

# NGHIÊN CỨU TÍNH KHỐI LƯỢNG XÚC BỐC TẠI MỎ LỘ THIÊN TỪ Đám Mây Điểm 3D THÀNH LẬP BẰNG ẢNH MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

Lê Văn Cảnh<sup>a</sup>, Nguyễn Quốc Long<sup>a</sup>, Trần Đình Trọng<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Trắc địa, Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất, 18 Phố Viên, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

<sup>b</sup>*Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

*Nhận ngày 17/4/2024, Sửa xong 16/5/2024, Chấp nhận đăng 17/5/2024*

## Tóm tắt

Hiện nay, trong tính toán khối lượng xúc bốc tại các mỏ than lộ thiên sử dụng ảnh máy bay không người lái UAV, mặt cắt được thành lập từ mô hình số bề mặt DSM, sau đó mới tính toán khối lượng bằng phương pháp mặt cắt theo TCVN 10673:2015. Cách tính toán như vậy không hiệu quả về thời gian, và làm giảm độ chính xác bề mặt thu thập được. Với mục đích khắc phục nhược điểm trên, nghiên cứu này ứng dụng đám mây điểm 3D để tính khối lượng xúc bốc. Để đánh giá độ chính xác của phương pháp, dữ liệu kiểm nghiệm là mô hình địa hình được thiết kế dưới dạng tầng bậc tương đồng với mỏ lộ thiên thực tế để tính toán khối lượng xúc bốc theo phương pháp toán học (TH), mặt cắt song song (MC) và đám mây điểm 3D (PC), kết quả cho thấy độ lệch TH-MC là 0% và TH-PC là 0,03%. Tính toán thực tế khối lượng xúc bốc tại mỏ than Cọc Sáu cho thấy độ lệch MC-PC là 1,3%. Như vậy, tính khối lượng trực tiếp trên mô hình đám mây điểm PC hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu của TCVN 10673:2015. Kết quả nghiên cứu cũng góp phần khẳng định hiệu quả của công nghệ UAV trong thu thập dữ liệu tại các mỏ lộ thiên, đảm bảo các công việc yêu cầu độ chính xác cao.

*Từ khoá:* máy bay không người lái; tính khối lượng; đám mây điểm; mỏ lộ thiên; mô hình số độ cao; mô hình số bề mặt.

STUDY ON CALCULATING THE EXCAVATION VOLUME AT OPEN-PIT MINES USING 3D POINT CLOUD GENERATED FROM UAV IMAGERY

## Abstract

Currently, the calculation of excavation volumes in open-pit mines using unmanned aerial vehicle (UAV) data, where cross-sections are generated by establishing from the Digital Surface Model (DSM), and subsequently computing excavation volumes as prescribed by TCVN 10673:2015. This approach reduces the accuracy of the collected surface data, while also consuming considerable time for accurate terrain digitization from the DSM and cross-section generation, thereby introducing errors in this process. To address these limitations, this study employs 3D point clouds derived from UAV imagery to compute excavation volumes. Additionally, to assess the accuracy of this method, test data consists of a terrain model designed to mimic the terraced morphology of actual open-pit mines for excavation volume calculations using mathematical (TH), cross-sectional (MC), and 3D point cloud (PC) methods. The results reveal a deviation of 0% between TH and MC, and 0.03% between TH and PC. Practical volume calculations at Cọc Sáu coal mine exhibit a 1.3% discrepancy between MC and PC methods. Thus, direct excavation volume calculation on the PC point cloud model fully meets the technical requirements according to TCVN 10673:2015. The research outcomes also contribute to affirming the effectiveness of UAV technology in data collection at open-pit mines, ensuring the completion of tasks that require high precision.

*Keywords:* UAV; excavation volume calculation; point cloud; open-pit mine; DEM; DSM.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(2V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(2V)-08) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [trongtd@huce.edu.vn](mailto:trongtd@huce.edu.vn) (Trọng, T. Đ.)

## 1. Giới thiệu

Công nghệ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong công tác đo đạc khảo sát thu thập dữ liệu bề mặt đất do tính linh hoạt, độ chính xác đạt được ngày càng cao, chi phí thấp và an toàn. Với những khu vực có địa hình phức tạp, khó tiếp cận như đồi núi [1], khu vực khai thác mỏ lộ thiên [2],... công nghệ UAV khắc phục được hầu hết các nhược điểm của công nghệ đo đạc truyền thống [3, 4]. Dữ liệu ảnh thu thập được bằng UAV cho phép xây dựng thành lập được nhiều sản phẩm mô tả không gian, bề mặt địa hình như đám mây điểm 3D (3D point cloud), mô hình số bề mặt DSM (Digital Surface Model), mô hình số độ cao DEM (Digital Elevation Model), bản đồ địa hình, ảnh trực giao [4–6].

Trên thế giới, công nghệ UAV được ứng dụng phổ biến trong công tác khảo sát tính toán khối lượng khai thác, trữ lượng tại các mỏ [7–11]. Tác giả Hugenholtz cùng nhóm nghiên cứu [12] đã so sánh kết quả tính khối lượng đá thành phẩm tại bãi chứa đá từ ảnh bay chụp UAV với khối lượng đá được tính theo tải trọng cân xe của mỏ. Kết quả cho thấy độ lệch về khối lượng tính toán là 2,5%. Trong một nghiên cứu khác, tác giả Ajayi và cs. [13] đã tính toán khối lượng đá thành phẩm từ ảnh bay chụp UAV và so sánh với khối lượng đá tính toán được từ công suất thống kê tại máy nghiền. Kết quả cho thấy độ lệch về khối lượng là 2,94%. Các nghiên cứu chỉ ra rằng ứng dụng UAV trong công tác đo vẽ tính khối lượng tại mỏ đáp ứng được yêu cầu về độ chính xác, giảm thời gian và công sức lao động. Ở nước ta, các nghiên cứu ứng dụng UAV trong đo đạc khảo sát mỏ cũng đã được quan tâm. Các nghiên cứu [2, 14] cho thấy việc ứng dụng công nghệ UAV hiệu quả cao về thời gian đo đạc và độ chính xác đảm bảo yêu cầu.

Trong khai thác mỏ than lộ thiên, công tác xúc bốc đất đá, khoáng sản là một trong những công đoạn sản xuất chính, liên quan tới nhiều công đoạn như chuẩn bị đất đá, công nghệ, phương tiện vận tải,... cho quá trình khai thác. Ở các mỏ tại Việt Nam, việc tính khối lượng xúc bốc đất đá hay khối lượng khoáng sản tại các mỏ là công tác trắc địa quan trọng nhằm kiểm tra mức độ hoàn thành kế hoạch xúc bốc [15]. Chu kỳ tính toán khối lượng dài hay ngắn phụ thuộc vào loại khoáng sản, qui mô của mỏ và tiến độ khai thác. Tại các mỏ khai thác than khối lượng xúc bốc được tính thường xuyên, có thể theo ngày, tuần, tháng hoặc theo quý. Khối lượng chủ yếu được tính toán dựa trên nguyên lý của phương pháp mặt cắt trên phần mềm chuyên dụng [16]. Do vậy, trong các nghiên cứu [2, 14], trữ lượng không được tính trực tiếp từ mô hình đám mây điểm 3D mà được tính từ các điểm tọa độ  $(x, y, h)$  được xuất ra từ mô hình số bề mặt DSM với mật độ điểm tương đương với điểm đo chi tiết bằng máy toàn đạc hay bằng máy định vị thời gian thực RTK (Real-Time Kinematic) của công nghệ định vị toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System), tức là mật độ điểm mô tả bề mặt thưa, làm mất đi dữ liệu đầy đủ chi tiết của địa hình mà công nghệ UAV thu thập được. Việc chuyển về tính theo phương pháp mặt cắt, theo yêu cầu của TCVN 10673:2015 [16], đã làm giảm độ chính xác do ảnh hưởng sai số khái quát địa hình, tăng thêm thời gian xử lý nội nghiệp. Các nghiên cứu [12, 13] đã chứng minh rằng sai số tính toán khối lượng xúc bốc tại các mỏ đá từ dữ liệu đám mây điểm 3D so với khối lượng xúc bốc thực tế là nhỏ hơn 3%, đáp ứng yêu cầu về độ chính xác. Tuy nhiên, các nghiên cứu này được thực hiện tính toán đá thành phẩm trong kho, chưa có nghiên cứu thực hiện tại các mỏ than, nơi có địa hình tầng bậc, phức tạp, chênh cao thay đổi lớn, đồng thời chưa đề cập tới phương pháp mặt cắt, là phương pháp hiện được dùng phổ biến ở nước ta.

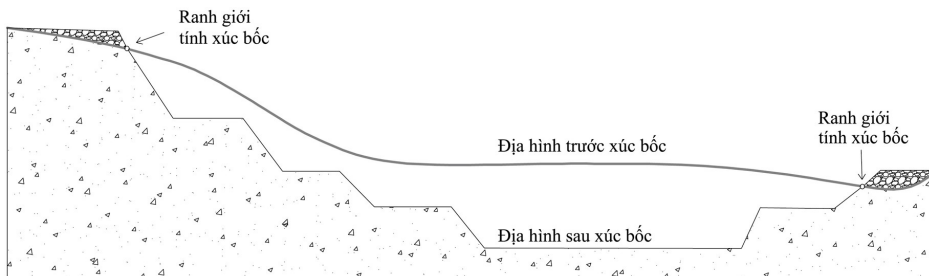
Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu tính toán khối lượng xúc bốc trực tiếp từ đám mây điểm 3D, một phương pháp khắc phục được nhược điểm của cách tính toán hiện nay theo phương pháp mặt cắt từ dữ liệu UAV trong khai thác mỏ lộ thiên. Dữ liệu sử dụng gồm dữ liệu kiểm nghiệm và dữ liệu thực tế. Trong đó, dữ liệu kiểm nghiệm là mô hình địa hình được thiết kế dưới dạng tầng bậc tương đồng với bờ mỏ lộ thiên thực tế, dữ liệu thực tế là dữ liệu thu thập bằng UAV và đo đạc trực tiếp

của khu vực khai thác tại mỏ than Cọc Sáu, là mỏ than lâu đời nhất ở Quảng Ninh với mức khai thác -300 m. Trong nghiên cứu, chúng tôi cũng sử dụng phương pháp mặt cắt (phương pháp được quy định trong TCVN 10673:2015), và phương pháp toán học (phương pháp tính theo mô hình toán học) để so sánh, đánh giá kết quả tính toán khối lượng xúc bốc với phương pháp tính toán từ đám mây điểm trên cùng các dữ liệu sử dụng.

## 2. Cơ sở toán học tính khối lượng

### 2.1. Dữ liệu cần thiết phục vụ tính khối lượng xúc bốc tại mỏ

Tính khối lượng xúc bốc đất đá trong trắc địa thực chất là việc tính thể tích khối đất đá trong ranh giới cần tính toán, được giới hạn bề mặt địa hình trước và sau khi xúc bốc (Hình 1). Do vậy, để tính được khối lượng xúc bốc cần có dữ liệu của hai bề mặt địa hình nêu trên và ranh giới tính khối lượng.

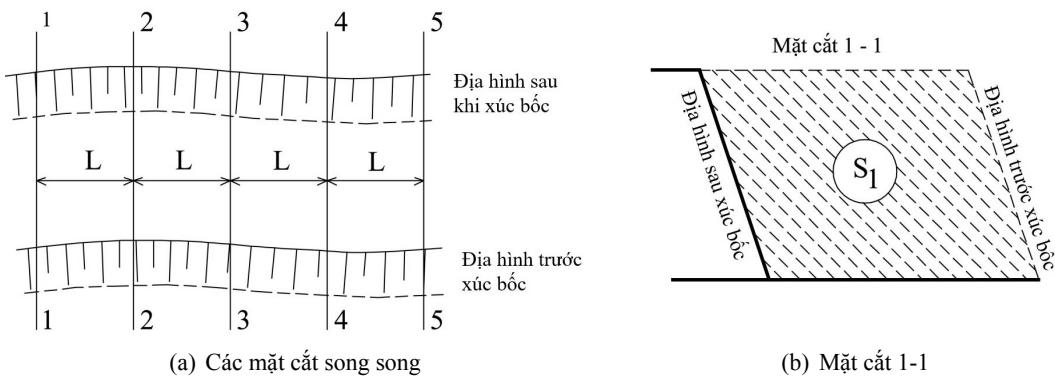


Hình 1. Mặt cắt đứng thể hiện khối lượng xúc bốc cần tính toán

Bề mặt địa hình trong tính khối lượng chính được thể hiện bằng mô hình số độ cao của địa hình DEM (Digital Elevation Model). Thông thường DEM được biểu diễn bằng mô hình tam giác không đều TIN (Triangular Irregular Network) với các đỉnh tam giác là các điểm đo chi tiết có tọa độ  $(x, y, h)$ . Các điểm chi tiết đó thường được đo bằng phương pháp toàn đạc, hoặc phương pháp định vị động thời gian thực RTK (Real Time Kinematic) của công nghệ định vị toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System). Mức độ chi tiết đo vẽ địa hình phụ thuộc vào đối tượng tính toán, tại các mỏ khai thác than đo vẽ chi tiết tại các moong phải đạt tỷ lệ 1:1.000 [14].

### 2.2. Tính khối lượng bằng phương pháp

DEM của địa hình trước và sau khi xúc bốc được thành lập từ số liệu đo chi tiết và được chồng xếp (ghép mô hình). Hệ thống các mặt cắt song song và cách đều nhau được thành lập (Hình 2(a)). Tại mỗi mặt cắt tính được diện tích đất đá cần xúc bốc (Hình 2(b)).



Hình 2. Tính khối lượng xúc bốc đất đá bằng mặt cắt song song [13]

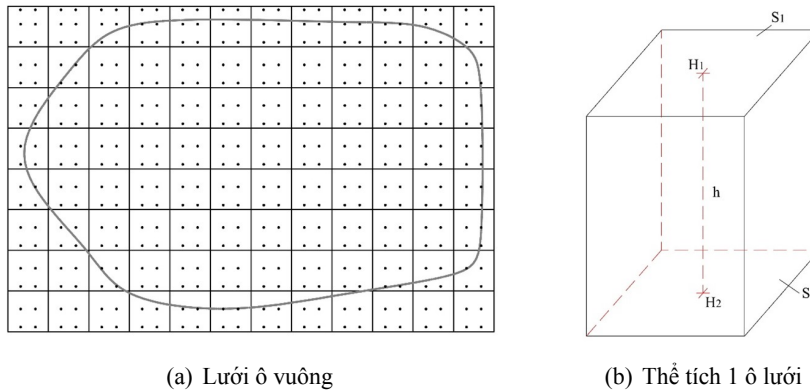
Khối lượng đất đá xúc bốc nằm trong ranh giới tính toán được tính theo công thức (1) [13].

$$V = L \left\{ \frac{S_1 + S_n}{2} + S_2 + S_3 + \dots + S_{n-1} \right\} \quad (1)$$

trong đó  $L$  là khoảng cách giữa các mặt cắt,  $S_i$  là diện tích bề mặt đất đá trên mặt cắt  $i$  (Hình 2(b)).

### 2.3. Tính khối lượng bằng phương pháp mặt cắt ô lưới từ đám mây điểm points cloud

Bề mặt khu vực cần tính toán được chia thành các ô vuông có cạnh đều nhau (Hình 3(a)). Mỗi ô vuông sẽ cắt cả bề mặt địa hình trước và sau xúc bốc, tạo thành các khối hình hộp (Hình 3(b)). Độ cao của bề mặt địa hình giới hạn bởi mỗi ô vuông được lấy là độ cao tại tâm ô vuông, độ cao này được tính là trung bình độ cao của 4 điểm đỉnh của ô vuông đó. Độ cao mỗi đỉnh được nội suy từ bề mặt địa hình theo mô hình TIN.



Hình 3. Tính khối lượng theo phương pháp lưới ô vuông

Khối lượng xúc bốc được tính theo công thức (2).

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n S_i h_i \quad (2)$$

trong đó  $S_i$  là diện tích ô lưới  $i$ ;  $h_i$  là chênh cao địa hình tại ô lưới thứ  $i$ ,  $h_i = H_i^S - H_i^T$ ;  $H_i^T, H_i^S$  là độ cao địa hình trước và sau xúc bốc tại tâm ô lưới  $i$ .

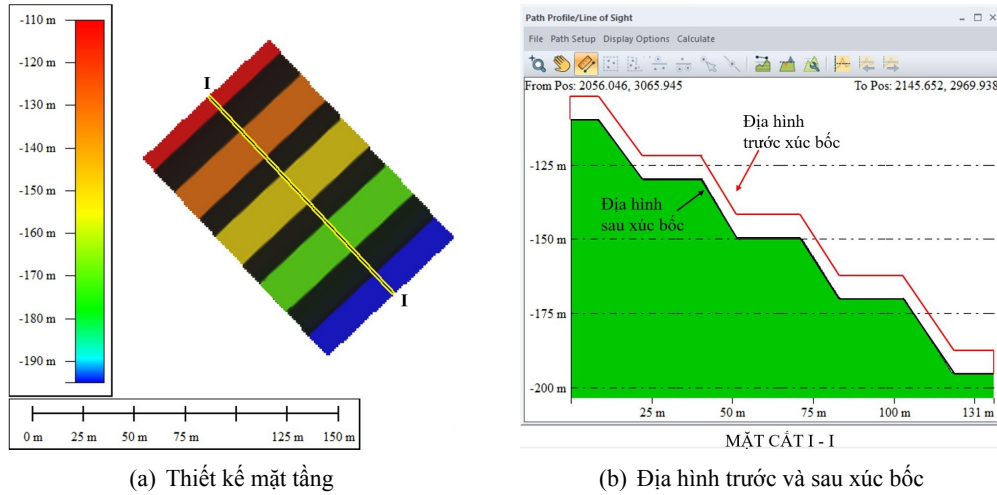
## 3. Thục nghiệm tính toán khối lượng

### 3.1. Tính toán khối lượng trên mô hình kiểm nghiệm

Khối lượng xúc bốc được tính toán trên dữ liệu mô hình kiểm nghiệm bằng 3 phương pháp: phương pháp toán học (TH), phương pháp mặt cắt (MC) và tính trực tiếp trên đám mây điểm 3D (PC).

Mô hình kiểm nghiệm được chúng tôi thiết kế với địa hình tương đồng với bờ tầng mô lộ thiên. Để loại trừ ảnh hưởng do sai số khái quát địa hình, bề mặt địa hình được thiết kế mặt tầng bằng phẳng có cùng độ cao, sườn tầng dốc đều (Hình 4(b)). Địa hình trước và sau xúc bốc song song cách đều nhau phương độ cao là 10 m (Hình 4(a)).

Các đường đặc trưng cho địa hình (chân và mép tầng) được thiết kế trên phần mềm Autocad dưới dạng đường đa tuyến có gán cao độ (3D polyline). Với trường hợp tính theo phương pháp TH và MC, các đường 3D polyline của địa hình thiết kế được đưa vào phần mềm Topo-Hsmo, được dùng phổ biến trong xử lý số liệu của các mô [2], để thành lập DEM của bề mặt địa hình mô trước và sau xúc bốc.

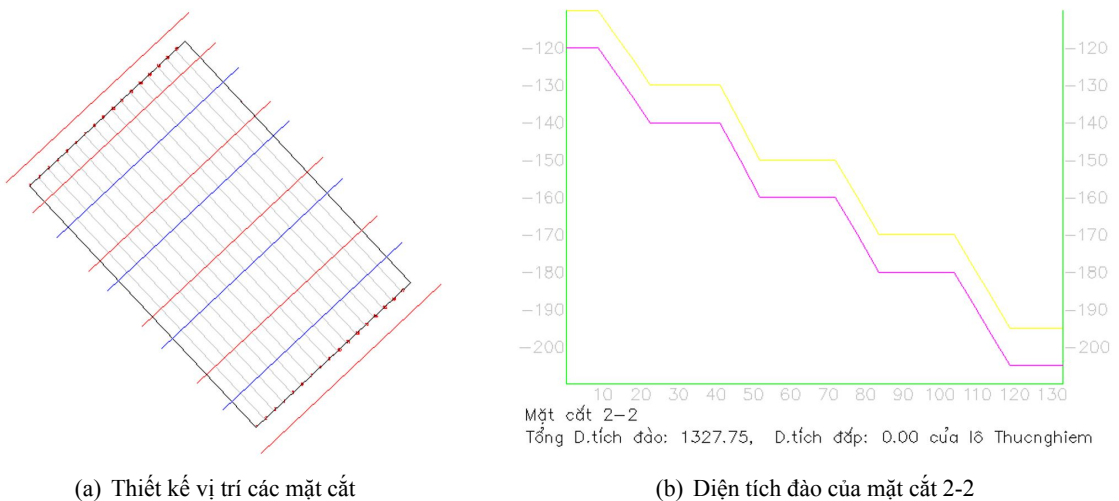


Hình 4. Địa hình thiết kế kiểm nghiệm

Trường hợp tính khối lượng theo PC, địa hình thiết kế trên Autocad được đưa vào phần mềm QGIS [17], sử dụng phương pháp nội suy tam giác không đều TIN để tạo DEM của bề mặt địa hình mở trước và sau xúc bốc. DEM sau khi nội suy được sử dụng để xuất đám mây điểm 3D sang định dạng (\*.e57) với độ chính xác 0,1 m và được đưa vào phần mềm CloudCompare [18] để tính khối lượng.

Tính khối lượng bằng công thức toán học (TH): Hai bề mặt địa hình được thiết kế song song cách đều nhau 10 m. Trên Hình 4(b) tính được diện tích mặt cắt giữa hai bề mặt địa hình là  $S = 1.327,75 \text{ m}^2$ . Độ rộng khu vực tính toán theo phương song song phương của bờ tầng là  $L = 85,096 \text{ m}$ . Thể tích khối đất đá giữa hai bề mặt địa hình tính được là  $V = SL = 112.986,85 \text{ m}^3$ .

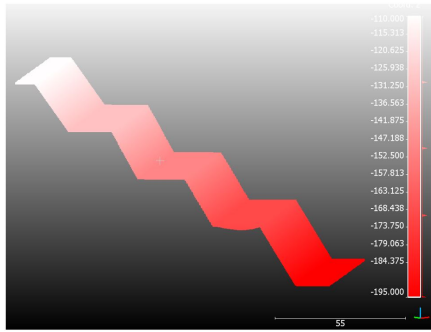
Tính khối lượng bằng phương pháp mặt cắt (MC): Sử dụng phần mềm Topo-Hsmo [2] để tính toán khối lượng. Trục mặt cắt được bố trí vuông góc với phương bờ tầng, khoảng cách giữa các mặt cắt là 5 m (Hình 5). Khối lượng xúc bốc được tính theo công thức (1).



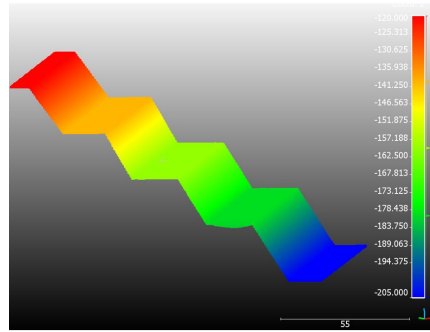
Hình 5. Mặt cắt tính khối lượng

Tính khối lượng bằng phương pháp lưới ô vuông từ dữ liệu đám mây điểm 3D (PC): Đám mây điểm 3D của bề mặt địa hình mở trước xúc bốc (Hình 6(a)) và sau xúc bốc (Hình 6(b)), xuất ra từ

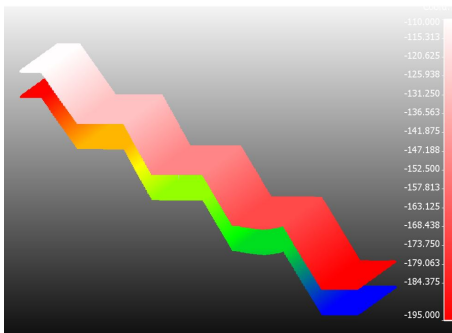
DEM trên phần mềm QGIS [17] được đưa vào phần mềm CloudCompare và chồng ghép (Hình 6(c)) [18]. Khối lượng được tính với ô lưới (step\_Grid) (Hình 6(d)) và theo công thức (2).



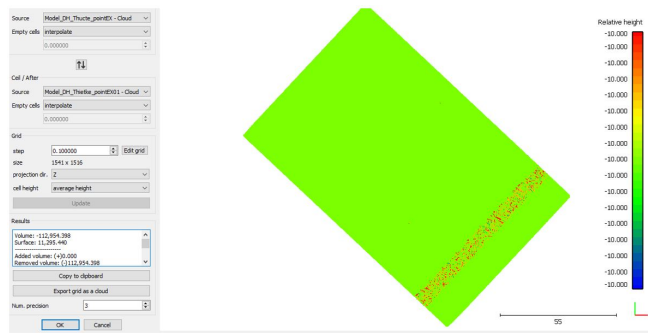
(a) Địa hình trước xúc bốc



(b) Địa hình sau xúc bốc



(c) Chồng ghép



(d) Tính khối lượng trên phần mềm CloudCompare

Hình 6. Đám mây điểm 3D của mô hình thiết kế

### 3.2. Tính toán trên dữ liệu thực tế tại mỏ than Cọc Sáu

#### a. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

Mỏ than Cọc Sáu là mỏ than lộ thiên lâu đời nhất Quảng Ninh, bắt đầu được khai thác từ năm 1888, hiện nay khai trường ở mức độ sâu -300 m, mức khai thác sâu nhất trong các đơn vị ngành than và cũng là khá hiếm trên thế giới, với nhiều tầng bậc chênh cao lớn. Khu vực thực nghiệm được chọn tại bờ tầng công tác phía Đông của mỏ than Cọc Sáu, chênh cao lớn nhất của địa hình là 190 m (Hình 7(a)).

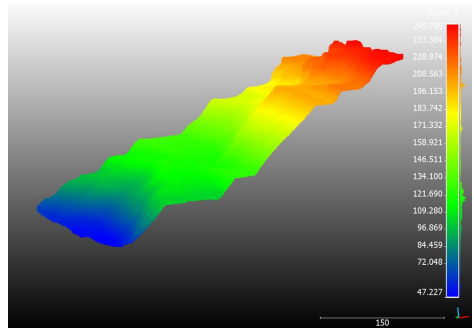
Thiết bị bay không lái DJI Phantom4 RTK được sử dụng để bay chụp ảnh khu vực thực nghiệm. Chiều cao bay chụp 100m, độ phân giải ảnh không gian GSD = 2,76 cm, độ phủ dọc và phủ ngang ảnh 75%. Trước khi bay chụp ảnh, điểm khống chế ảnh được thành lập 05 điểm trên bề mặt địa hình và đo nối tọa độ đạt độ chính xác đường chuyền cấp 2. Tâm chụp ảnh UAV được thực hiện theo phương pháp đo động sử lý sau (GNSS/PPK), trạm cơ sở được đặt tại mốc giải tích 1 đã được lập trước đó của Mỏ [14].

Dữ liệu ảnh UAV được xử lý trên phần mềm AgiSoft Metashape, sử dụng 02 điểm điểm khống chế để nắn ảnh và 03 điểm kiểm tra mô hình. Kết quả đám mây điểm 3D và mô hình số bề mặt DSM được đánh giá độ chính xác với sai số mặt bằng 3,7 cm và sai số độ cao đạt 6,4 cm [14]. Với kết quả này, độ chính xác đáp ứng được yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:1.000 [19], và đảm bảo tính khối lượng xúc bốc đất đá tại mỏ theo quy định [16].

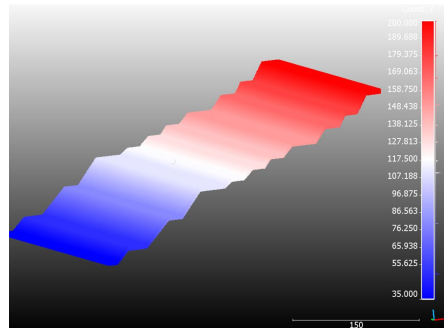
Để so sánh, đánh giá độ kết quả của phương pháp tính khối lượng từ đám mây điểm 3D, chúng tôi đã đo đạc bề mặt địa hình theo các mặt cắt của khu vực thực nghiệm mỏ than Cọc Sáu bằng phương pháp đo đạc trực tiếp sử dụng máy toàn đạc điện tử Leica TS09, mức độ chi tiết đạt tỷ lệ 1:1.000 [14], và sau đó tính toán khối lượng theo phương pháp mặt cắt, một phương pháp được quy định theo [16].



(a) Vị trí khu vực thực nghiệm tại mỏ Cọc Sáu



(b) Đám mây điểm 3D địa hình hiện trạng được thành lập từ ảnh bay chụp UAV



(c) Địa hình thiết kế sau xúc bốc

Hình 7. Vị trí và đám mây điểm 3D khu vực thực nghiệm tại mỏ than Cọc Sáu

### b. Tính toán khối lượng



Hình 8. Mặt cắt tính khối lượng theo số liệu đo chi tiết bằng máy toàn đạc điện tử

Đám mây điểm 3D của hiện trạng địa hình tại khu vực nghiên cứu được thành lập bằng phần mềm AgiSoft Metashape và được giữ nguyên mật độ điểm. Trên phần mềm CloudCompare lọc bỏ các địa vật như xe vận tải trên mô, kết quả được đám mây điểm trên Hình 7(b). Địa hình sau xử lý được coi là địa hình thiết kế (Hình 7(c)), được thành lập tương tự tại mục 3.1. Sau đó thực hiện chồng ghép đám mây điểm trước và sau xử lý, và tính khối lượng xử lý trên phần mềm CloudCompare.

Đối với số liệu đo trực tiếp để kiểm chứng, dữ liệu đo chi tiết bằng máy toàn đạc điện tử được đưa vào phần mềm Topo – Hsmo và tiến hành thành lập DEM hiện trạng, sau đó chồng xếp lên DEM của địa hình sau xử lý. Tính khối lượng theo phương pháp mặt cắt (theo quy định của TCVN 10673:2015 [16]) với trục mặt cắt có phương vuông góc với phương của bờ tầng, các mặt cắt thực cách đều nhau 5 m. Ví dụ kết quả tính khối lượng mặt cắt 1-1 được thể hiện trên Hình 8.

#### 4. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán khối lượng theo dữ liệu trên mô hình kiểm nghiệm được tổng hợp trên Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính khối lượng trên mô hình kiểm nghiệm

	Phương pháp tính			Sai lệch (%)	
	Toán học (TH)	Mặt cắt (MC)	Points cloud (PC)	MC-TH	PC-TH
Khối lượng (m <sup>3</sup> )	112.986,850	112.986,820	112.954,398	0,00	0,03

Từ kết quả Bảng 1 cho thấy, trên mô hình là khu vực có địa hình thiết kế dạng tầng bậc tương đối bằng phẳng, độ dốc đều, các điểm đo coi như không có sai số khái quát địa hình thì khối lượng xử lý tính bằng phương pháp mặt cắt MC gần như không sai lệch, cỡ 0%, so với phương pháp toán học TH (coi phương pháp toán học tính từ mô hình thiết kế làm chuẩn). Trong khi đó, khối lượng tính từ đám mây điểm 3D (PC) theo lưới ô vuông cho sai số cũng rất nhỏ (sai lệch 0,03%). Như vậy, với địa hình chênh cao ít thay đổi, không có sai số khái quát địa hình, phương pháp PC cho độ chính xác tính khối lượng rất cao.

Kết quả tính toán khối lượng xử lý từ đám mây điểm 3D (PC) của khu vực thực nghiệm tại mỏ than Cọc Sáu, là khu vực có chênh cao lớn, địa hình thay đổi, được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính khối lượng xử lý đất đá tại mỏ Cọc Sáu

	Phương pháp tính		Sai lệch	
	Mặt cắt (MC)	Points cloud (PC)	(m <sup>3</sup> )	(%)
Khối lượng (m <sup>3</sup> )	3.883.292,25	3.834.473,26	48.818,99	1,3

Bảng 2 cho thấy khối lượng xử lý tính theo phương pháp mặt cắt MC (số liệu đo bằng máy toàn đạc điện tử) và phương pháp tính từ đám mây điểm 3D PC (Point cloud được thành lập từ ảnh UAV) theo lưới ô vuông, có giá trị lệch nhau là 48.818,99 m<sup>3</sup>, tương đương với 1,3%. Theo tiêu chuẩn kỹ thuật về trắc địa mỏ TCVN 10673:2015 [16], sai lệch tính toán khối lượng xử lý đất đá cho phép là 3%, thì tính toán khối lượng theo phương pháp PC có độ chính xác đạt yêu cầu.

Như vậy, tính toán khối lượng trực tiếp trên đám mây điểm 3D trên cả số liệu mô hình kiểm nghiệm và số liệu thực tế của mỏ than Cọc Sáu so với phương pháp quy định theo TCVN 10673:2015 [16] có sự sai lệch rất nhỏ, nhỏ hơn sai số cho phép. Do vậy, hoàn toàn có thể áp dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp khai thác mỏ để khắc phục nhược điểm của các phương pháp truyền thống, phát huy ưu điểm về tính linh hoạt, nhanh chóng và chính xác trong việc thu thập dữ liệu thực tế từ UAV.



## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã nghiên cứu ứng dụng phương pháp tính khối lượng xúc bốc từ đám mây điểm 3D trong khai thác mỏ của dữ liệu kiểm nghiệm và dữ liệu thực tế của mỏ than Cọc Sáu (Quảng Ninh), kết quả được so sánh với phương pháp toán học và phương pháp mặt cắt. Quá trình xử lý dữ liệu, tính toán khối lượng được thực hiện nhờ các phần mềm chuyên dụng AutoCAD, Topo-Hsmo, AgiSoft Metashape, QGIS, và CloudCompare.

Trên dữ liệu kiểm nghiệm, là đám mây điểm 3D được thiết kế tương đồng với bờ tầng mỏ lộ thiên, loại trừ ảnh hưởng do sai số khái quát địa hình. Kết quả cho thấy phương pháp tính từ đám mây điểm và phương pháp mặt cắt đều cho độ chính xác cao, coi như không sai lệch so với phương pháp toán học (sai lệch lần lượt là 0% và 0,03%), là phương pháp chuẩn tính từ mô hình thiết kế. Trên dữ liệu thực tế, là đám mây điểm 3D được thành lập từ ảnh UAV của mỏ than Cọc Sáu, với địa hình chênh cao lớn và thay đổi, phương pháp tính từ đám mây điểm 3D cho thấy độ lệch rất nhỏ (1,3%) so với phương pháp mặt cắt tính từ số liệu đo trực tiếp bằng toàn đạc điện tử. Sai số này nhỏ hơn giới hạn cho phép theo TCVN 10673:2015.

Các kết quả cho thấy phương pháp tính toán trên đám mây điểm 3D là một giải pháp hiệu quả và chính xác trong việc tính toán khối lượng xúc bốc trong khai thác mỏ. Ngoài ra, việc sử dụng dữ liệu đám mây điểm 3D từ công nghệ UAV cho phép phát huy được hiệu quả của việc thu thập dữ liệu khu vực địa hình khó khăn của UAV và của dữ liệu biểu diễn địa hình ở mức độ chi tiết cao trong lĩnh vực khảo sát địa hình mỏ ở nước ta.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Hoàng, T. T., Đinh, C. H. (2020). [Giải pháp thành lập bản đồ địa hình từ dữ liệu UAV vùng có phủ thực vật](#). *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, (44):49–55.
- [2] Cảnh, L. V., Cuong, C. X., Tien, D. (2020). [Volume computation of quarries in Vietnam based on Unmanned Aerial Vehicle \(UAV\) data](#). *Journal of Mining and Earth Sciences*, 61(1):21–30.
- [3] Long, H. Q., Long, P. V. (2015). Ứng dụng thiết bị bay chụp ảnh không người lái trong khảo sát, thiết kế đường giao thông. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN*, 9:104–110.
- [4] Thảo, N. T. P., Diệu, B. T., Minh, M. T., Khánh, N. Q., Anh, N. T., Long, N. H. (2017). Đánh giá độ chính xác mô hình số bề mặt và bản đồ ảnh trực giao thành lập từ phương pháp ảnh máy bay không người lái (UAV). *Tạp Chí Khoa Học Kỹ Thuật Mỏ - Địa Chất*, 58:18–27.
- [5] Dũng, L. N., Trọng, T. Đ., Chiêu, V. Đ., Quỳnh, B. D., Hằng, H. T., Hiểu, D. C., Huy, N. Đ. (2021). [Nghiên cứu chế độ bay UAV trong khảo sát địa hình công trình đang tuyến - ứng dụng cho đoạn đường đê Xuân Quan, Hà Nội](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 15(7V):131–142.
- [6] Nguyen, L. Q. (2021). [Accuracy assessment of open - pit mine's digital surface models generated using photos captured by Unmanned Aerial Vehicles in the post - processing kinematic mode](#). *Journal of Mining and Earth Sciences*, 62(4):38–47.
- [7] Ulusoy, İ., Şen, E., Tuncer, A., Sönmez, H., Bayhan, H. (2017). [3D Multi-view Stereo Modelling of an Open Mine Pit Using a Lightweight UAV](#). *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*, 60(2): 223–242.
- [8] Siqueira, H. L., Marcato, J., Matsubara, E. T., Eltner, A., Colares, R. A., Santos, F. M. (2019). [The Impact of Ground Control Point Quantity on Area and Volume Measurements with UAV SFM Photogrammetry Applied in Open Pit Mines](#). *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE.
- [9] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Hu, Z. (2019). [A review of UAV monitoring in mining areas: current status and future perspectives](#). *International Journal of Coal Science & Technology*, 6(3):320–333.
- [10] Allobunga, S., Putri, R. H. K., Siamashari, M. A., Julita, I. J., Fathoni, A. U., Dwiriawan, H. (2022). [The mined volume calculation in the traditional mining area by using the Unmanned Aerial Vehicle \(UAV\) approach in the observation area of CV. Sinergi Karya Solutif, Patikraja district, Banyumas regency, East Java province, Indonesia](#). *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, 2(2):87–91.

- [11] Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y., Tarolli, P. (2018). [Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey](#). *Environmental Earth Sciences*, 77(6).
- [12] Hugenholtz, C. H., Walker, J., Brown, O., Myshak, S. (2015). [Earthwork Volumetrics with an Unmanned Aerial Vehicle and Softcopy Photogrammetry](#). *Journal of Surveying Engineering*, 141(1).
- [13] Ajayi, O. G., Ajulo, J. (2021). [Investigating the Applicability of Unmanned Aerial Vehicles \(UAV\) Photogrammetry for the Estimation of the Volume of Stockpiles](#). *Quaestiones Geographicae*, 40(1):25–38.
- [14] Long, N. Q., Cảnh, L. V. (2020). Khả năng ứng dụng thiết bị bay không người lái (UAV) kinh phí thấp để đo vẽ kiểm kê trữ lượng khoáng sản mỏ lộ thiên. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, 2:3–9.
- [15] Mỹ, V. C. (2016). *Trắc địa mỏ*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Xã hội.
- [16] TCVN 10673:2015. *Trắc địa Mỏ (Mine surveying)*.
- [17] Graser, A. (2016). *Learning Qgis*. Packt Publishing Ltd.
- [18] Dewez, T. J. B., Girardeau-Montaut, D., Allanic, C., Rohmer, J. (2016). [Facets : A cloudcompare plugin to extract geological planes from unstructured 3d point clouds](#). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5:799–804.
- [19] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015). *Thông tư số 68/2015/TT-BTNMT quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000*.