



Monitoring tram rail transport in underground coal mines using terrestrial laser scanning



Chung Van Pham ¹, Canh Van Le ¹, Long Quoc Nguyen ^{1,*}, Ha Thu Thi Le¹, Anh Tuan Nguyen ², Hung Van Nguyen ², Hung Viet Nguyen ³

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Topcon Singapore Positioning Pte. Ltd

³ University of Transport and Communications, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12th Jan. 2023

Revised 14th Apr. 2023

Accepted 26th Apr. 2023

Keywords:

Deformation,
Displacement,
TLS,
Tram rail transport monitoring,
Underground coal mine.

ABSTRACT

Tram rail transport is one of the important transport systems in underground coal mines. The stability of the tramway system in a mine is influenced by many factors, such as geological and mining conditions. In order to evaluate the stability of tramway tracks in underground coal mines, monitoring activities are carried out periodically. This activity is to provide accurate data on the current status of the rail system, early detection of displacement and deformation of the system. This paper presents the results of monitoring tram tracks in underground coal mines by the terrestrial laser scanning technology (TLS). The objective of the study are to evaluate the capacity of TLS in monitoring tram tracks in underground coal mines, and to propose a workflow for this activity. The experiment was held at the tramway in the main transport tunnel at the level of -350 m in the Nui Beo underground coal mine. A procedure was proposed, including the planning, collecting data in the field, data processing, and analyzing data. The surveying equipment was used, including: (1) a Topcon GLS 2,000 scanner for the TLS survey, (2) Digital leveling for measuring the elevation of the rails, (3) a tape for measuring the distance between the rails. The measurement of the distance between two railway lines were performed on the TLS point cloud. The comparison between TLS and the tape showed that the maximum difference was less than 3 mm and met the requirements of the monitoring of tram tracks in underground coal mines.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nguyenquoclong@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).09



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Quan trắc đường ray tàu điện trong các mỏ than hầm lò bằng công nghệ quét laser 3D mặt đất

Phạm Văn Chung¹, Lê Văn Cảnh¹, Nguyễn Quốc Long^{1,*}, Lê Thị Thu Hà¹, Nguyễn Tuấn Anh², Nguyễn Văn Hùng², Nguyễn Việt Hưng³

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Công ty Topcon Singapore Positioning Pte. Ltd

³ Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 12/1/2023

Sửa xong 14/4/2023

Chấp nhận đăng 26/4/2023

Từ khóa:

Đường ray tàu điện,

Mỏ than hầm lò,

TLS,

Quan trắc.

Vận tải tàu điện hay xe goòng là một trong các hệ thống vận tải quan trọng trong các mỏ than hầm lò. Sự ổn định của hệ thống đường ray tàu điện trong mỏ chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như địa chất và khai thác. Để đánh giá độ ổn định đường ray tàu điện trong mỏ than hầm lò, hoạt động quan trắc được thực hiện định kỳ, nhằm cung cấp dữ liệu chính xác về hiện trạng của hệ thống đường ray, sớm phát hiện các dịch chuyển biến dạng của hệ thống. Bài báo trình bày kết quả quan trắc đường ray tàu điện trong mỏ than hầm lò bằng công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS). Quy trình ứng dụng đã được nhóm nghiên cứu đề xuất và áp dụng, bắt đầu từ thiết kế phương án; thu thập dữ liệu trên thực địa trước khi được xử lý dữ liệu và đưa ra kết quả đánh giá. Thử nghiệm được tổ chức tại đường ray tàu điện ở đường lò vận tải chính mức -350 m của mỏ than Núi Béo. Các thiết bị sử dụng bao gồm: (1) máy quét laser mặt đất Topcon GLS 2000, (2) đo cao độ mặt thanh ray bằng máy thủy bình điện tử, (3) đo khoảng cách giữa các thanh ray bằng thước thép; xử lý dữ liệu đám mây điểm (PC), đo khoảng cách giữa các thanh ray và cao độ mặt thanh ray trên PC. Kết quả so sánh giữa TLS và đo trực tiếp bằng thước thép cho thấy sai số lớn nhất không quá 3 mm và đáp ứng được yêu cầu của công tác quan trắc đường ray tàu điện trong mỏ than hầm lò.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Vận tải xe goòng hay tàu điện trong các mỏ khai thác than hầm lò là một trong các hệ thống

quan trọng, có nhiệm vụ vận chuyển người, thiết bị ra vào mỏ, đưa than và đất đá từ trong ra ngoài. Năng suất của hoạt động sản xuất trong mỏ chịu ảnh hưởng lớn bởi hoạt động vận tải nói chung và vận tải bằng xe goòng nói riêng. Hiện nay, hệ thống xe goòng, tàu điện trong các mỏ than thường được xây dựng trong các đường lò dọc vỉa và xuyên vỉa vận tải. Xe goòng được dùng để thu gom và vận

*Tác giả liên hệ

E-mail: nguyenquoclong@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(2).09

chuyển đất đá từ các lò chuẩn bị; than từ các lò chơ ra khu vực sân ga dưới giếng để vận chuyển ra ngoài, đồng thời cũng để vận chuyển nguyên vật liệu từ ngoài vào các vị trí trong đường lò. Trong khi đó, các tàu điện chủ yếu được dùng để vận chuyển công nhân trong lò để giảm bớt thời gian và nâng cao an toàn khi di chuyển trong lò. Xe goòng và tàu điện trong lò thường sử dụng chung một hệ thống đường ray.

Do áp lực của đất đá nền đường lò trong mỏ thường không ổn định, dẫn tới hiện tượng bùng nền (Võ, 2016). Đây là hiện tượng tác động trực tiếp lên các hệ thống đường ray trong các đường lò. Thông thường, sau một khoảng thời gian hoạt động, hệ thống đường ray trong các đường lò bị dịch chuyển và biến dạng. Để đảm bảo hoạt động an toàn và hiệu quả, các hệ thống đường ray thường được quan trắc định kỳ bằng các phương pháp trắc địa. Theo qui định trong QCVN 2011 về an toàn trong khai thác mỏ hầm lò, đường ray xe goòng được kiểm tra thông qua hình thức đo trắc dọc địa hình ít nhất 1 lần/năm (Bộ Công Thương, 2011). Kết quả quan trắc là cơ sở cho công tác duy tu, bảo trì, sửa chữa, thay thế và nâng cấp hệ thống đường ray tàu điện được thực hiện kịp thời, nhằm nâng cao tuổi thọ, đảm bảo khả năng vận hành hiệu quả cho các hệ thống nói riêng và cả hoạt động sản xuất của mỏ nói chung.

Các phương pháp quan trắc đường ray tàu điện trong lò bao gồm đo khoảng cách ngang giữa các đường ray bằng thước thép, độ cao đường ray được đo bằng máy thủy bình và thành lập mặt cắt dọc đường ray. Các phương pháp truyền thống có ưu điểm là dễ thực hiện, trang thiết bị phổ biến. Tuy nhiên, nhược điểm là thiếu chi tiết, dễ bị bỏ sót do số lượng điểm đo hạn chế. Ngoài ra, công tác đo đạc tốn nhiều công sức và thời gian.

Hiện nay, công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS) đã và đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như xây dựng nhà cửa, giao thông, bảo tồn công trình văn hóa lịch sử và khai thác mỏ. Trong lĩnh vực khai thác mỏ, các ứng dụng của TLS bao gồm quản lý xây dựng và khai thác mỏ hầm lò (Nguyễn và Võ, 2016), trong trắc địa mỏ (Nguyễn và nnk., 2019). Đối với công tác quan trắc dịch chuyển và biến dạng các công trình nói chung, TLS đã được ứng dụng trong quan trắc dịch chuyển và biến dạng của các công trình nhà cửa (Phạm và nnk., 2021), cầu (Mohammadi và nnk., 2021; Rashidi và nnk., 2020), đường (Xie và

nnk., 2018), bờ mỏ lộ thiên (Bazarnik, 2018; Kovanič và Blišťan, 2014), đường hầm (Wang và nnk., 2014). Nhìn chung, các nghiên cứu đều chỉ ra rằng công nghệ TLS cho phép nghiên cứu dịch chuyển biến dạng của nhiều đối tượng khác nhau với độ chính xác và chi tiết cao. Ưu điểm của TLS là khả năng thu thập hàng triệu điểm của bề mặt đối tượng trong thời gian ngắn.

Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn quan trắc độ ổn định của hệ thống vận tải mỏ, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá độ chính xác, độ tin cậy của công nghệ TLS trong quan trắc theo chu kỳ đường ray xe goòng của mỏ than hầm lò.

2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Đường lò tại mức khai thác -350 m của mỏ than Núi Béo được lựa chọn làm khu vực thực nghiệm (Hình 1). Đây là đường lò chính có chiều rộng $r = 6,2$ m nối từ sân ga dưới giếng đứng tại mức -350 m đến các lò ở các khu vực khai thác của mỏ (Hình 2). Tại đường lò này, 02 tuyến đường ray xe goòng được thành lập nhằm kết nối giao thông với các lò bằng hoặc đến đầu các đường lò nghiêng nơi sử dụng băng tải để vận chuyển. Chức năng chính của hệ thống xe goòng là chở nguyên vật liệu từ sân ga giếng đứng đến các khu vực cần thiết trong mỏ, đồng thời vận tải than từ các khu vực khai thác, chân các lò nghiêng và tập trung về sân ga dưới giếng để chuyển lên trên bề mặt mỏ.

Trong hai đường ray xe goòng tại đường lò xuyên vỉa mức -350 m. Quan trắc thực địa được tiến hành cho đường ray 01 (Hình 2). Chiều dài tuyến thực nghiệm 100 m, từ vị trí ngã ba thông ra cửa giếng phụ và hầm trạm bơm mức -350 m (điểm Dr), đến vị trí ngã ba giao với chân lò thượng thông gió mức -320/-260 m (Hình 1) (điểm Cr). Tính theo chiều từ Dr tới Cr, hai thanh ray của đường ray 1 được chia thành thanh ray trái (RT) và thanh ray phải (RP).

2.2. Thu thập dữ liệu thực nghiệm

Thiết bị sử dụng chính để thu thập dữ liệu thực địa bao gồm: (1). Máy toàn đạc điện tử TS09 Plus do hãng Leica sản xuất. Máy toàn đạc này được dùng trong đo nối tọa độ các điểm tiêu khống chế bằng phương pháp đo laser không gương, độ chính xác đo dài 1,5 mm + 2 ppm, đo góc 1" (SISC, 2020);

(2). Máy thủy bình điện tử Trimble Dini 03 (TD3) do Mỹ sản xuất được sử dụng để đo nối cao độ các điểm trên mặt đường ray. TD3 có độ phóng đại ống kính 32x, phạm vi đo từ 1,5 m đến 100 m, độ chính xác đo trên 1 km với mìa mã vạch là 1,0 mm (Nguyenkimjsc, 2022). (3). Máy quét laser mặt đất Topcon GLS 2200 do Nhật Bản sản xuất, được sử dụng để thu thập dữ liệu đám mây điểm 3D khu vực thực nghiệm. GLS2200 cho phép quét laser 120.000 điểm/giây; độ chính xác khoảng cách trên phạm vi quét 3,1 mm ở khoảng cách quét 100 m với độ phản xạ 90%; độ chính xác đo góc 6 giây (Topcon Victory, 2022).

Tiêu TLS được bố trí đều trên khu vực đo vẽ, giữa hai trạm quét laser được bố trí 03 tiêu song trùng (tiêu xuất hiện trên PC của cả hai trạm quét), tọa độ tâm tiêu (Hình 3a) được đo nối vào điểm mốc đường chuyên 1 hầm lò với độ chính xác tương đương điểm đường chuyên cấp 2 hầm lò. Các tiêu có nhiệm vụ tăng cường độ chính xác ghép các trạm quét TLS và đánh giá độ chính xác các trạm quét.

Trạm máy quét laser GLS2200 được thành lập theo phương pháp định hướng dựa vào điểm đã biết. Máy đặt tại một điểm mốc đường chuyên cấp 1 đã biết tọa độ, kiểm tra việc định tâm và cân bằng máy chính xác (Hình 3b), định hướng máy vào điểm đã biết tọa độ khác trong cùng hệ thống lưới. Sau khi thành lập trạm máy, độ chính xác thành lập trạm máy được đánh giá trực tiếp trên máy quét, sai số thành lập trạm máy đạt dưới 2 mm, kết quả hiển thị trên Hình 3c.

Khoảng cách ngang giữa hai thanh ray theo mép ngoài được đo bằng thước thép, xuất phát từ



Hình 4. Đo kiểm tra khoảng cách giữa 2 thanh ray bằng thước thép.

điểm Dr khoảng cách đo kiểm tra với phạm vi 05 m/1 điểm đo, thước thép được đặt vuông góc với phương của đường ray, số đọc khoảng cách lấy tới mm (Hình 4). Tại các vị trí đo khoảng cách trên thanh ray, cao độ của mặt thanh ray được xác định theo nguyên lý đo mặt cắt dọc theo tuyến ray bằng phương pháp đo cao hình học từ giữa, tuyến đo bắt đầu từ điểm mốc độ cao hầm lò DC1 và kết thúc tại điểm DC3.

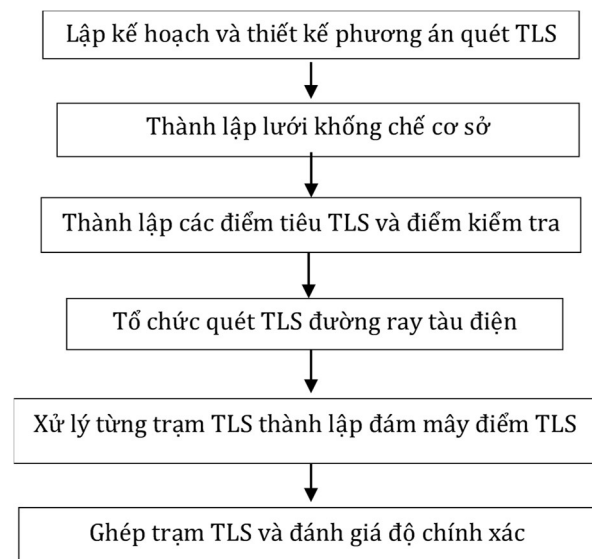
3. Phương pháp nghiên cứu

3.1 Quy trình quan trắc đường ray tàu điện bằng công nghệ TLS

Quy trình quét TLS cho đường ray tàu điện (xe goòng) được mô tả trong Hình 5. Quy trình bao gồm các bước như: lập kế hoạch thực hiện; thiết kế trạm quét laser thành lập các điểm khống chế cơ sở; điểm tiêu TLS và điểm kiểm tra; tổ chức quét TLS và xử lý đám mây điểm TLS.

Công tác lập kế hoạch có ý nghĩa đặc biệt quan trọng bởi đây là công đoạn định hình toàn bộ nội dung của nhiệm vụ quét TLS. Xuất phát từ yêu cầu của dự án, trên cơ sở kết quả khảo sát thực địa khu vực quét TLS, lựa chọn thiết bị phù hợp và bố trí nhân lực thực hiện.

Dựa vào đặc điểm của khu vực quét TLS, căn cứ vào thông số kỹ thuật của máy các trạm quét được thiết kế sao cho quét tới nhiều bề mặt của đường ray nhất có thể, từ đó làm giảm số lượng trạm quét. Cũng cần lưu ý đảm bảo sự chồng phủ



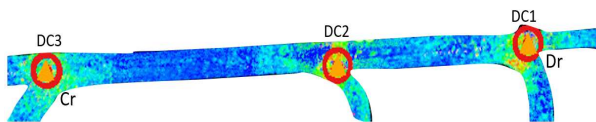
Hình 5. Quy trình quét laser quan trắc đường ray tàu điện trong hầm lò.

của dữ liệu quét giữa các trạm nhằm phục vụ công tác ghép trạm sau này.

Thành lập các điểm khống chế cơ sở phục vụ công tác nắn trực tiếp các PC về hệ tọa độ VN-2000 (đối với máy quét TLS có chức năng định tâm và định hướng) và điểm tiêu cho công tác nắn gián tiếp các PC về hệ VN-2000 (đối với máy quét TLS không có chức năng định tâm máy và định hướng) hoặc sử dụng để tăng cường độ chính xác ghép trạm và đánh giá độ chính xác. Các điểm tiêu có hình dạng và kích thước khác nhau. Phổ biến nhất hiện nay là các tiêu cầu (sphere), tiêu bảng checkerboard, hoặc sử dụng các điểm đặc trưng ngoài thực địa. Cần tối thiểu 3 tiêu được bố trí sao cho kết nối được hai trạm liền kề, tránh trên cùng một mặt phẳng và ở vị trí tạo ra góc tới quá lớn cho tia laser. Tiến hành đo tọa độ cho các điểm tiêu này. Máy toàn đạc điện tử là thiết bị phù hợp trong đo thành lập lưới khống chế cơ sở và đo nối tọa độ cho các điểm tiêu nhờ đảm bảo được độ chính xác.

Xử lý dữ liệu quét laser thành lập đám mây điểm được thực hiện trên mỗi phần mềm đi theo mỗi máy. Ví dụ, dữ liệu quét của máy FARO FOCUS X130 được xử lý trên phần mềm SCENE, trong khi xử lý dữ liệu quét của máy Topcom GLS 2000 được thực hiện trên phần mềm Magnet Collage, hoặc Cyclone cho các máy quét của Leica. Kết quả xử lý dữ liệu từng trạm quét đơn được thực hiện trước khi ghép toàn bộ các trạm được thực hiện. Kết quả cuối cùng là được đám mây điểm (PC) và có thể xuất ra nhiều định dạng khác nhau, phổ biến nhất là E57 và ptx.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu quét TLS được trút vào phần mềm chuyên dụng Magnet Collage. Đây là phần mềm do hãng Topcon phát triển với mục đích xử lý dữ liệu quét laser từ các máy do hãng sản xuất. Do các trạm TLS đã được xác định tọa độ VN-2000 khi thành lập trạm máy (phương pháp nắn đám mây điểm TLS trực tiếp – direct georeferencing), nên các điểm trên PC của từng trạm đã ở đúng tọa độ VN-2000, khi nhập vào phần mềm các trạm máy tự động được ghép theo tọa độ VN-2000. Hình 6 thể hiện vị trí 03 trạm quét laser, máy đặt tại 03 điểm đường chuyên cấp 1. Trong khi



Hình 6. Vị trí trạm máy trên PC sau khi ghép

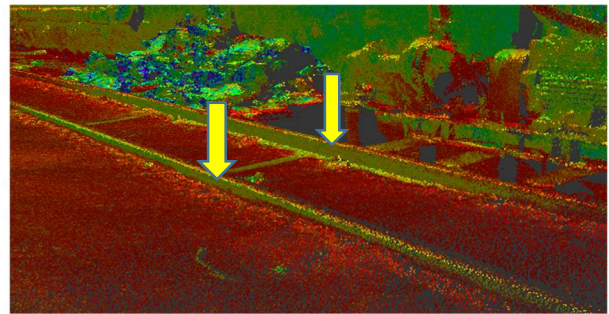
đó, Hình 7 thể hiện chi tiết đám mây điểm của một đoạn đường ray tàu điện.

Đánh giá độ ổn định đường ray theo phương ngang, với khoảng cách 1 m/ điểm đo trên PC như Hình 8. Khoảng cách giữa các thanh ray được xác định trực tiếp trên mô hình PC theo công thức (1). Ở các vị trí khác của thanh ray khoảng cách đo với tần suất 5 m/điểm cho số liệu đo khoảng cách có sự khác nhau (Hình 8).

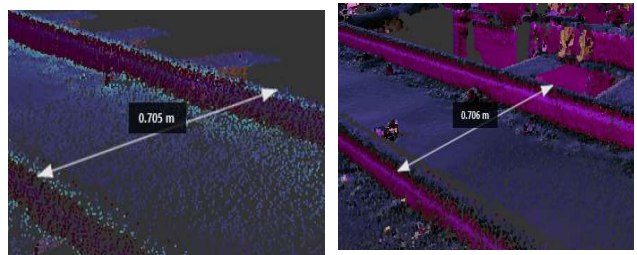
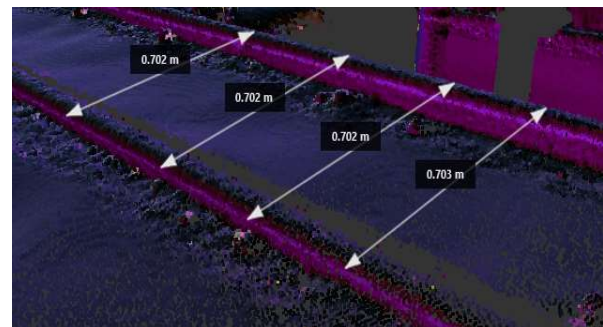
$$d_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (1)$$

Trong đó: ΔX_i và ΔY_i - gia số tọa độ theo trục X và trục Y giữa hai điểm nằm trên hai thanh ray tại điểm đo i.

Khoảng cách ngang giữa hai đường ray đo được trên PC so sánh với giá trị đã đo bằng thước thép, độ lệch khoảng cách giữa hai phương pháp được tính theo công thức 2. Kết quả thể hiện trên Bảng 1.



Hình 7. Đường ray xe goòng trên PC.



Hình 8. Đo khoảng cách ngang giữa hai thanh ray trên PC.

Bảng 1. Độ lệch khoảng cách ngang giữa hai thanh ray.

Số	Khoảng cách (mm)		Độ lệch (mm)
	PC	Thước	
0	702	702	0
5	703	702	1
10	702	702	0
15	703	703	0
20	703	702	1
25	703	703	0
30	703	703	0
35	702	704	-2
40	704	704	0
45	704	704	0
50	702	702	-02
55	704	704	0
60	704	705	-1
65	704	704	0
70	704	705	-1
75	703	705	-2
80	704	704	0
85	703	704	-1
90	704	704	0
95	703	706	-3
100	703	705	-2

$$\Delta d_i = d_{PC_i} - d_{T_i} \quad (2)$$

Trong đó: d_{PC_i} ; d_{T_i} - lần lượt là khoảng cách ngang giữa hai thanh ray được đo trên mô hình tại điểm đo kiểm tra thứ i tương ứng trên đám mây điểm và đo bằng thước thép.

Cao độ các điểm đo được thể hiện trên Bảng 02, độ lệch cao độ các điểm đo trên PC và cao độ bằng máy thủy bình (TB) được tính theo công thức (3), chênh cao giữa hai mặt ray được tính theo công thức (4), kết quả được thể hiện trên Bảng 02.

$$\Delta h_i = H_{PC_i} - H_{TB_i} \quad (3)$$

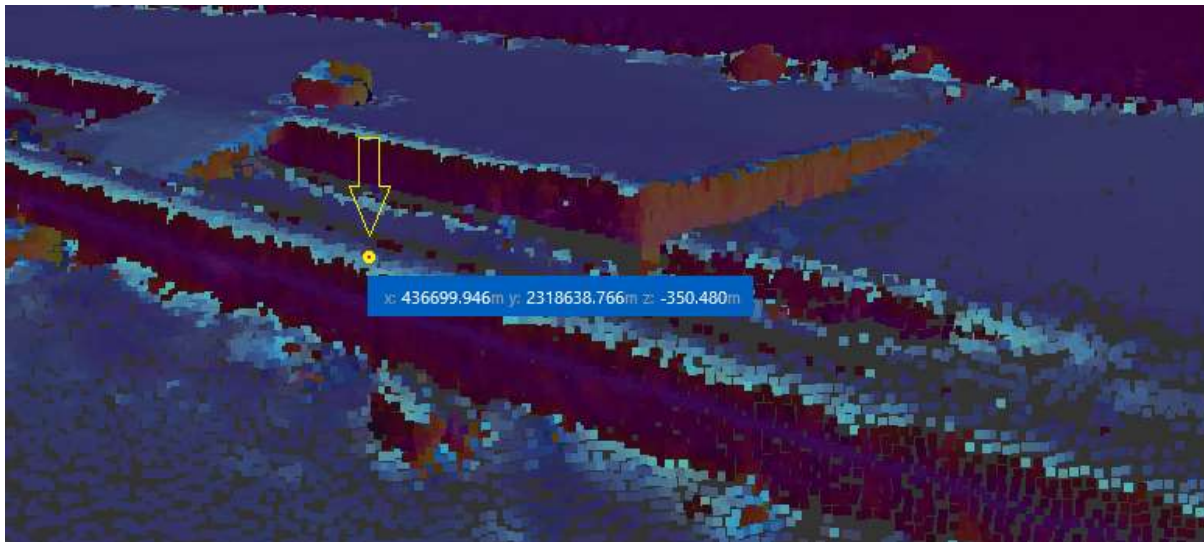
$$dh_i = H_{RT_i} - H_{RP_i} \quad (4)$$

Trong đó: H_{PC_i} ; H_{TB_i} - lần lượt là độ cao của điểm đo kiểm tra thứ i trên đám mây điểm và đo bằng máy thủy bình tương ứng.

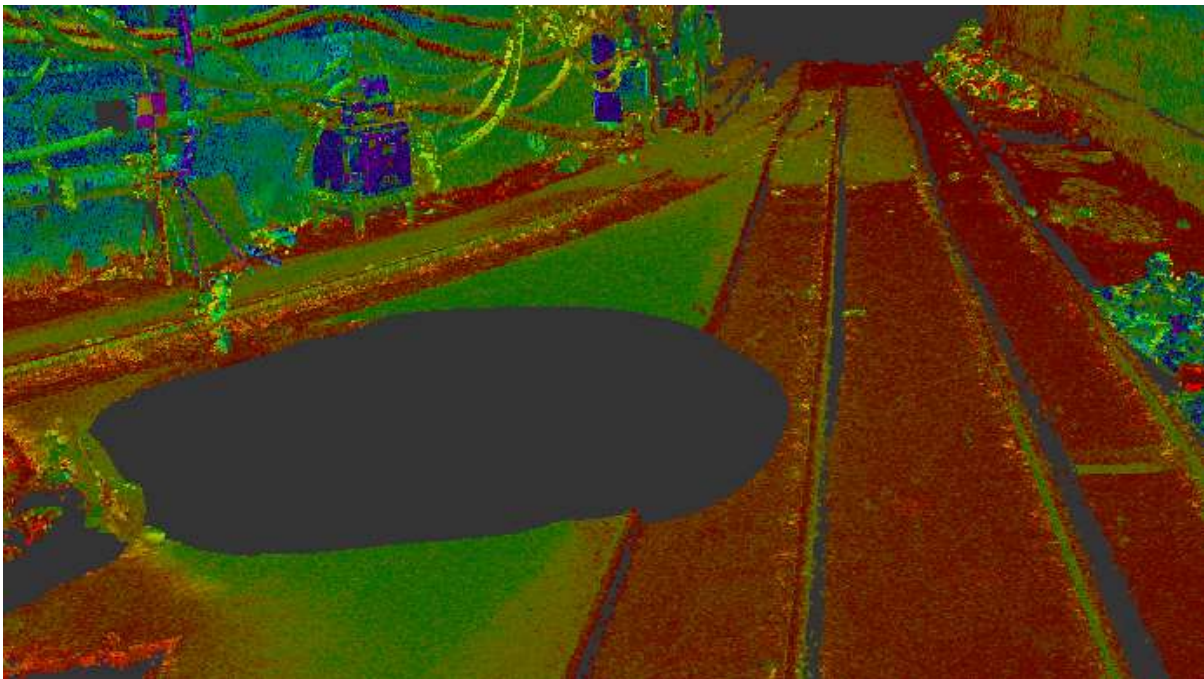
H_{RT_i} ; H_{RP_i} - lần lượt là độ cao điểm đo i trên thanh ray trái và phải..

Bảng 2. Kết quả khảo sát thanh ray theo phương thẳng đứng.

Số	Độ cao mặt ray trái (m)		Độ lệch (mm)	Độ cao mặt ray phải (m)		Độ lệch (mm)	Chênh cao mặt ray Hr(mm)
	PC	TB		PC	TB		
0	-350.591	-350.591	0	-350.593	-350.591	-2	2
5	-350.593	-350.592	-1	-350.598	-350.595	-3	5
10	-350.605	-350.603	-2	-350.602	-350.601	-1	-3
15	-350.625	-350.627	2	-350.625	-350.625	0	0
20	-350.612	-350.612	0	-350.619	-350.618	-1	7
25	-350.608	-350.608	0	-350.604	-350.604	0	-4
30	-350.605	-350.606	1	-350.609	-350.609	0	4
35	-350.595	-350.595	0	-350.580	-350.578	-2	-15
40	-350.516	-350.515	-1	-350.503	-350.503	0	-13
45	-350.500	-350.500	0	-350.481	-350.478	-3	-19
50	-350.467	-350.465	-2	-350.472	-350.472	0	5
55	-350.255	-350.255	0	-350.251	-350.251	0	-4
60	-350.413	-350.410	-3	-350.421	-350.425	4	8
65	-350.423	-350.423	0	-350.418	-350.418	0	-5
70	-350.422	-350.424	2	-350.412	-350.415	3	-10
75	-350.424	-350.424	0	-350.419	-350.423	4	-5
80	-350.345	-350.345	0	-350.328	-350.328	0	-17
85	-350.358	-350.355	-3	-350.362	-350.365	3	4
90	-350.369	-350.369	0	-350.353	-350.353	0	-16
95	-350.411	-350.414	3	-350.404	-350.401	-3	-7
100	-350.438	-350.438	0	-350.422	-350.421	-1	-16



Hình 9. Xác định cao độ mặt thanh ray trên PC.



Hình 10. Khuyết thiếu PC tại điểm trạm máy TLS.

4. Kết quả và thảo luận

Đám mây điểm 3D thành lập từ các trạm quét TLS gồm 03 trạm máy, thành lập mô hình PC hoàn chỉnh cho khu vực thực nghiệm là lò xuyên vỉa mức -350 m (Hình 5). Trên PC có thể tách được đường ray xe goòng với mật độ điểm dưới 3,1 mm. Tuy nhiên, tại các vị trí dưới chân trạm máy, PC không có dữ liệu (Hình 10). Do vậy, cần bố trí các trạm

máy nằm ngoài khu vực đường ray cần quan trắc nếu muốn thu thập đám mây điểm hoàn chỉnh cho cả tuyến đường ray. Kích thước và khoảng cách giữa các thanh ray có thể đo trên PC đạt độ chính xác đến mm.

Đánh giá hiện trạng thanh ray theo phương ngang, từ kết quả đo trên PC và bằng thước thép, có thể thấy trên Bảng 1 rằng độ lệch lớn nhất là -03 mm, với kết quả này hoàn toàn có thể kiểm tra khoảng cách giữa các thanh ray của một đường ray

trên PC, khả năng đo đạc có thể là bất kỳ vị trí nào dọc tuyến ray. Giảm thời gian công sức thực địa so với đo bằng thước thép.

Theo phương đứng, thanh ray thường được đánh giá theo phương pháp mặt cắt, trong đó chủ yếu đo cao độ bằng máy thủy bình. Việc kiểm tra này có thể thực hiện trên PC, các cao độ một điểm bất kỳ có thể xác định trên PC. Qua kết quả so sánh giữa cao độ trên PC và giá trị đo bằng thủy bình cho thấy độ lệch lớn nhất là 4 mm (Bảng 2).

Chênh cao giữa hai thanh ray của đường ray tại cùng một vị trí cũng có thể được xác định trên PC như Bảng 2. Từ độ cao các điểm trên mặt thanh ray có thể thấy rằng đường ray xe goòng trong hầm lò tại các vị trí khác nhau có độ dốc không đều, tại một vị trí hai thanh ray có cao độ không bằng nhau, chênh lệch độ cao lớn nhất giữa hai mặt thanh ray trên khu vực đo thực nghiệm là 19 mm. Từ kết quả này, hoàn toàn có thể đánh giá hiện trạng thanh ray theo phương thẳng đứng trên đám mây điểm TLS. Đánh giá mặt cắt dọc trên 1 thanh ray và sự chênh lệch độ cao của bề mặt thanh ray (hai mặt thanh ray ở cùng vị trí không nằm trên cùng mặt phẳng).

5. Kết luận

Thực nghiệm được thực hiện tại đường lò xuyên vỉa mức -350 m mỏ than hầm lò Núi Béo đã được quét laser bằng máy GLS 2200 để phục vụ công tác quan trắc đường ray xe goòng theo phương ngang và đứng. Kết quả đánh giá phương ngang được so sánh với kết quả đo bằng thước thép và phương đứng so sánh với kết quả đo bằng máy thủy bình điện tử là các phương pháp phổ biến đang được ứng dụng tại mỏ. Kết quả thực nghiệm đã rút ra các kết luận sau:

Máy TLS có chức năng định tâm máy và định hướng, cho phép bỏ qua việc ghép trạm sau khi quét, các điểm đo trên đám mây điểm sau khi quét có cùng hệ tọa độ với các điểm mốc khống chế cơ sở đã sử dụng;

Trên đám mây điểm TLS có thể đo kiểm tra khoảng cách, xác định tọa độ và độ cao của các điểm trên PC độ chính xác đến mm. Từ đó đánh giá mức độ ổn định của các thanh ray theo phương đứng và theo phương ngang;

Hoàn toàn có thể đánh giá độ ổn định của đường ray tàu điện hay xe goòng trên đám mây điểm 3D được thành lập bằng TLS.

Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm khoa học của đề tài cấp bộ mã số B2022-MDA-10, nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo, Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ kinh phí.

Những đóng góp của tác giả

Phạm Văn Chung - đọc chỉnh sửa nội dung, đo đạc thực địa; Lê Văn Cảnh - viết nội dung bản thảo, chuẩn bị hình vẽ, bảng biểu, đo đạc thực địa; Nguyễn Quốc Long - đưa ý tưởng, viết nội dung; Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Việt Hưng - đo đạc thực địa, xử lý dữ liệu.

Tài liệu tham khảo

- Bazarnik, M., (2018). Slope stability monitoring in open pit mines using 3D terrestrial laser scanning. *E3S Web Conf.*, 66, 01020. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186601020>
- Bộ Công Thương, (2011). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò.
- Kovanič, L., & Blišťan, P., (2014). Quarry Wall Stability Assessment Using TLS Method. *Advanced Materials Research*, 1044-1045, 603-606. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.603
- Mohammadi, M., Rashidi, M., Mousavi, V., Karami, A., Yu, Y., & Samali, B., (2021). Quality Evaluation of Digital Twins Generated Based on UAV Photogrammetry and TLS: Bridge Case Study. *Remote Sensing*, 13(17), 3499. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/17/3499>
- Nguyễn, V. N., & Võ, N. D., (2016). Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy quét laser 3D mặt đất trong quản lý xây dựng - khai thác mỏ hầm lò. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 57(8).
- Nguyễn, V. N., Vũ, Q. L., Nguyễn, Q. L., Phạm, T. L., Phạm, V. C., & Nguyễn, T. T. H., (2019). *Quét laser mặt đất - công nghệ địa không gian trong công nghiệp khoáng sản*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.

- Nguyenkimjsc., (2022). Máy thủy chuẩn điện tử Trimble DINI 03.
- Pham, T. D., Pham, Q. K., Cao, X. C., Nguyen, V. H., & Ngo, S. C., (2021). The capability of terrestrial laser scanning for monitoring the displacement of high-rise buildings. *Test*, 1(2). doi:10.29227/IM-2021-02-47
- Rashidi, M., Mohammadi, M., Sadeghlou Kivi, S., Abdolvand, M. M., Truong-Hong, L., & Samali, B. (2020). A Decade of Modern Bridge Monitoring Using Terrestrial Laser Scanning: Review and Future Directions. *Remote Sensing*, 12(22), 3796. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/22/3796>
- SISC. (2020). <http://www.sisc.com.vn/>.
- Topcon Victory, (2022). Thiết bị Laser Scan GLS-2200 Hãng Topcon-Nhật Bản. <https://topconvn.com/>.
- Võ, C. M., (2016). *Trắc địa mỏ*. Việt Nam: NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
- Wang, W., Zhao, W., Huang, L., Vimarlund, V., & Wang, Z., (2014). Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(5), 325-337. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30279-8](https://doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30279-8)
- Xie, L., Yan, E., Wang, J., Lu, G., & Yu, G., (2018). Study on evolutionary characteristics of toppling deformation of reverse-dip layered rock slope based on surface displacement monitoring data. *Environmental earth sciences*, 77(4), 1-8. doi:10.1007/s12665-018-7352-3.