



ID 16

TERESTRIČNI LASERSKI SKANER – PRIPOMOČEK ZA SODOBNEJŠI ZAJEM METRIČNIH PROSTORSKIH PODATKOV

Dušan SETNIKAR¹

¹ Geodetski zavod Celje, d.o.o., Ul. XIV divizije 10, CELJE
dusan.setnikar@gz-ce.si

POVZETEK

Terestrični laserski skanerji so dandanes vse bolj uporabni zaradi možnosti hitrega zajema podatkov, relativno visoke natančnosti podatkov in možnosti zajema velike gostote prostorskih podatkov zemeljske površine. Rezultat enkratnega zajema podatkov je oblak točk, katerih povprečna natančnost je +/- 8mm¹. Priporočljiva je izvedba vsaj dveh posnetkov istega območja, saj s prekrivanjem podatkov lahko zmanjšamo napako določitve xyz koordinat posamezne točke na +/- 4mm. Na natančnost zajema lahko dodatno pomembno vplivata odbojnost površine in oddaljenost od mesta zajema točk. Tako natančni podatki omogočajo hitrejše izračune volumskih sprememb v prostoru (odkopi mineralnih surovin, količina splaznega materiala, itd.). Na podlagi tovrstnih meritev lahko izvajamo izračune zaloga mineralnih surovin, ocenjujemo rudarsko škodo, evidentiramo ozka grla pri visokih pretokih vodotokov in izvajamo monitoring pomikov naravnih in grajenih struktur.

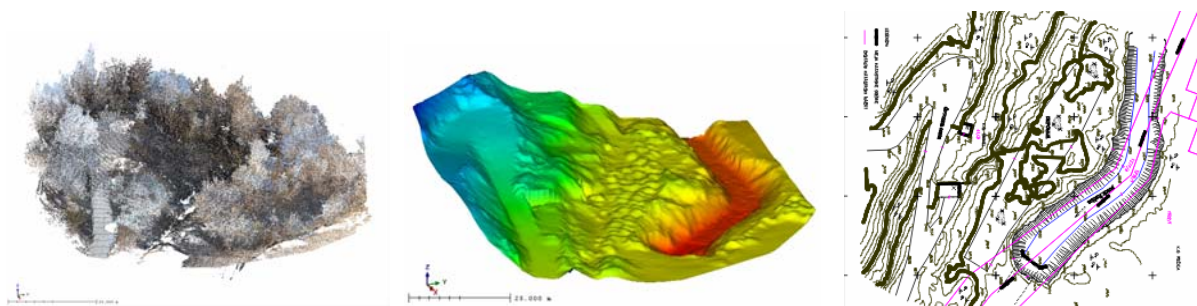
Ključne besede: terestrični laserski skaner, natančnost meritev, izkoriščanje mineralnih surovin, pomiki

UVOD

Terestrično lasersko skaniranje je že uveljavljen način za morfometrični zajem vseh površin, tako stabilnih kot tudi nestabilnih in sprememb na njih. Zaradi hitrosti zajema, resolucije podatkov, dolžinskega dosega in natančnosti je terestrični laserski skaner (v nadaljevanju TLS) še posebej primeren za ta namen. Večina komercialno dostopnih skanerjev poleg geometrijskih informacij z merjenjem intenzivnosti odbitih žarkov omogoča tudi prepoznavanje materiala na površini objekta. Poleg skanerja sodi tudi kalibrirana in skladno s skanerjem orientirana digitalna kamera visoke ločljivosti (10.2M pixel), ki omogoča določitev barve (RGB) vsaki točki, s čimer je poleg izdelave fotografij omogočen tudi nanos fototeksture na površino objekta. Končni rezultat terenskega dela je enotna zbirka podatkov o lastnostih zajetih točk. Izvedemo lahko triangulacijo in tako pridobimo digitalni model reliefa. Možen je izvoz posameznih delov oblaka točk, ravno tako lahko iz oblaka zajetih točk z filtriranjem podatkov izločimo točke, ki nas ne zanimajo, kar se pokaže koristno pri določanju reliefa terena brez vegetacije. V kombinaciji z digitalno kamero program avtomatsko določi RGB barvo vsaki zajeti točki in tako na triangulirano mrežo projiciramo fotografijo, kar

¹ Vsi tehnični podatki, nadalje navedeni v tekstu, se nanašajo na skaner Riegl z420i

omogoča lažjo vizualizacijo oblaka točk in izdelavo realističnega 3D posnetka (ortofoto z informacijo o globini). Vse točke so jasno ločene po koordinatah in pripisanih lastnostih, zato lahko z njimi manipuliramo kot z vsako tabelarično bazo podatkov. Tako je možno naknadno spreminjati attribute izbranim posameznim točkam ali skupini točk (npr. evidentno označevanje referenčnih točk in položaja TLS, barvno ločevanje točk po višinskem razponu, njihov izvoz v druga programska okolja, itd.). Ker ima vsaka posneta točka enoznačno določeno koordinato, je možno določiti poljuben zorni kot pogleda na zajeto situacijo in gibanje virtualne kamere okoli in skozi tak oblak točk. Pravilno izdelana vizualna predstavitev pa lahko veliko pripomore pri predstavitvah projektov zainteresirani javnosti. Poleg tega natančnost zajema in možnost naknadne obdelave podatkov omogoča izdelavo virtualnih terenskih situacij za potrebe projektiranja in zmanjša potrebno število terenskih ogledov. Nenazadnje pa takšni podatki predstavljajo tudi dragocen arhivski posnetek stanja terena v času snemanja.



Slika 1.-3.: Od terenskega posnetka do izdelka; obarvan oblak točk, višinski digitalni model reliefa, geodetski načrt območja kot projektantska podlaga

NAČRTOVANJE ZAJEMA

Glede na zahtevano natančnost zajema in posledično zanesljivost interpretacije meritev, je potrebno prilagoditi tudi način in včasih tudi čas zajema. Pravilno načrtovanje skeniranja nam namreč poleg pridobitve kakovostnih podatkov prihrani tudi precej časa pri terenskem zajemu in nato pri obdelavi podatkov.

Zahtevana resolucija in natančnost meritev razdalj predstavljata osnovna parametra, ki določata prehod od manj do bolj zahtevnih zajemov. Natančnost razdalj pada z razdaljo zaradi atmosferskih vplivov. Resolucija je strojno omejena z kotnim korakom žarka. Poleg teh dveh parametrov na končni rezultat (določitev lokalnih xyz koordinat točk) vpliva še razpršitev žarka, katerega premer se z dolžino povečuje, s tem pa se zmanjšuje natančnost določitve koordinat. Najmanj zahtevne so ploskve, ki opisujejo površja stabilnih območij in kjer takšno območje zadovoljivo opišemo tudi z manjšo gostoto točk (sem sodijo npr. kamnolomi, ostenja). Naslednja skupina so stabilna območja, kjer je potrebna večja gostota podatkov. Najbolj zahtevna so območja/objekti, ki zahtevajo veliko gostoto podatkov, hkrati pa so podvrženi morebitnim premikom. Tovrstna območja (plazovi, ugreznine, nosilne konstrukcije,..) je včasih potrebno izmeriti z maksimalno resolucijo in natančnostjo. Glavni

vpliv na končno kvaliteto zajema imajo snemalna razdalja, odbojnost površinskih materialov in vpadni kot ter vremenske razmere.

Tabela 1.: Priporočljive odaljenosti skanerja od objekta za doseganje željene natančnosti in resolucije

| | <i>Natančnost razdalje (4mm do 10mm, pada z D)</i> | <i>Resolucija (<1mm do 4cm, pada z D)</i> |
|--|--|--|
| <i>Manjša zahtevnost (natančnost xyz ±2- 3cm)</i> | <i>Maksimalni domet (ca. 1000m)</i> | <i>Maksimalni domet (ca. 1000m)</i> |
| <i>Večja zahtevnost (natančnost xyz < ±1cm)</i> | <i>200m</i> | <i>50m</i> |

Odbojnost materialov in vpadni koti snemanja vplivajo predvsem na gostoto zajema, saj se na nekaterih snoveh žarki ne odbijejo proti TLS, ampak v druge smeri ali pa se vračajo bistveno oslabljeni in zato težje zaznavni. Občasno lahko predstavlja problem tudi preveč močna sončna svetloba. TLS-ja ne uporabljamo pri močnih padavinah. Pri šibkejših lahko z uporabo podatka o prvem oz. zadnjem odboju eliminiramo tiste točke, ki predstavljajo dežne kapljice v zraku in ohranimo le zadnji odboj.

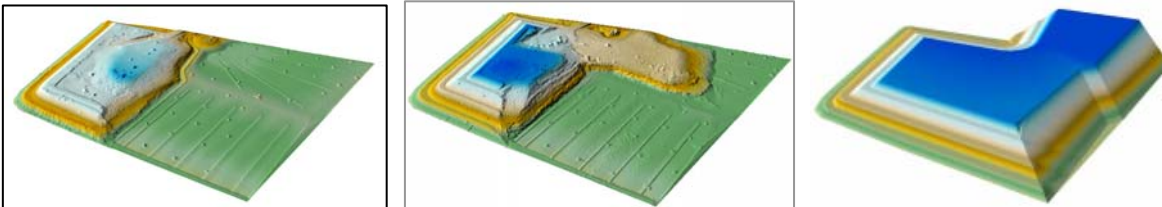
Konfiguracija terena ponavadi onemogoča zajem zahtevanega območja z enim samim skanom, zato se zajame več skanov z različnih stojišč. Združeni podatki tako zajemajo celotno zahtevano območje. Poleg tega z izvedbo vsaj dveh posnetkov istega območja in s tem prekrivanja podatkov znatno povečamo zanesljivost izmere. Skani se združujejo na podlagi referenčnih točk (na zajetem objektu se postavijo posebne odbojne tarče, ki jih skaner maksimalno natančno zajame z enim skanom samo tiste točke, lokacija pa je določena z GPS-om) ali na podlagi prekrivanja podobnih površin (specializirani programi iščejo podobne ploskve na dveh sosednjih skanih in jih tako združijo). Za natančnejše izmere se uporabi združevanje z skupnimi referenčnimi točkami, ki so izmerjene z tahimetrom. Točke v oblaku točk, ki predstavljajo takšno tarčo, so tako maksimalno dobro umeščene v prostor, primerno temu pa se natančneje napne tudi mreža ostalih točk iz oblaka.

Hitrost zajema 8000 točk na sekundo posledično pomeni pridobitev ogromne količine podatkov, saj povprečen skan obsega ca. 10 mio točk, združeni oblaki točk pa presežejo tudi 100 mio točk. Za procesiranje tolikšne količine podatkov je potrebna posebna programska oprema, ki omogoča delo v CAD okoljih in izdelavo izdelkov, ki jih nato naročniki lahko uporabljajo.

ZAZNAVANJE SPREMEMB V PROSTORU

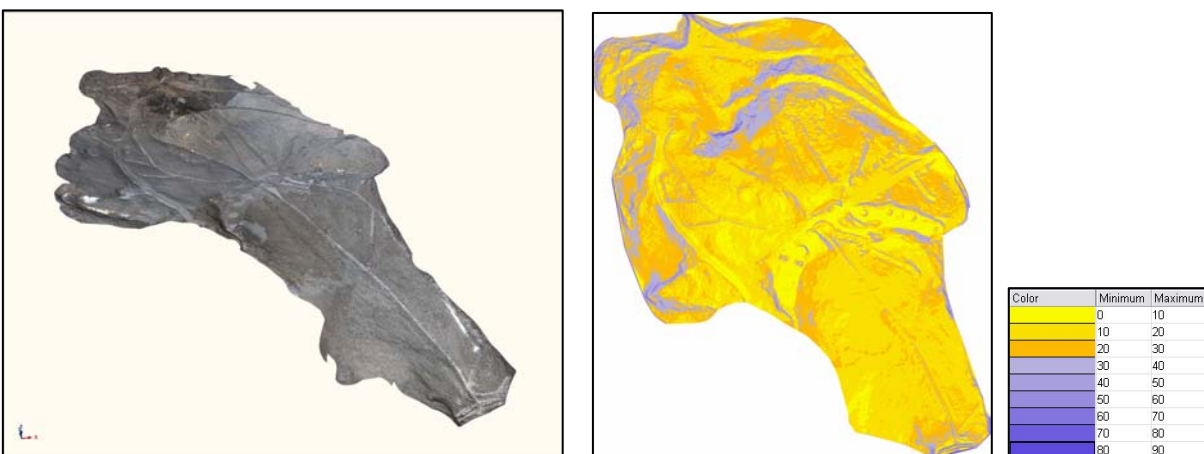
Skaniiranje omogoča izdelavo izredno natančne površinske mreže nekega območja/objekta, kar je še posebej pomembno pri zaznavanju prostorskih sprememb v časovnih obdobjih. Običajno so to kompleksna območja, kjer se površje preoblikuje zaradi človeških posegov ali naravnih dejavnikov. Dodaten element so premiki površja in mase pod površjem, ki se lahko premika v vseh smereh (npr. plaz), v nekaterih primerih pa so prevladujoče spremembe

enodimenzijske (npr. vertikalni posedki/sesedki/ugrezki odlagališča, plitvejših ugreznin). Tako kompleksne površinske modele lahko uporabimo za izračune volumskih sprememb pri izkoriščanju mineralnih surovin, odlaganju odpadkov, za izračune dejansko odstranjenih količin pri gradbenih posegih, ..itd. Preseki 3D modelov objekta, posnetega ob različnih časih, nam podajo razlike v prostoru v teh časovnih obdobjih. Ker podatki ohranijo metričnost, so seveda te spremembe merljive. Te meritve lahko varirajo od meritev morebitnih premikov določenih točk do izračunov volumetričnih sprememb na objektu.



Slika 4.-6.: 3D modeli stanj odlagališča odpadkov v različnih časovnih obdobjih in projektirani končni model odlagališča

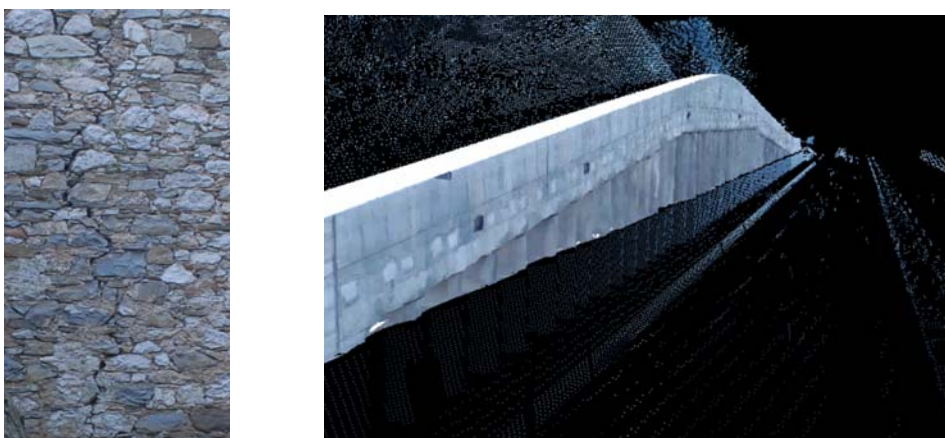
Najbolj zahtevno je opazovanje in zaznavanje pomikov na naravnih in grajenih strukturah. Za tovrstne zajeme je Riegl z420i še posebej primeren zaradi možnosti meritev tudi na razdaljah okoli 1km. Tako lahko izberemo stojišče, ki je zagotovo izven območja premikov. Za projekte večje natančnosti (npr. premik opornega zidu, plaz, ugrezjanje nad rudarskimi površinami) je potrebno objekt opremiti z stalnimi pomožnimi merskimi točkami, vgrajenimi na objekt. Pri takšni opremljenosti in z tahimetrično določenimi merskimi točkami je že možno z gotovostjo zaznati premike $\geq 8\text{mm}$ z natančnostjo določitve premaknjene točke $\pm 4\text{mm}$. TLS je zato zelo primeren za opazovanje plazov z večjimi premiki oziroma velikim številom točk zaradi nekontaktnosti, hitrosti zajema in velikega števila diskretnih točk. Pri tahimetrično opazovanem plazu z stalnimi točkami (npr. inklinometri) grobo interpoliramo območje med temi točkami. Z TLS pridobimo precej natančnejšo informacijo o premikih plazov in njegovih volumskih spremembah. Na plazu Slano Blato smo z TLS izdelan površinski model primerjali tudi z točkovnimi meritvami, pridobljenimi na klasični način (izmera Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, uporabljeni inštrument avtomatski elektronski tahimeter, natančnost $3\text{mm} + 2\text{ppm}$, čas zajema ene točke 3-6s). Zajetih je bilo skoraj tisoč točk na ca.



Slika 7.-9.: Površinski model plazov Slano Blato z nanešeno fototeksturo, prikaz sprememb v naklonih na telesu plazov z pripadajočo legendo

300 m² velikem primerjalnem območju. Višinske razlike med obema ploskvama so znašale tudi nekaj cm. Razliko je možno pripisati predvsem mikro razgibanosti terena (grude zemlje). Tudi v tem primeru se skaniranje izkaže kot dobra izbira, saj z resolucijo 2-3cm ploskev neprimerno bolje opredeli.

Kadar na območju plazenja ali ugrezanja obstajajo grajeni objekti, je seveda možno izvajati tudi meritve sprememb na njih. Zopet velja pravilo, da so za zaznavanje majhnih lokalnih sprememb (npr. povečanje razpoke za 1mm) bolj primerne druge merske tehnike, vendar lahko iz podatkov skaniranja večje in kompleksnejše razpoke, predvsem pa imamo pregled nad celotnim vplivnim območjem plazu in tako lažje predvidimo razvoj dogodkov in uspešnost morebitnih sanacij takšnih objektov.



Slika 10.-11.: Razpoka na stanovanjskem objektu (trianguliran model z nanešeno fototeksturo, oporni zid (obarvan oblak točk))

Kot že omenjeno, se z TLS ne pridobijo samo geometrijski podatki, ampak tudi podatki o intenzivnosti in barvnem spektru objekta. Možne so tudi kombinacije z ostalimi prostorsko določenimi podatki. Tovrstna sinergijska združevanja podatkov so tudi v svetovnem merilu še v fazi razvoja. S prepletanjem podatkov iz različnih virov izboljšamo geometrijsko obdelavo npr. nevarnih pobočij, v kombinaciji z multispektralno analizo barvnih spektrov pridobimo še podatke o vegetaciji, prisotnosti vode, obdelava podatkov o intenzivnosti pa omogoča uspešnejšo zaznavo različnost materialov na površini oz. celo njihovo identifikacijo.

Zanimiva aplikacija meritev intenzivnosti žarka je tudi napovedovanje stabilnosti skalnih pobočij. Intenzivnost povratnega žarka je funkcija geometrije (vpadni kot, površinska tekstura in dolžina poti žarka), pogojev v okolici (jakost svetlobe, načrtovanje izmere, zračni delci) in fizikalnih pogojev (dielektrična konstanta, magnetna permeabilnost in prevodnost). Fizikalni pogoji so tesno povezani z faktorji, ki povečujejo nestabilnost skalnih brežin, npr. prisotnost vlage, mineraloška sestava in stopnja oksidacije. Z kontroliranjem geometrijskih in okoljskih vplivov na intenzivnost lahko z poznavanjem fizikalnih pogojev pridobimo dober vpogled v površinsko sestavo objekta in njegovo prostorsko spremenljivost. Rezultat je ob siceršnji

uspešnosti geometrijskega določanja diskontinuitet še boljše klasifikacija in opis nestabilnih pobočij in ustrezno pravilnejše ocene nevarnosti.

Kombinacija zračnega LIDAR snemanja (zajem območij z nekaj 1000ha površin, natančnost zajema do 10cm) in podatkov, pridobljenih z terestričnim laserskim skeniranjem (zajem ovir na vodni poti, predvsem grajenih objektov) omogoča modeliranje večjih območij in s tem tudi simuliranje dogodkov na njih. Takšno sinergijsko združevanje podatkov bi omogočilo simulacijo visokih vodnih pretokov skozi ozka grla pri visokih pretokih vodotokov, ki bodo zaradi podnebnih sprememb še pogostejši.

ZAKLJUČEK

Uporaba TLS je primerna rešitev povsod, kjer potrebujemo čim točnejše opise predvsem geometrijskih lastnosti površja (prelomi, nakloni, ukrivljenost, večje ravnine). Z interpretacijo dodatnih podatkov (intenzivnost, barve) lahko prepoznavamo tudi površinske materiale. Idealen je za opazovanje površinskih sprememb v realnem prostoru, za načrtovanje predvidenih posegov v prostor, za posnetke prvotnega stanja pred začetno gradnjo in končnega stanja po njenem končanju, meritve in pravočasno odkrivanje deformacij, analize stanja, različne analize vplivov na okolje, načrte rekonstrukcij gradenj, ureditve, kot pripomoček pri načrtovanju in upravljanju rudnikov, kamnolomov, odprtih kopov, gramoznih jam in deponij (spremljanje stanja količin, kapacitet, posedanja površine, sanacij, itd.), simuliranje pretokov, podorov in vseh načrtovanih posegov v prostor kot tudi za arhiviranje geometrijskih lastnosti območij, ki so podvržena hitrim ter velikim spremembam.

LITERATURA

1. <http://www.riegl.co.at>
2. D. Lichti, Spectral Filtering and Classification of Terrestrial Laser Scanner Point Clouds. The Photogrammetric Record, Volume 20, Number 111, September 2005, pp. 218-240(23), (2005).
3. M. Alba, L. Longoni, M. Papini, F. Roncoroni, M. Scaioni, Feasibility and Problems of TLS in Modelling Rock Faces for Hazard Mapping, ISPRS Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September, 2005.
4. D. Setnikar, Terestrični laserski skaner – pripomoček pri projektiranju in monitoringu odlagališč odpadkov. Sedmo strokovno posvetovanje "Gospodarjenje z odpadki" Celje, 31. Avgust 2006, str. 110-118 (2006)
5. A. Abellan, J.M. Vilaplana, J. Martinez, Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Nuria (Eastern Pyrenees, Spain). Engineering Geology 88, p. 136-148 (2006)
6. N.J. Rosser, S.A. Dunning, D.N. Petley, Multi-spectral terrestrial laser scanning for interpreting the controls on and changes to unstable rock faces. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 07021 (2007).