

# KHẢO SÁT QUY TRÌNH THÀNH LẬP BẢN ĐỒ ĐỊA HÌNH MỎ LỘ THIÊN BẰNG MÁY QUÉT LASER 3D MẶT ĐẤT

NGUYỄN VIỆT NGHĨA, VÕ NGỌC DŨNG  
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

**T**rong những năm gần đây, việc ứng dụng kỹ thuật quét laser 3D mặt đất (TLS - Terrestrial Laser Scanner 3D) trong công tác đo đạc khảo sát đang ngày được quan tâm do những ưu điểm của phương pháp này như: nhanh chóng, chính xác cao, không tiếp xúc trực tiếp và trực quan. Kỹ thuật này cho phép xác định số lượng và mật độ điểm đo rất cao lên tới 500.000-1.000.000 điểm mỗi giây trong không gian ba chiều với độ chính xác đạt mức vài mm, và được xác định trong một thời gian ngắn [2]. Nhất là với những cải tiến vượt bậc liên quan đến tốc độ, độ chính xác, thuật toán phần mềm và việc giảm giá thành trong thời gian gần đây đã giúp cho kỹ thuật TLS được áp dụng ngày càng phổ biến trên thế giới một cách thành công trong nhiều lĩnh vực như: phục hồi và bảo tồn các công trình lịch sử quan trọng và thành lập mô hình địa lý, đo đạc các công trình xây dựng dân dụng, quan trắc biến dạng công trình, thành lập mô hình bản đồ thành phố 3D, đo đạc trong các đường hầm [2], [3],...

Trong lĩnh vực khai thác mỏ, công nghệ này cũng đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới như Mỹ, Tây Ban Nha, Ba Lan, Trung Quốc, cho phép thu thập dữ liệu địa không gian tài nguyên khoáng sản ở mỏ một cách một cách nhanh chóng, chính xác, chi tiết đồng thời cho phép quản lý, điều hành sản xuất, khai thác tài nguyên mỏ một cách trực quan và hợp lý, góp phần nâng cao hiệu quả trong quản lý khai thác, quản trị tài nguyên khoáng sản mỏ [1, 5]. Tuy nhiên, việc áp dụng kỹ thuật TLS này trong công tác đo đạc thành lập bản đồ địa hình ở mỏ lộ thiên tại Việt Nam còn đang ở mức nghiên cứu thử nghiệm, chưa đưa ra quy trình đo quét xử lý.

## 1. Công nghệ quét laser 3D mặt đất

Công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS) cho phép thu nhận và thể hiện bằng hình ảnh ba chiều

tất cả mọi đối tượng, yếu tố như môi trường, cảnh quan, địa hình, thiết bị máy móc, công trình dân dụng, giao thông,... như chúng đang tồn tại trong thực tiễn. Cơ chế quét của thiết bị TLS được xác định và hoạt động trong một hệ tọa độ cầu. TLS xác định các tín hiệu phản xạ trở lại và ghi lại các góc bằng ( $\theta$ ), góc thẳng đứng ( $\varphi$ ) và tính toán khoảng  $\rho$  tới bề mặt vật thể, máy TLS được coi như là trung tâm của hệ thống. Trong tọa độ cầu, các đám mây điểm được xác định (7):

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}_{i=1 \dots n} = \begin{bmatrix} \rho_i \cos \varphi_i \cos \theta_i \\ \rho_i \cos \varphi_i \sin \theta_i \\ \rho_i \cos \varphi_i \end{bmatrix}_{i=1 \dots n} \quad (1)$$

Theo đó

$$\begin{bmatrix} \theta_i \\ \varphi_i \\ \rho \end{bmatrix}_{i=1 \dots n} = \begin{bmatrix} \tan^{-1} \left( \frac{y_i}{x_i} \right) \\ \tan^{-1} \left( \frac{z_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}} \right) \\ \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \end{bmatrix}_{i=1 \dots n} \quad (2)$$

Các máy quét TLS cung cấp thông tin vị trí điểm chụp ( $X, Y, Z$ ), cường độ phản hồi ( $I$ ), các giá trị màu (RGB) được xác định bởi máy chụp ảnh gắn ngoài chụp cùng trong quá trình quét sau đó được ánh xạ và gán cho các điểm quét. Mỗi pixel của hình ảnh được tô màu với một giá trị xác định.

Hiện nay, các máy quét TLS sử dụng trong trắc địa có 3 loại chính hoạt động theo: phương pháp đo xung (Time of Flight), phương pháp đo pha (Phase Base), xử lý dạng sóng (Waveform Processing) để xác định chính xác khoảng cách tới các đối tượng với số lượng và tốc độ ghi nhận số lượng các điểm đo lớn, xử lý số liệu nhanh,... Các hệ thống TLS thu nhận

một khối số liệu thô không lồ các điểm trong không gian 3 chiều với tên gọi "Đám mây điểm - Point Cloud". Khoảng cách từ thiết bị TLS đến điểm phản xạ được xác định bằng công thức [2]:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{n} \cdot \Delta t \quad (3)$$

Trong đó: C - Vận tốc lan truyền sóng laser; n - Hệ số chiết xuất môi trường; Δt - Thời gian tín hiệu đi và về của tín hiệu.

Độ chính xác điểm trong không gian 3 chiều đạt được phụ thuộc vào độ chính xác xác định thời gian đi và về của tín hiệu [10], và độ chính xác đạt khoảng vài mm.

**1.1. Máy quét hoạt động theo phương pháp đo xung:** khoảng cách tới vật đo được xác định theo thời gian di chuyển được xác định:

$$D_{\text{xung}} = c \cdot \frac{t_r - t_o}{2} \quad (4)$$

Trong đó: t<sub>o</sub> - Thời gian xung phát ra; t<sub>r</sub> - Thời gian xung nhận được

Máy quét hoạt động theo công nghệ "Time of Flight" (có thể gọi bằng tên khác "Pulse Based") là kiểu máy quét laser phổ biến nhất trong đo đạc dân dụng bởi tia quét có khả năng đi xa nhất (chuẩn từ 125 đến 1000 mét) và tốc độ thu thập số liệu đạt tới 50.000 điểm mỗi giây hoặc cao hơn nữa.

**1.2. Máy quét hoạt động theo phương pháp đo pha:** khoảng cách tới vật đo xác định trên cơ sở xác định pha sóng (Phase Base) được xác định theo công thức:

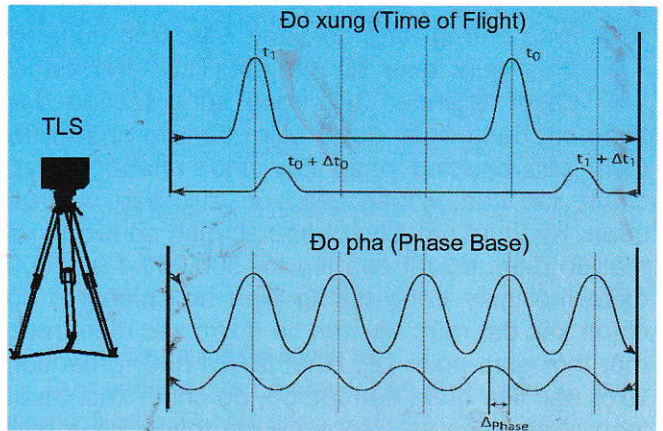
$$D_{\text{pha}} = \frac{\Delta\phi}{4\pi} \lambda \quad (5)$$

Theo đó, khoảng tín hiệu λ/c được xác định theo công thức:

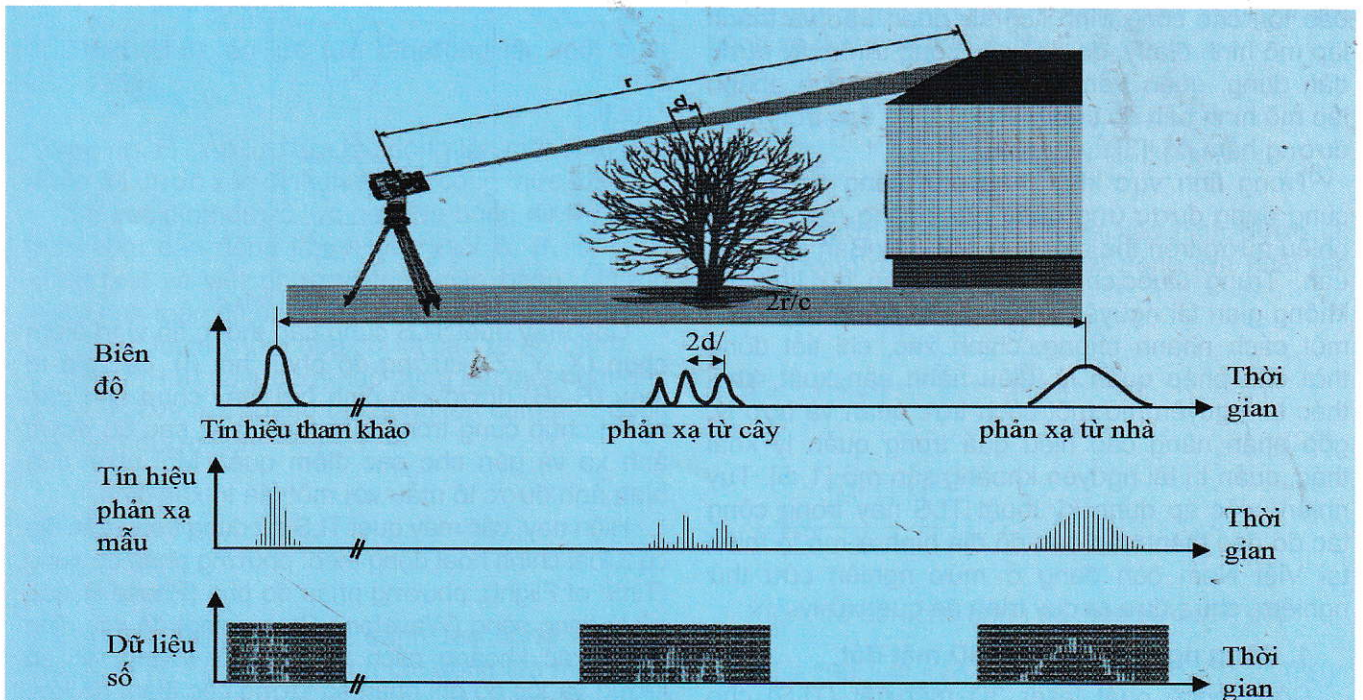
$$\Delta t = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \frac{\lambda}{c} \quad (6)$$

Trong đó: Δt - Chênh lệch thời gian; Δφ - Khoảng lệch pha giữa tín hiệu phát ra với tín hiệu nhận được.

Các máy quét laser "Phase Based" có khoảng cách quét ngắn hơn so với các máy quét "Pulse Based" (chuẩn từ 25÷27 mét), nhưng có tốc độ thu thập số liệu cao hơn rất nhiều so với các máy quét "Pulse Based".



H.1. Khoảng cách đo bằng TLS được xác định bằng phương pháp đo pha và đo xung



H.2. Nguyên lý hoạt động của các máy quét TLS theo công nghệ xử lý hình dạng sóng

**1.3. Máy quét dựa trên công nghệ xử lý hình dạng sóng “Waveform Processing”**

Máy quét dựa trên công nghệ xử lý hình dạng sóng “Waveform Processing” còn gọi là máy quét “Echo Digitization”, đây là các máy quét sử dụng kỹ thuật tính toán thời gian di chuyển “Time of Flight” và khả năng xử lý hình dạng sóng trong chế độ thời gian thực để xác định đa phản hồi hoặc phản xạ của cùng một tín hiệu đưa tới kết quả xác định hình dạng các đối tượng mà tín hiệu gặp phải trên đường di chuyển. Các máy quét công nghệ “Waveform Processing” có khoảng cách hiệu quả giống như các máy quét “Time of Flight”. Tốc độ truyền gửi đạt tới 300.000 tín hiệu mỗi giây, và khả năng phản hồi trở lại đạt tới 15 lần với mỗi tín hiệu gửi đi, thực tế tỷ lệ số liệu thu được của các máy quét này có thể vượt quá con số 1.5 triệu điểm mỗi giây.

**2. Quy trình thành lập mô hình bản đồ 3D mô lộ thiên bằng máy quét laser 3D mặt đất**

**2.1. Công tác chuẩn bị**

- > Xác định sơ bộ kích thước và cấu trúc bề mặt đối tượng quét;
- > Bố trí, xác định vị trí tiêu đo và điểm đặt máy;
- > Các điểm đặt trạm máy phải cùng ngắm chung tối thiểu 4 tiêu cố định để đảm bảo độ chính xác ghép các mô hình;
- > Lập phương án đo hợp lý, tiết kiệm thời gian đồng thời tăng hiệu quả đo quét;
- > Thiết lập cấu hình máy quét TLS: Tùy thuộc vào mức độ chi tiết, đối tượng địa hình, địa vật và độ sáng tối của không gian làm việc mà điều chỉnh cấu hình quét phù hợp nhất nhằm đảm bảo chất lượng số liệu đạt yêu cầu, đảm bảo mức độ trực quan đối tượng được quét.

**2.2. Tính toán-Xử lý số liệu-Biên tập**

Dữ liệu sau khi quét được xử lý theo quy trình chung (H.3).

**a. Nhập số liệu vào phần mềm xử lý**

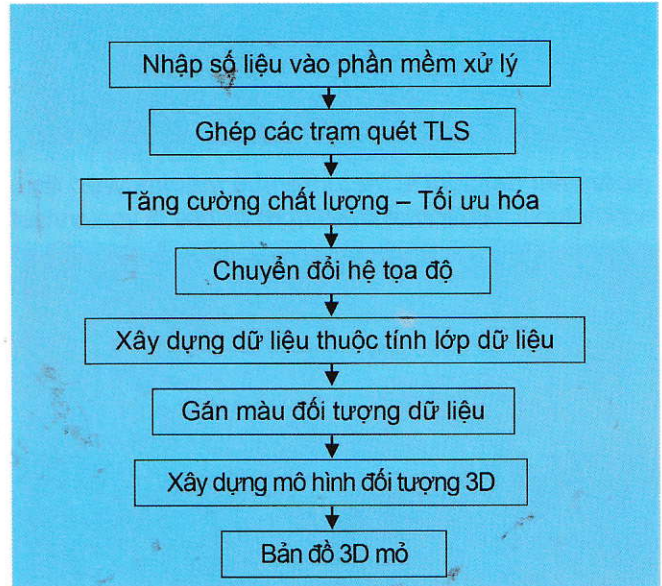
Các số liệu quét được mã hóa theo định dạng chung của mỗi hãng máy. Do vậy, khi nhập số liệu nên sử dụng đồng bộ bằng các phần theo hãng máy, sau đó xuất ra các định dạng text hoặc định dạng khác phù hợp với chương trình xử lý hiện có.

Thông thường các điểm trong đám mây này có tọa độ X, Y, Z và các giá trị về cường độ tia laser phản hồi (khuôn dạng XYZI). Các điểm có thể được thể hiện trong khuôn dạng XYZIRGB (Tọa độ X, Y, Z. Cường độ phản hồi I, các giá trị màu R, G, B) nếu có số liệu ảnh chồng phủ lớp trên (H.3).

**b. Ghép các trạm quét TLS**

Số liệu từ các trạm quét rời rạc được ghép vào thành một khối số liệu hoàn chỉnh, tạo ra một mô

hình đám mây điểm 3D cho toàn bộ khu vực đo quét. Trong công đoạn này, quan trọng nhất là xác định các tiêu mốc nối giữa các trạm, từ đó kết hợp với các điểm, các bề mặt đặc trưng lấy đó làm điểm chung để nối khung hình dữ liệu các trạm quét về đúng vị trí thực tế. Độ chính xác của mô hình đám mây điểm phụ thuộc rất nhiều vào loại tiêu mốc, số lượng điểm chung, khoảng cách từ máy TLS tới tiêu mốc.



H.3. Sơ đồ xử lý tạo mô hình 3D bản đồ địa hình mô

1	2	3	4	5	6	7
3565119						
456780.327	2325311.547	128.612	214	210	252	250
456790.322	2325318.132	126.875	212	228	255	255
456780.399	2325311.512	128.475	213	217	246	252
456776.965	2325308.947	128.157	215	247	255	255
456790.381	2325318.182	127.008	212	205	251	248
456776.899	2325308.501	129.019	216	252	255	255
456781.173	2325312.337	127.656	215	237	245	247
456781.236	2325312.385	127.794	216	248	254	254
456785.426	2325315.487	126.433	213	237	255	225
456785.484	2325315.561	126.268	213	241	255	250
456787.452	2325318.807	123.830	211	183	249	222
456787.516	2325318.824	123.686	211	182	238	213

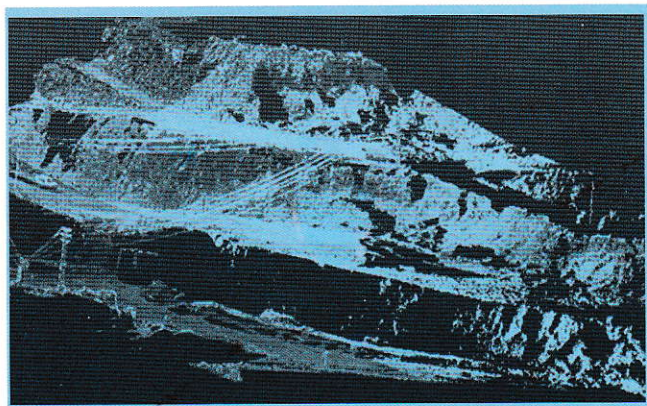
H.3. Các điểm trong đám được xuất sang định dạng (XYZ,I, R, G, B)

**c. Tăng cường chất lượng-Tối ưu hóa dữ liệu**

Sau khi ghép thành một khối, dữ liệu thường chứa nhiều bề mặt từ các trạm quét rời rạc trước khi nối ghép. Mục đích chính của công đoạn này là cắt gọn, chỉnh sửa và loại bỏ các nhiễu bề mặt, đồng thời giảm đáng kể dung lượng lưu trữ và tăng tốc độ xử lý dữ liệu mô hình tổng thể.



H.4. Tiêu mốc được bố trí trên bề mặt khu vực đo quét một trạm quét ở mỏ



H.5. Đám mây điểm sau khi ghép lại được tăng cường chất lượng

**d. Chuyển đổi hệ tọa độ**

Dữ liệu sau khi ghép lại thành một khối cần chuyển về hệ tọa độ thống nhất, phù hợp với hệ tọa độ Nhà nước quy định (VN-2000) giúp xây dựng cơ sở dữ liệu bản đồ số 3D toàn bộ khu vực đo quét một cách thống nhất, đồng bộ với hệ thống cơ sở dữ liệu chung khác.

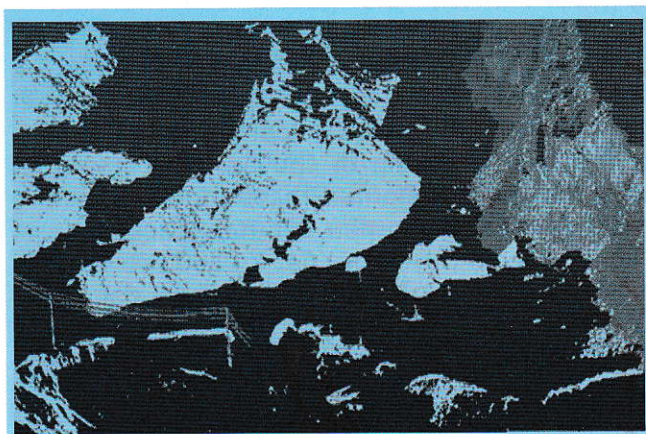
**e. Xây dựng cơ sở dữ liệu thuộc tính các lớp đối tượng**

Trong khu vực đo quét, các đối tượng cần được xây dựng các cơ sở dữ liệu theo từng lớp với từng thuộc tính khác nhau và phải được thiết kế sao cho các đối tượng trong khu vực quét được quản lý tốt cả về dữ liệu thuộc tính và cả dữ liệu không gian cũng như tiết kiệm về dung lượng lưu trữ. Giúp những người sử dụng, nhà quản lý sử dụng một cách đơn giản và hiệu quả.

**g. Gán màu đối tượng dữ liệu**

Các máy TLS thường cho phép trích ảnh chụp 360° từ chính dữ liệu trong quá trình quét. Dữ liệu ảnh hiển thị ở cả dạng mô hình 3D và ảnh toàn cảnh (Panorama) phủ trùm toàn bộ các bề mặt đối

tượng có dữ liệu đám mây điểm. Từ những ảnh màu thực tế này giúp người xử lý nội nghiệp chuyển đổi, gán màu cho đối tượng đo quét giúp nhận biết, phân biệt và xác định đối tượng một cách trực quan.



H.6. Các đối tượng trên địa hình mỏ được phân loại và gán màu

**f. Xây dựng mô hình đối tượng 3D**

Quá trình xây dựng mô hình địa hình 3D có thể chia thành hai bước chính: đầu tiên phải tạo khung, sau đó mới phủ lên trên các lớp màu và gán thêm các đối tượng khác.

➤ Bước 1: xây dựng mô hình hình học (modeling) bao gồm xây dựng DEM và mô hình hóa các đối tượng địa hình 3D.

➤ Bước 2: hiển thị trực quan (visualisation) các đối tượng của mô hình. Khi thiết kế mô hình mô phỏng thực tế, người thiết kế khó có thể xây dựng được một mô hình giống thế giới thực 100%. Câu hỏi luôn luôn được đặt ra là các đối tượng sẽ được thể hiện giống với thực tế đến mức nào. Mô hình càng giống với thực tế thì cấp độ chi tiết (LoD - Level of Detail), dung tích dữ liệu càng lớn và tốc độ hiển thị càng chậm và chi phí xây dựng mô hình càng cao.

Cấp độ chi tiết (LoD) được dùng để diễn tả mức độ chi tiết, sự giống nhau giữa mô hình địa hình 3D và thế giới thực. LoD được áp dụng để xây dựng mô hình DEM, mô hình hình học các đối tượng 3D trên DEM. Mô hình địa hình 3D lý tưởng là mỗi đối tượng phải có nhiều cách thể hiện khác nhau (multi-presentation-multi-LoD) cho các mức độ chi tiết khác nhau, trong đó dữ liệu được chia thành các mảnh nhỏ (tile). Ba bộ dữ liệu ở ba cấp độ chi tiết (độ chi tiết cao, trung bình và thấp) được lưu trữ cho từng mảnh nhỏ đó.

Để tạo ra một hình ảnh phối cảnh của mô hình, mỗi mảnh nhỏ sẽ được thể hiện ở một cấp độ chi tiết nhất định phụ thuộc vào khoảng cách từ vị trí

theo dõi đến mảnh đó. Cần phải có phương án xử lý thật tốt khi hiển thị ở khu vực ranh giới giữa hai mảnh có cấp độ chi tiết khác nhau. Một khó khăn khác khi xây dựng một mô hình như thế là dung lượng dữ liệu sẽ tăng rất nhanh cùng với số cấp độ chi tiết được lưu trữ.



H.7. Xây dựng mô hình 3D các đối tượng mỏ lộ thiên

h. Quản lý, chia sẻ mô hình 3D bề mặt địa hình: Dữ liệu sau khi đã được xử lý và mã hóa hoàn chỉnh có thể đóng gói dưới dạng dữ liệu chia sẻ qua mạng LAN hoặc Internet. Người nhà quản lý, người sử dụng có thể truy cập từ xa vào máy chủ dữ liệu 3D để kiểm tra, tải dữ liệu mô hình và hình ảnh từ máy chủ,...

### 3. Kết luận

> Với những ưu điểm về khả năng thu nhận dữ liệu, tốc độ đo quét nhanh, độ chính xác của tia laser trong xác định vị trí điểm ngày càng cao và giá thành ngày càng giảm trong thời gian gần đây đã giúp cho kỹ thuật TLS được áp dụng ngày càng phổ biến trong nhiều ngành trong đó có ngành trắc địa mỏ.

> Bản đồ 3D địa hình mỏ được xây dựng với số điểm lên tới hàng triệu điểm đo, đồng thời cho phép biểu diễn từng đối tượng trên mô hình 3D hoặc 2D ở nhiều dạng khác nhau như: dạng đám mây điểm, mô hình 3D, ảnh toàn cảnh,... giúp xác định và phân loại xây dựng cơ sở dữ liệu các đối tượng trên địa hình mỏ một cách chi tiết và trực quan.

> Việc thành lập bản đồ 3D địa hình mỏ lộ thiên bằng công nghệ TLS theo một quy trình xác định cho phép thành lập, cập nhật các cơ sở dữ liệu các đối tượng trên bề mặt mỏ một cách nhanh chóng, đồng bộ trên toàn hệ thống của công ty, tập đoàn,... cho phép các nhà quản lý, người sử dụng nâng cao khả năng quản trị, khai thác tài nguyên khoáng sản ở các mỏ lộ thiên Việt Nam. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Võ Chí Mỹ (2012). Một số lưu ý về độ chính xác đo chuyển tọa độ và phương vị qua hai giếng đứng. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ-Địa chất, số 39, 7/2012. tr.37-40.
2. Võ Chí Mỹ (2016). Trắc địa mỏ. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
3. D.W. Qiu, L.F. Gao (2010). Application of virtual reality technology in bridge structure safety monitoring, ICCIA 2010, Tianjin (2010)
4. Faro (2015). Laser Scanners Techsheets. Available online: [http://www.faro.com/\(Techsheet](http://www.faro.com/(Techsheet) Accessed in June 2015)
5. Fengyun Gu, Hongquan Xie, 2013. Status and development trend of 3D laser scanning technology in the mining field. International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013), p. 407-410.
6. L. Rade, B. Westergren, (2005). Mathematics handbook for science and engineering. Birkhauser Boston, International 5th edition.
7. J. Roca, H. Lorenzo, P. Arias, J. Armesto (2008) From laser point clouds to surfaces: Statistical nonparametric methods for three-dimensional reconstruction. Computer-Aided Design 40: 646-652.

**Ngày nhận bài:** 19-11-2016

**Ngày gửi phản biện:** 18-12-2016

**Ngày nhận phản biện:** 12-03-2017

**Ngày chấp nhận đăng bài:** 08-04-2017

**Từ khóa:** quét laser mặt đất, bản đồ 3D, địa hình, mỏ lộ thiên

### SUMMARY

Terrestrial Laser Scanner 3D (TLS) technology is being studied to applying in Vietnam's open cast mine, but up to now, it is only in the processing of research. So, it should be carried out the manufacturing process to building 3D map of opencast mine by TLS, in order to determine the details of terrain accurately and quickly. It's contributed to improving the effectiveness of mine surveying activities, management capabilities, exploitation of mineral resources in Vietnam's opencast mine. The paper deals with the surveying of the 3D mapping process for Vietnam's opencast mine by TLS.