaki set baterija)
Potrošnja energije	25 W
Kapacitet	3350 mAh × 4
Voltaža	20-30V
RADNI UVJETI	
Temperatura	-10 °C do 45 °C
Vlaga	< 85 % relativne vlažnosti
Vodootporan/otporan na prašinu	IP54

3.4 Aerial LiDAR skeneri

Montirani na zrakoplove ili dronove, ovi uređaji omogućuju snimanje velikih područja s visokom preciznošću (Mulahusić, Topoljak i Tuno, 2017). Primjenjuju se u kartografiji za izradu karata na kojima će biti prikazano npr. praćenje erozije tla i analiza vegetacije (bespravna sječa, bolesti vegetacije, kultivacija zemljišta i sl.). Najnoviji komercijalni ALS instrumenti imaju optičke, elektro-optičke i mehaničke komponente koje mjere vektore od instrumenta do točaka na reflektirajućoj površini. Integrirane su u čvrst, kompaktan i zatvoren sklop poznat kao senzorska glava. Elektronički sustavi, uključujući napajanja, diode za pumpanje lasera, jedinicu za pohranu podataka i GNSS prijamnik, smješteni su u zasebnom kućištu. Ovi sustavi povezani su sa senzorskom glavom putem optičkih vlakana i elektroničkih kabela, što omogućuje precizan i pouzdan rad uređaja.

4 TRODIMENZIONALNO (3D) SNIMANJE I RAČUNALNA OBRADA

Terestričko lasersko skeniranje je provedeno u centru grada Pule, a predmet snimanja je bilo podzemno tunelsko sklonište ispod/uz Pulski amfiteatar „Arena“ (Slika 2 lijevo). Grad Pula ispod površine ima razgranatu mrežu tunela i podzemnih prostorija. Podzemne prostorije su građene u različitim vremenskim periodima i gradile su ih različite države. Prvenstvena namjena tunela i podzemnih prostorija je bila da u ratnim uvjetima posluže kao prostorije za sklonište ljudi i materijalnih dobara, a u mirnodobskim uvjetima da služe kao skladišta. Mreža tunela je prepoznatljiva po jedinstvenom nazivu „zerostrasse“.

Slika 2. Mikrolokacija tunelskog skloništa u Puli koje je predmet snimanja (lijevo); kružne kamene stepenice za silazak u sklonište.

Ulaz u sklonište je iz Flavijevske ulice. Sklonište je kružnim kamenim stepenicama (Slika 2 desno) povezano s podrumskim prostorijama zgrade u blizini Arene tako da se iz zgrade direktno moglo sići u sklonište.

4.1 Terenska izmjera

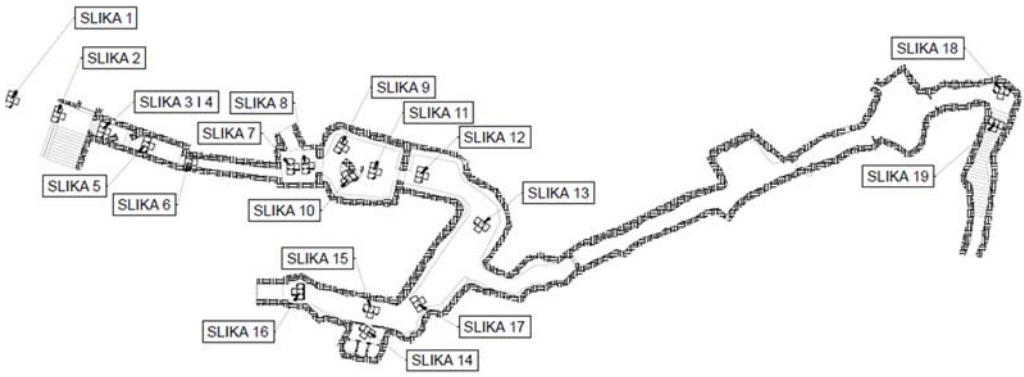
Prije početka snimanja, obavljen je terenski i vizualni pregled lokacije, uključujući vanjski pregled ulaza u sklonište i unutarnje prostore. Sljedeći korak bio je uspostavljanje geodetske osnove pomoću GNSS-a, uključujući dvije poligonske točke za stajalište i orijentaciju mjerne stanice te treću točku za kontrolu uspostavljanja slijepog poligonskog vlaka (nakon poligonskog ulaska u sklonište, položaj prve točke je provjeren pomoću treće kontrolne točke). Nakon toga, postavljene poligonske GNSS točke korištene su za ulazak u tunelsko sklonište primjenom slijepog poligonskog vlaka.

Unatoč izazovima poput Z ili L oblikovanih prolaza i kratkih vizura, izmjera je obavljena uspješno. Postavljene točke poslužile su kao vezne točke – GCP (engl. *Ground Control Points*) za ručni mobilni skener, kojima je cijeli oblak točaka pozicioniran u službeni koordinatni sustav HTRS96/TM. Skeniranje je zatim provedeno ručnim mobilnim skenerom Stonex X120^{GO}, prateći zadane putanje kako bi se kasnije olakšalo spajanje oblaka točaka i obrada podataka. Kako bi se

osigurala zatvorena petlja, operater se vratio se istim putem i završio skeniranje na početnoj točki. Korišteni skener, Stonex X120^{GO}, zahtijeva minimalno 4 GCP / točke za ispravan algoritam, no pri ovom snimanju korišteno je 7 GCP-ova što dodatno povećava pouzdanost i točnost oblaka točaka.

Nakon završenog skeniranja, postavljene su kontrolne točke na zemljinoj površini te je bespilotnom letjelicom snimljeno područje / zahvat površine terena ispod kojeg se nalazi tunelsko sklonište u svrhu dobivanja digitalnog ortofota (u svrhu vizualnog pregleda snimljenog područja i povezivanja sa podzemnim prikazom).

Za snimanje laserskim skenerom nije potrebno dodatno osvjetljenje, no korišteno je kako bi se operater lakše snašao i kretao mračnim hodnicima i prostorijama u tunelskom skloništu te kako bi fotografije snimljene skenerom prikazale stanje skloništa, uključujući vlažnost, derutno stanje i druge karakteristike. Nakon toga, izrađen je prikaz s pozicijama fotografija (Slika 3) i smjerovima u kojima je svaka od njih snimljena, što olakšava buduće snalaženje u prostoru.



Slika 3. Vizualni prikaz pozicija fotografija.

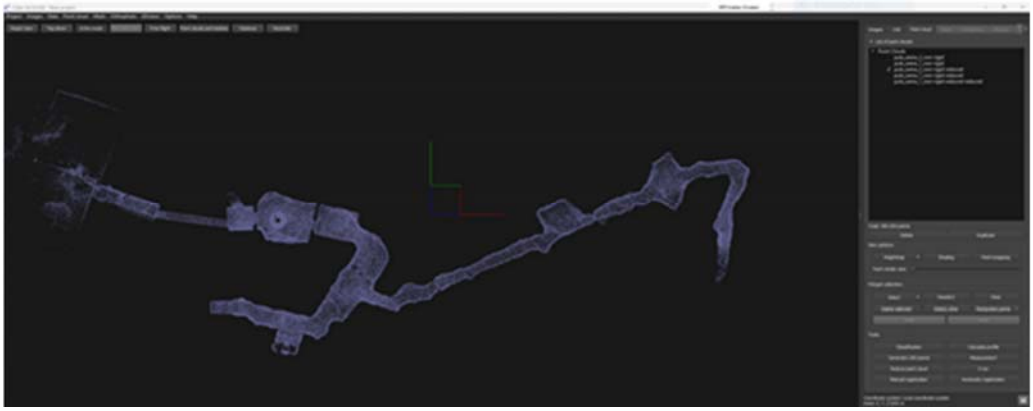
4.2 Obrada mjerenja

Obrada podataka izvedena je korištenjem različitih programskih paketa, ovisno o izvoru mjerenih podataka.

4.2.1 Obrada mjerenja - terenskih podataka prikupljenih skenerom

Za obradu i integraciju oblaka točaka prikupljenih Stonex X120^{GO} skenerom, korištena je aplikacija GoPost (Slika 4). U GoPost aplikaciji postavljeni su potrebni parametri, a kao izlazni rezultat dobiven je izvorni oblak točaka izvučen iz skenera u lokalnom koordinatnom sustavu. Kako bi oblak točaka bio smješten na pravi položaj u prostoru, učitane su kontrolne točke (GCP) prikupljene mjernom stanicom, obrađene u Cube programu i pretvorene u tekstualnu datoteku koja je korištena za georeferenciranje oblaka točaka. Pokretanjem opcije „orientation“ i odabirom metode algoritma u GoPost aplikaciji, oblak točaka je smješten položajno u HTRS96/TM i visinski u HVRS71 koordinatni sustav. Najčešće korištene metode uključuju najmanje kvadrate

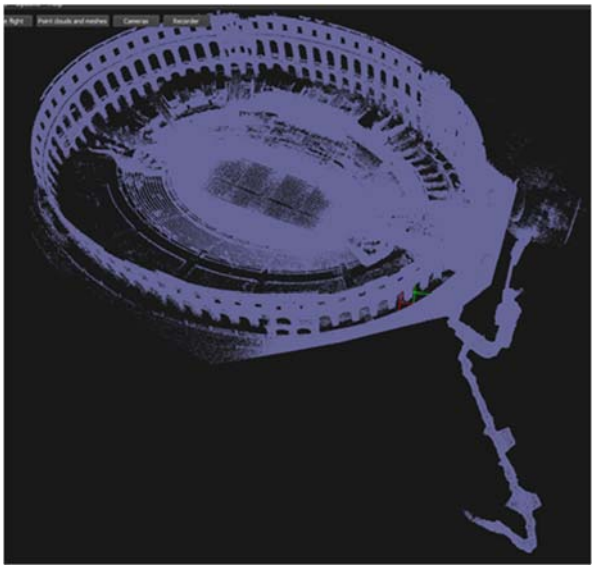
ili druge optimizacijske algoritme za smještanje oblaka točaka. Za daljnju obradu, dobiveni oblak točaka spremljen je u .las formatu.



Slika 4. Sučelje GoPost aplikacije sa prikazanim konturama tunelskog skloništa.

4.2.2 Obrada mjerenja - terenskih podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom

Podaci iz bespilotne letjelice DJI Mavic 3 Enterprise obrađeni su u programu Agisoft Metashape. Prvi korak u kreiranju ortofota iz fotografija snimljenih bespilotnom letjelicom pomoću Agisoft Metashape-a proces je uvoz fotografija, gdje se slike učitavaju u radno sučelje. Nakon toga je uslijedio proces registracije slika ili "alignment", tijekom kojeg Metashape prepoznaje zajedničke značajke među fotografijama i stvara osnovni 3D model. Sljedeći korak uključuje generiranje gustog oblaka točaka (engl. *dense cloud*), koji se koristi za daljnju izradu 3D modela područja. Na temelju ovog modela, kreiran je DEM (engl. *Digital Elevation Model*), digitalni model koji predstavlja topografiju terena, prikazujući visinske podatke u obliku mreže točaka sa specifičnim visinama. Kada je 3D model završen daljom obradom je izrađen ortomozaik.



Slika 5. Položaj Pulske arene (iznad zemlje) i tunelskog skloništa (ispod zemlje).

Iz oblaka točaka kreiranog bespilotnom letjelicom dobiven je prikaz površine tla iz kog se kasnije preklapanjem dva oblaka točaka koji su u jedinstvenom službenom koordinatnom sustavu HTRS96/TM dobiio presjek svoda skloništa i tla iznad njega (Slika 5). Ovim su stvorene mogućnosti za određivanje dubine sloja nad skloništem to jest dubina na kojoj se nalazi tunelsko sklonište i količina/volumen tla i materijala koji se nalazi iznad njega.

4.3 Obrada oblaka točaka tunelskog skloništa

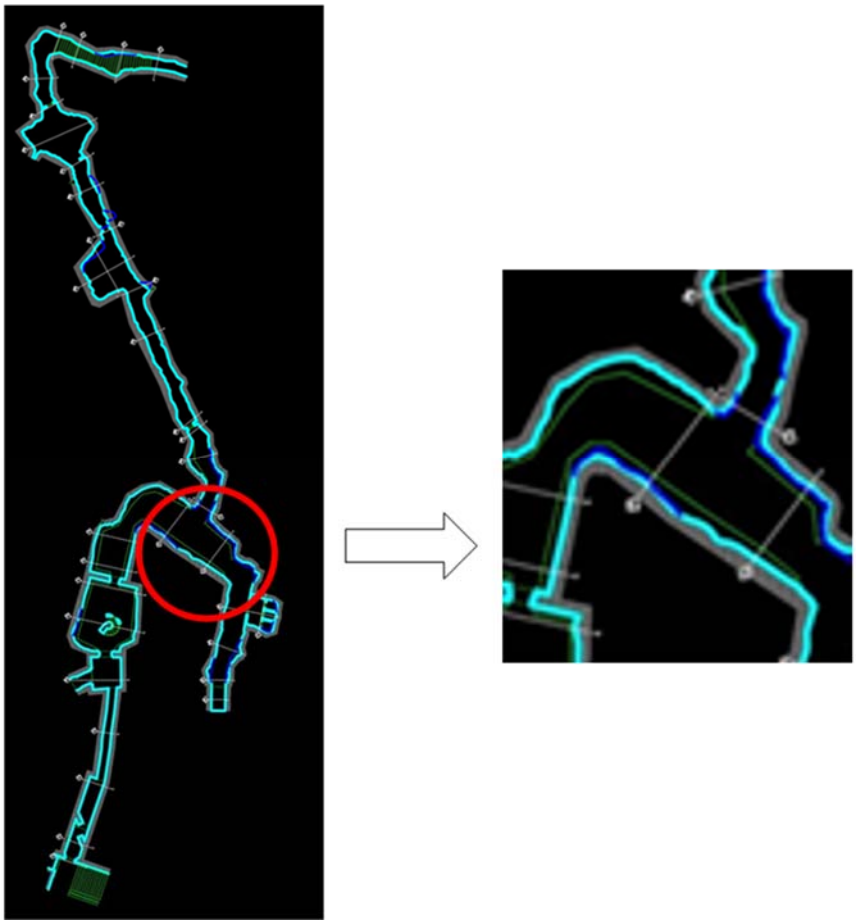
Oblak točaka uvezen je u program Cube3D koji je program za obradu i analizu podataka s 3D laserskih skenera i za izradu različitih tipova 3D modela. Pruža alate za precizno georeferenciranje, filtriranje podataka, vektoriziranje, vizualizaciju i generiranje visinskih modela, profila i drugih prikaza. U Cube3D, iskorištena je funkcija "X-ray" koja omogućuje vizualizaciju podataka kroz različite slojeve ili dubinske prikaze oblaka točaka. Ova funkcija omogućuje pregled i analizu podataka unutar određenih područja, simulirajući efekt X-zraka koji "prolazi" kroz slojeve podataka i omogućuje prikazivanje unutarnjih struktura, poput objekata ili površinskih detalja, koji bi inače bili nevidljivi. Dobiven 2D prikaz iskorišten je kako bi se definirale izmjerene konture tunelskog skloništa.

Slika 6. Preklop digitalnog ortofota s konturama tunelskog skloništa.

Digitalni ortofoto koji je kreiran iz bespilotne letjelice iskorišten je za preklop s konturama tunelskog skloništa iz kojeg se odmah može jasno prepoznati položaj skloništa i kojim područjem se on širi pod zemljom (Slika 6).

4.3.1 Poprečni i uzdužni profili

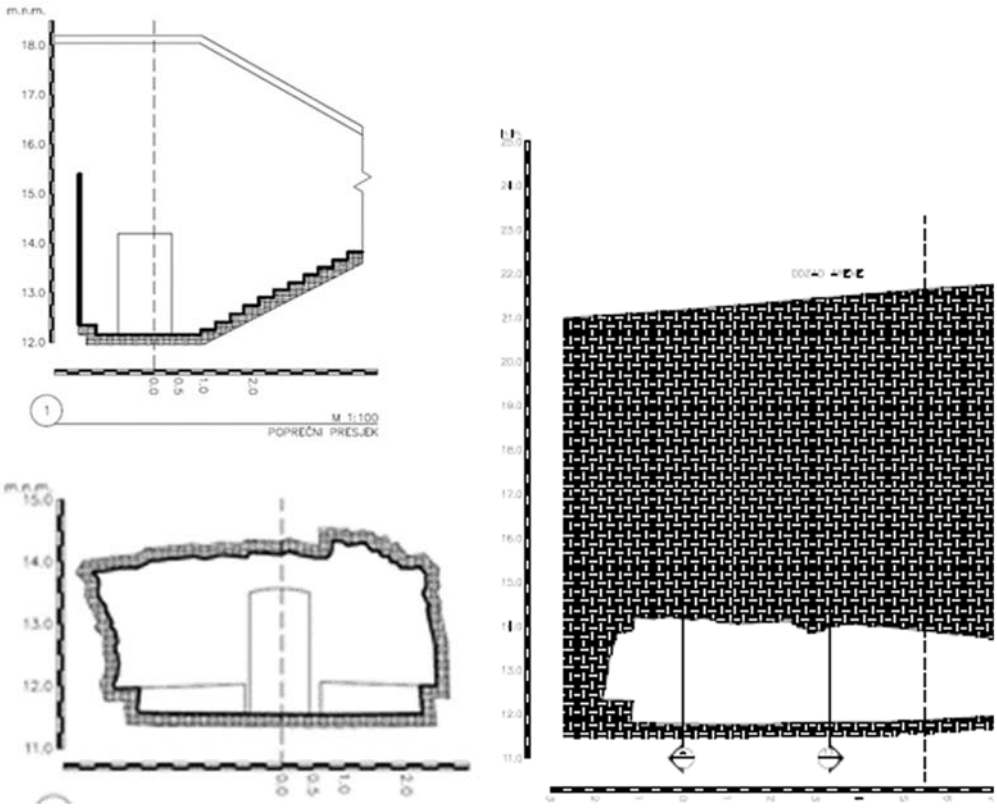
Za dobivanje poprečnih i uzdužnih profila tunelskog skloništa, oblak točaka najprije je učitan u program za crtanje poput AutoCAD-a. Ovaj postupak omogućuje preciznu vektorizaciju i izradu geometrijskih presjeka tunelskog prostora, što je ključno za daljnju analizu i izradu potrebite dokumentacije. Prvi korak u procesu je korištenje alata SECTIONPLANE kako bi se definirala ploha "PLANE". Ta se ploha postavlja određivanjem dvije točke koje definiraju njezin položaj i orijentaciju unutar prostora oblaka točaka. Nakon što je ploha definirana, koristi se alat SLICE kako bi se iz oblaka točaka stvorio "presječeni" dio podataka koji odgovara željenom profilu (Slika 7).



Slika 7. Položaji poprečnih profila.

Nakon kreiranja presjeka, potrebno je prilagoditi koordinatni sustav korištenjem alata za definiranje novog UCS-a (engl. *User Coordinate System*), koji se postavlja paralelno s presjekom. Time se osigurava pravilna orijentacija za crtanje i vektorizaciju detalja presjeka. Svaki profil, bilo da je poprečni ili uzdužni, izvlači se ponavljanjem ovog postupka za odabrane točke ili linije koje definiraju različite dijelove tunelskog skloništa.

Nakon što su profili kreirani i vektorizirani, oni se mogu dodatno obraditi i analizirati. Primjeri poprečnih profila tunelskog skloništa prikazani su na Slici 8, dok su uzdužni profili predstavljeni na Slici 9. Ova metoda omogućuje preciznu i detaljnu vizualizaciju unutrašnjosti tunelskog skloništa, što je od velike važnosti za daljnje geodetske, građevinske ili inženjerske projekte.



Slika 8. Poprečni profili (lijevo); uzdužni profil (desno).

4.4 Opći podaci dobiveni o tunelskom skloništu Arena

Nakon cjelokupne obrade mjerenih podataka, dobivene su opće informacije o tunelskom skloništu. Zaključeno je da tunelsko je sklonište smješteno sjeverno od amfiteatra u Puli, a imalo je dva ulaza. Ulaz iz Flavijevske ulice je u funkciji, dok je drugi ulaz zazidan Ulaz u amfitatar). Sklonište je trenutno prohodno, čisto, vlažno i ne propušta oborinske vode. Međutim, nema funkcionalnu električnu i sanitarnu infrastrukturu. Ukupna dužina skloništa iznosi 130 metara, dok je ukupna površina 330 m², a volumen 770 m³. Nadmorska visina ulaza iznosi 12,15 m., dok

je nadmorska visina zazidanog ulaza nešto niža i iznosi 11,98 m. Najniža točka skloništa ima nadmorsku visinu od 11,51 m, a najviša točka doseže čak 23,50 m..

5 ZAKLJUČAK

Ručni mobilni skeneri postaju sve važniji alat u inženjerskoj geodeziji, posebice u zahtjevnim okruženjima (podzemni prolazi, male prostorije, tunelska skloništa, podzemni fortifikacijski objekti …). Ovi uređaji omogućuju brzo i precizno prikupljanje podataka o geometriji prostora, stvarajući trodimenzionalne (3D) modele u realnom vremenu. Primjena skenera u tunelima donosi brojne prednosti, jedna od najvažnijih je i smanjenje vremena potrebnog za snimanje.

Osim toga, mobilni skeneri omogućuju digitalizaciju podzemnih prostora, što je ključno za kreiranje baze podataka za daljnju analizu i planiranje.

Zaključno, primjena ručnih mobilnih skenera značajno unapređuje geodetske postupke u tunelskim skloništima, pružajući brže, detaljnije i preciznije rezultate u usporedbi s tradicionalnim metodama. Njihova uporaba omogućuje bolje donošenje odluka i sigurnije upravljanje podzemnim prostorima.

Primjena prikaza tunelskih skloništa izrađenih na osnovu podataka prikupljenih pomoću ručnih mobilnih skenera predstavlja ključan korak u modernizaciji upravljanja podzemnim prostorima. Precizni 3D modeli pružaju nezamjenjive informacije za analizu sigurnosti, dokumentaciju i planiranje održavanja, istovremeno omogućujući integraciju u suvremene BIM sustave. Njihova prilagodljivost podržava prenamjenu skloništa, olakšava krizno upravljanje te doprinosi edukaciji i istraživanju. Zahvaljujući ovoj tehnologiji, tunelska skloništa postaju sigurnija, učinkovitije iskorištena i bolje očuvana, čime se značajno povećava njihova vrijednost u infrastrukturnim i zaštitnim sustavima.

LITERATURA

Balon, M. (2007). *Analiza uporabnosti tehnologije terestričnega laserskega skeniranja za metrično dokumentacijo zemeljskih plazov* (diplomski rad). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Dostupno na: https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=83813&lang=slv

Carter, W. E., Shrestha, R. L., Clint Satton, K. (2007). Geodetic laser scanning. *Physics Today, 60(12),* 41-46. https://doi.org/10.1063/1.2825070

Dąbek, P. B., Patrzałek, C., Ćmielewski, B., Żmuda, R., (2018). The use of terrestrial laser scanning in monitoring and analyses of erosion phenomena in natural and anthropogenically transformed areas. *Cogent Geoscience 4(1),* 1-18. https://doi.org/10.1080/23312041.2018.1437684

Hamzić, A., Kulo, N., Đidelija, M., Tuno, N., Topoljak, J., Mulahusić, A., Ambrožič, T. (2025a). Inclination Assessment of Objects with Circular Base Using Algebraic Circle Fitting, Linear Regression, and Bootstrapping. *Journal of Surveying Engineering, 151(3),* 05025001. https://doi.org/10.1061/JSUED2.SUENG-1564

Hamzić, A., Kulo, N., Đidelija, M., Topoljak, J., Mulahusić, A., Tuno, N., Ademović, N. (2025b). Assessment of Minaret Inclination and Structural Capacity Using Terrestrial Laser Scanning and 3D Numerical Modeling: A Case Study of the Bjelave Mosque. *Geomatics, 5(1),* 8. https://doi.org/10.3390/geomatics5010008

Kregar, K., Topoljak, J., Đidelija, M., Mulahusić, A., Kulo, N., Ambrožić, T. (2023). Snimanje pećine Bijambare metodom terestričkog laserskog skeniranja. *Geodetski glasnik*, *54*, 32-47. https://doi.org/10.58817/2233-1786.2023.57.54.32

Kregar, K. (2019). Ponovna izmera – 3D skeniranje Kamniške jame. U R. Slapnik, V. Kregar, D. Holcar i M. Hribovšek (ur.), *Kamniška jama, 40 let po odkritju* (pp. 53-66). Kamnik: Jamarski klub Kamnik.

Lasić, Z. (2008). *Primjena laserskih uređaja* (skripta). Zagreb: Zavod za primijenjenu geodeziju, Katedra za instrumentalnu tehniku, Sveučilište u Zagrebu.

Marjetič, A. (2018). TPS and TLS laser scanning for measuring the inclination of tall chimneys. *Geodetski glasnik, 49*, 29-43. https://doi.org/10.58817/2233-1786.2018.52.49.29

Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Balić, Dž., Hadžiosmanović, E., Stanić, S., Hajdar, A. (2013). Primjena fotogrametrije i laserskog skeniranja kod zaštite spomenika kulturno historijske baštine. *Geodetski glasnik, 44*, 34-57. https://doi.org/10.58817/2233-1786.2013.47.44.34

Mulahusić, A., Gajski, D., Tuno, N., Topoljak, J., Zec, E., Bojić, M. (2015). Primjena laserskog skeniranja pri analiziranju štete na vozilima nakon prometnih nesreća. *Geodetski list, 69(92)* (2), 97-114. https://hrcak.srce.hr/142571

Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Balić, Dž. (2016). Izdelava 3D-modela kompleksnega kulturno zgodovinskega spomenika z uporabo digitalne fotogrametrične postaje. *Geodetski vestnik, 60(1),* 28-41. http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.01.28-41

Mulahusić, A., Topoljak, J., Tuno, N. (2017). *Geodezija za građevinske inžinjere*. Zenica: Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici.

Mulahusić, A., Tuno, N., Gajski, D., Topoljak, J. (2020). Comparison and analysis of results of 3D modelling of complex cultural and historical objects using different types of terrestrial laser scanner. *Survey Review, 52(371),* 107-114. https://doi.org/10.1080/00396265.2018.1528758

Mulahusić, A., Ambrožič, T., Topoljak, J., Tuno, N. (2021). Inžinjerska geodezija u rudarstvu. Ljubljana i Sarajevo: Univerzitet u Ljubljani i Univerzitet u Sarajevu.

Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Đidelija, M., Grabus, E. (2022). Simultaneous Use of Terrestrial Laser Scanning and Close-Range Photogrammetry for Documentation of Cultural and Historical Heritage Monuments. In: Ademović N., Mujčić E., Akšamija Z., Kevrić J., Avdaković S., Volić I. (eds) *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI. IAT 2021*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 316. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90055-7_39

Pribičević, B., Đapo, A., Miljković, V., Babić, L., Vela, E., Kordić, B. (2011). Trodimenzionalna geodetska izmjera za potrebe geodinamičkih i geoloških istraživanja Staroga grada Modruša. *Modruški zbornik*, *4-5*, 529-546.

STONEX (2025). *SLAM Laser Scanner* X120^{GO} (brošura). https://www.stonex.it/product/x120go-slam-laser-scanner/

Šćurić, K. (2019). Primjena SLAM tehnologije. *Ekscentar*, *20,* 64-69. https://hrcak.srce.hr/226980

Tomić, H. (2023). *Lasersko skeniranje u geodeziji* (skripta). https://edu.asoo.hr/wp-content/uploads/2024/03/G18-51-Lasersko-skeniranje-u-geodeziji-Finalno.pdf

Tuno, N., Mulahusić, A., Topoljak, J., Savić, M. (2024). Preservation of Cultural Heritage Architecture by 3D Printing and Realistic 3D Models. In: Karabegovic, I., Kovačević, A., Mandzuka, S. (eds) *New Technologies, Development and Application VII. NT 2024*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1070. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66271-3_69

Autori:

Goran Kaurić, mr. dipl. ing. geod i geoinf.*
AEROPHOTO ING d.o.o za geodetsku djelatnost i usluge Pula
Faverijska ulica 7, 52100 Pula, Republika Hrvatska
E-mail: kauric.goran@gmail.com

Tamara Kecojević, mr. dipl. ing. geod i geoinf.
Bemax d.o.o. Podgorica
Studentska 2A, 81000 Podgorica, Crna Gora
E-mail: tamarakecojevic14@gmail.com

**Corresponding author / autor za korespodenciju*