

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**



**BÁO CÁO HỌC THUẬT
KỲ 2 NĂM HỌC 2025-2026**

**NGHIÊN CỨU TÍNH KHỐI LƯỢNG XÚC BỐC TẠI MỎ LỘ THIÊN
TỪ ĐÁM MÂY ĐIỂM 3D THÀNH LẬP BẰNG DỮ LIỆU UAV**

Người báo cáo: TS. Lê Văn Cảnh

Đơn vị: Bộ môn Trắc địa mỏ

Khoa: Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai

HÀ NỘI, 2026

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT



BÁO CÁO HỌC THUẬT
KỲ 2 NĂM HỌC 2024-2025

NGHIÊN CỨU TÍNH KHỐI LƯỢNG XÚC BỐC TẠI MỎ LỘ THIÊN
TỪ ĐÁM MÂY ĐIỂM 3D THÀNH LẬP BẰNG DỮ LIỆU UAV

Phòng KHCN

Bộ môn

Người báo cáo

TS. Lê Văn Cảnh

HÀ NỘI, 2026

MỤC LỤC

MỤC LỤC	i
DANH MỤC CÁC BẢNG	ii
DANH MỤC CÁC HÌNH	iii
1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu	1
2. Cơ sở toán học tính khối lượng	3
2.1 Dữ liệu phục vụ tính khối lượng xúc bốc tại mỏ	3
2.2 Tính khối lượng bằng phương pháp mặt cắt đứng song song	4
2.3 Tính khối lượng bằng phương pháp ô lưới từ đám mây điểm points cloud	4
3. Thực nghiệm tính toán khối lượng	6
3.1. Tính khối lượng trên mô hình	6
3.2 Tính toán trên dữ liệu thực tế tại mỏ than Cọc Sáu với số liệu bay chụp ảnh bằng UAV/RTK	8
4. Kết quả và thảo luận	14
5. Kết luận	16
TÀI LIỆU THAM KHẢO	18

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1. Kết quả tính khối lượng trên mô hình thực nghiệm	15
Bảng 2. Kết quả tính khối lượng xúc bốc đất đá tại mỏ Cọc Sáu	15

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1. Mặt cắt thể hiện khối lượng xúc bốc cần tính toán	5
Hình 2. Tính khối lượng xúc bốc đất đá bằng mặt cắt đứng song song.....	5
Hình 3. Ô lưới tính khối lượng.....	6
Hình 4. Địa hình thiết kế tính khối lượng	7
Hình 5 Mặt cắt tính khối lượng	7
Hình 6 Đám mây điểm 3D từ mô hình thiết kế.....	8
Hình 7. Khu vực thực nghiệm tại mỏ than cọc sáu	9
Hình 8. Thiết bị sử dụng.....	10
Hình 9. Bay chụp ảnh thực địa	10
Hình 10. Các file dữ liệu được tạo ra trong thẻ nhớ UAV/RTK.....	11
Hình 11. Tạo file rinex.Pos trên phần mềm RTKlib	11
Hình 12. Tọa độ tâm ảnh cơ lời giải fixed	12
Hình 13. Đám mây điểm 3D khu vực thực nghiệm tại mỏ than cọc sáu	13
Hình 14. Mặt cắt tính khối lượng theo số liệu đo bằng máy toàn đạc điện tử	13
Hình 15. Mặt cắt địa hình tại vị trí bất kỳ trên đám mây điểm 3D	14

1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ đo đạc hiện đại và xử lý dữ liệu không gian, các thiết bị thu thập và xây dựng mô hình đám mây điểm 3D như thiết bị bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicle) và máy quét laser mặt đất TLS (Terrestrial Laser Scanner) đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực trắc địa mỏ. Các công nghệ này cho phép thu nhận dữ liệu địa hình với mật độ điểm lớn, độ chi tiết cao và khả năng tái hiện chính xác bề mặt địa hình khai thác, từ đó phục vụ hiệu quả cho công tác đo vẽ bản đồ địa hình tỷ lệ lớn, xây dựng mô hình số địa hình, tính toán khối lượng xúc bốc cũng như đánh giá trữ lượng khoáng sản tại các mỏ [3, 6, 8, 9]. So với các phương pháp đo truyền thống sử dụng máy toàn đạc điện tử hoặc GNSS/RTK, công nghệ UAV và TLS có ưu điểm nổi bật về tốc độ thu thập dữ liệu, khả năng làm việc trong khu vực địa hình phức tạp và giảm đáng kể nhân lực thực hiện ngoài thực địa.

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chứng minh tính hiệu quả và độ tin cậy của dữ liệu đám mây điểm 3D trong tính toán khối lượng tại các khu vực khai thác và bãi chứa vật liệu. Tác giả Hugenholtz cùng nhóm nghiên cứu đã so sánh kết quả tính khối lượng đá thành phẩm tại bãi chứa xác định 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 giữa hai phương pháp là 2.5% [2]. Trong một nghiên cứu khác, tác giả Ajayi và cộng sự đã sử dụng dữ liệu ảnh chụp từ UAV để xây dựng mô hình bề mặt và tính toán khối lượng đá thành phẩm, sau đó đối chiếu với khối lượng đá được xác định thông qua công suất thống kê tại hệ thống máy nghiền. Kết quả cho thấy sai lệch giữa hai phương pháp đạt khoảng 2,94% [1]. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy việc ứng dụng UAV trong công tác đo vẽ bản đồ địa hình tỷ lệ lớn và tính toán khối lượng tại mỏ hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu về độ chính xác kỹ thuật, đồng thời giúp rút ngắn thời gian xử lý, giảm chi phí nhân công và nâng cao hiệu quả quản lý sản xuất mỏ.

Ở Việt Nam, công tác tính khối lượng xúc bốc đất đá và khối lượng khoáng

sản khai thác tại các mỏ giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong hoạt động quản lý kỹ thuật và điều hành sản xuất mỏ. Đây là cơ sở để đánh giá mức độ hoàn thành kế hoạch khai thác, kiểm soát sản lượng thực tế, phục vụ công tác nghiệm thu và quản lý tài nguyên khoáng sản [12]. Tùy thuộc vào loại khoáng sản, điều kiện khai thác, quy mô sản xuất và yêu cầu quản lý mà chu kỳ tính khối lượng có thể được thực hiện theo ngày, tuần, tháng hoặc quý. Đối với các mỏ than lộ thiên có quy mô lớn, công tác tính khối lượng xúc bốc thường được tiến hành định kỳ với tần suất cao nhằm đáp ứng yêu cầu quản lý sản xuất liên tục và chính xác.

Hiện nay, tại nhiều mỏ khai thác than ở Việt Nam, khối lượng xúc bốc chủ yếu được xác định dựa trên nguyên lý của phương pháp mặt cắt đứng song song thực hiện trên các phần mềm chuyên dụng [11]. Theo phương pháp này, dữ liệu địa hình được đo đạc ngoài thực địa bằng máy toàn đạc điện tử hoặc GNSS/RTK, sau đó xây dựng các mặt cắt địa hình để tính toán thể tích giữa các thời kỳ khai thác. Tuy nhiên, phương pháp này còn tồn tại một số hạn chế như thời gian đo đạc kéo dài, khối lượng công việc lớn và độ chính xác phụ thuộc nhiều vào mật độ điểm đo chi tiết ngoài thực địa. Trong các nghiên cứu [4] [7] việc tính toán khối lượng chưa được thực hiện trực tiếp trên mô hình đám mây điểm 3D mà chủ yếu sử dụng các điểm tọa độ (X, Y, H) được trích xuất từ mô hình số độ cao DEM với mật độ điểm tương đương phương pháp đo chi tiết truyền thống. Quá trình giảm mật độ điểm địa hình để phục vụ tính toán theo phương pháp mặt cắt đã làm suy giảm mức độ chi tiết của bề mặt địa hình, dẫn đến sai số khái quát địa hình và ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính khối lượng. Đồng thời, việc xử lý và biên tập dữ liệu trung gian cũng làm gia tăng thời gian xử lý nội nghiệp.

Trong khi đó, nghiên cứu [1-3] đã chứng minh rằng sai số tính toán khối lượng xúc bốc tại các mỏ đá từ dữ liệu đám mây điểm 3D nhỏ hơn 3%, đáp ứng tốt yêu cầu độ chính xác trong khai thác mỏ. Phương pháp này cho phép khai thác tối đa ưu thế của dữ liệu mật độ cao, hạn chế hiện tượng khái quát hóa địa hình và nâng cao mức độ tự động hóa trong xử lý dữ liệu. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu

hiện nay mới chỉ được thực hiện đối với các kho chứa hoặc bãi tập kết đá thành phẩm có địa hình tương đối đơn giản. Đối với các mỏ than lộ thiên, nơi địa hình khai thác có dạng tầng bậc phức tạp, độ chênh cao lớn, biến động địa hình diễn ra liên tục theo quá trình khai thác và điều kiện bề mặt thường xuyên thay đổi, việc ứng dụng trực tiếp dữ liệu đám mây điểm 3D trong tính toán khối lượng vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Đây là vấn đề có ý nghĩa thực tiễn quan trọng, cần tiếp tục nghiên cứu nhằm nâng cao độ chính xác, tính tự động hóa và hiệu quả của công tác trắc địa mỏ trong điều kiện khai thác hiện đại.

2. Cơ sở toán học tính khối lượng

2.1 Dữ liệu phục vụ tính khối lượng xúc bốc đất đá tại mỏ

Bản chất của bài toán tính khối lượng xúc bốc đất đá trong khai thác mỏ là xác định thể tích phần đất đá đã đào hoặc đắp trong một khoảng thời gian nhất định. Thể tích này được xác định trong phạm vi ranh giới cần tính toán và được giới hạn bởi hai bề mặt địa hình tại hai thời điểm khác nhau, bao gồm bề mặt địa hình trước khi xúc bốc và bề mặt địa hình sau khi xúc bốc (Hình 1). Nói cách khác, khối lượng xúc bốc chính là phần chênh lệch thể tích giữa hai mô hình bề mặt địa hình theo thời gian khai thác. Vì vậy, để thực hiện tính toán chính xác khối lượng xúc bốc cần phải có đầy đủ dữ liệu mô tả hai bề mặt địa hình nêu trên cùng với ranh giới khu vực tính khối lượng. Độ chính xác của kết quả tính toán phụ thuộc trực tiếp vào mức độ chính xác của dữ liệu địa hình đầu vào cũng như phương pháp xây dựng mô hình bề mặt.

Trong công tác trắc địa mỏ, bề mặt địa hình phục vụ tính khối lượng thường được biểu diễn dưới dạng mô hình số độ cao địa hình (Digital Elevation Model – DEM). Mô hình DEM được xây dựng thông qua quá trình nội suy từ các điểm đo chi tiết có tọa độ không gian (X, Y, H), trong đó các điểm độ cao này thường được thu thập bằng phương pháp đo toàn đạc điện tử hoặc GNSS/RTK. Từ tập hợp các điểm đo chi tiết, bề mặt địa hình thường được nội suy bằng mô hình lưới tam giác TIN (Triangulated Irregular Network) nhằm mô tả chính xác đặc điểm biến đổi địa hình khu vực khai thác. Mô hình TIN có ưu điểm cho phép biểu diễn linh hoạt các

dạng địa hình phức tạp như sườn tầng, moong khai thác hoặc khu vực có độ dốc lớn, từ đó nâng cao độ chính xác trong tính toán thể tích đất đá xúc bốc.

Mức độ chi tiết của công tác đo vẽ địa hình phụ thuộc vào mục đích tính toán, quy mô khai thác và yêu cầu độ chính xác của từng loại mỏ. Đối với các mỏ khai thác than lộ thiên, khu vực moong khai thác thường có địa hình biến đổi liên tục, nhiều tầng bậc và chênh cao lớn, do đó yêu cầu dữ liệu đo vẽ phải bảo đảm mật độ điểm chi tiết cao để phản ánh đầy đủ hình dạng thực tế của bề mặt địa hình. Theo quy định hiện hành, công tác đo vẽ chi tiết phục vụ tính khối lượng tại các moong khai thác than phải đạt tỷ lệ bản đồ 1/1000 [10]. Điều này đòi hỏi các điểm đo chi tiết phải được bố trí với mật độ phù hợp nhằm bảo đảm khả năng mô tả đầy đủ các yếu tố địa hình đặc trưng, hạn chế sai số khái quát hóa bề mặt khi xây dựng mô hình DEM và tính toán khối lượng xúc bốc.

2.2 Tính khối lượng bằng phương pháp mặt cắt đứng song song

Khối lượng xúc bốc đất đá được tính giữa bề mặt: (1) địa hình hiện trạng của mỏ và (2) bề mặt trước khi xúc bốc đất đá tại cùng vị trí trên khai trường mỏ. Để tính khối lượng cần chồng ghép hai địa hình nói trên, sau đó dựng các mặt cắt đứng song song cách đều nhau như hình 2.

Khối lượng đất đá xúc bốc nằm trong ranh giới tính toán được tính theo công thức sau:

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

Trong đó: ℓ là khoảng cách giữa các mặt cắt, S_i là diện tích bề mặt đất đá trên mặt cắt i

2.3 Tính khối lượng bằng phương pháp ô lưới từ đám mây điểm points cloud

Thành lập mạng lưới ô vuông (hình 3a) và chia vùng cần tính toán khối lượng theo ranh giới thành từng hình khối nhỏ. Mỗi ô vuông sẽ cắt cả bề mặt địa hình trước và sau xúc bốc, tạo thành các khối hình hộp (hình 3b). Độ cao của bề mặt địa hình được 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 các điểm tại 4 góc vuông, độ cao mỗi điểm này được nội suy từ bề mặt địa hình theo mô hình TIN.

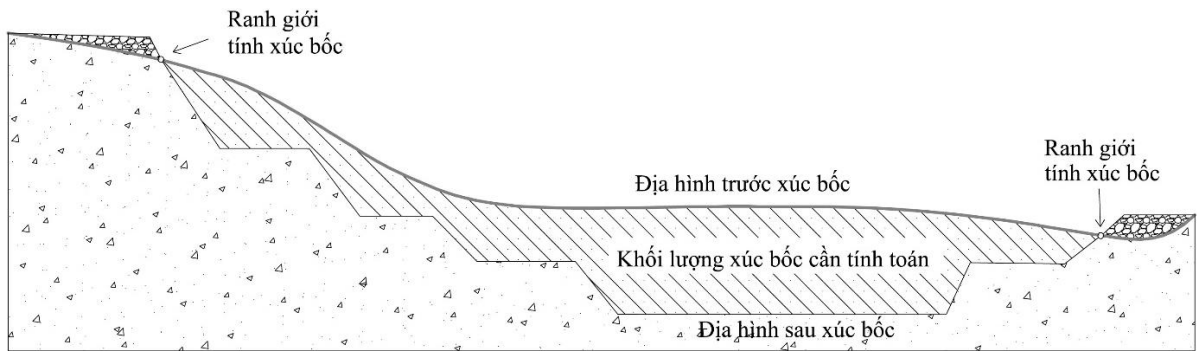
Khối lượng cần tính toán:

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

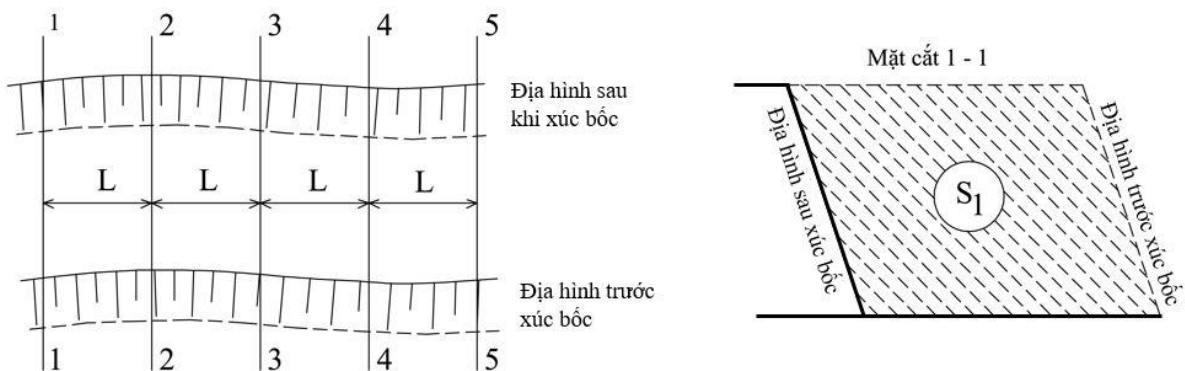
Trong đó: S_i - Diện tích ô lưới i ;

h_i - Chênh cao địa hình tại ô lưới thứ i , $h_i = H_i^S - H_i^t$

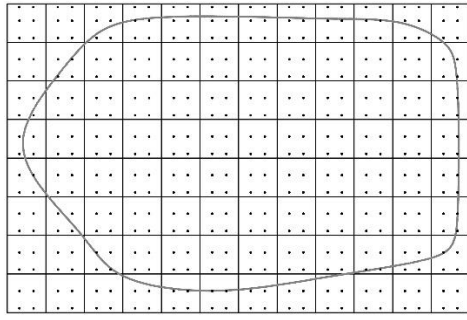
H_i^t, H_i^S - Độ cao địa hình trước và sau xúc bốc tại tâm ô lưới i



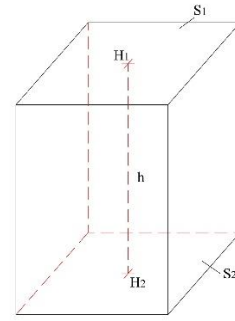
Hình 1. Mặt cắt thể hiện khối lượng xúc bốc cần tính toán



Hình 2. Tính khối lượng xúc bốc đất đá bằng mặt cắt đứng song song



(a)



(b)

Hình 3. Ô lưới tính khối lượng

a. Lưới ô vuông, b. Thể tích 1 ô lưới

3. Thực nghiệm tính toán khối lượng

3.1. Tính khối lượng trên mô hình

Mô hình được thiết kế với địa hình tương đồng với bờ tầng mở 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). Địa hình trước và sau xúc bóc song song cách đều nhau phương phương chênh cao giữa các tầng là 10 m. Các điểm tọa độ dùng để tính khối lượng được xuất ra từ mô hình là các điểm chân và mép tầng.

Khối lượng được tính toán bằng 3 phương pháp khác nhau: (1) tính bằng công thức toán học (TH), (2) tính bằng phương pháp mặt cắt (MC) và (3) tính trên đám mây điểm 3D (PC)

+ Tính khối lượng bằng công thức toán học:

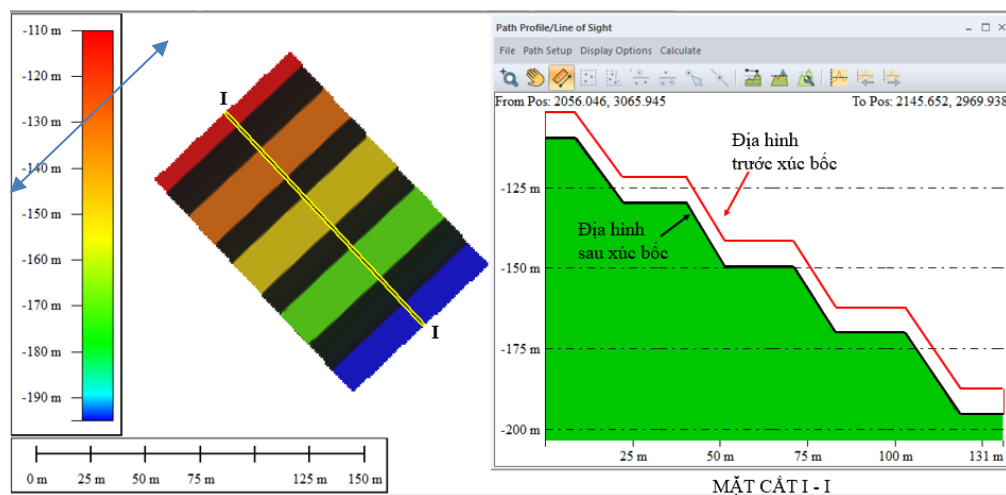
Hai bề mặt địa hình được thiết kế song song cách đều nhau 10 m. Trên hình 4 tính được diện tích mặt cắt đứng giữa hai bề mặt địa hình là $S = 1327.75 \text{ m}^2$. Độ rộng khu vực tính toán theo phương song song với phương của bờ tầng là $L = 85.096 \text{ m}$. Thể tích khối đất đá giữa hai bề mặt địa hình được tính theo công thức $V = S.L = 112986.85 \text{ m}^3$

+ Tính khối lượng bằng phương pháp mặt cắt đứng song song:

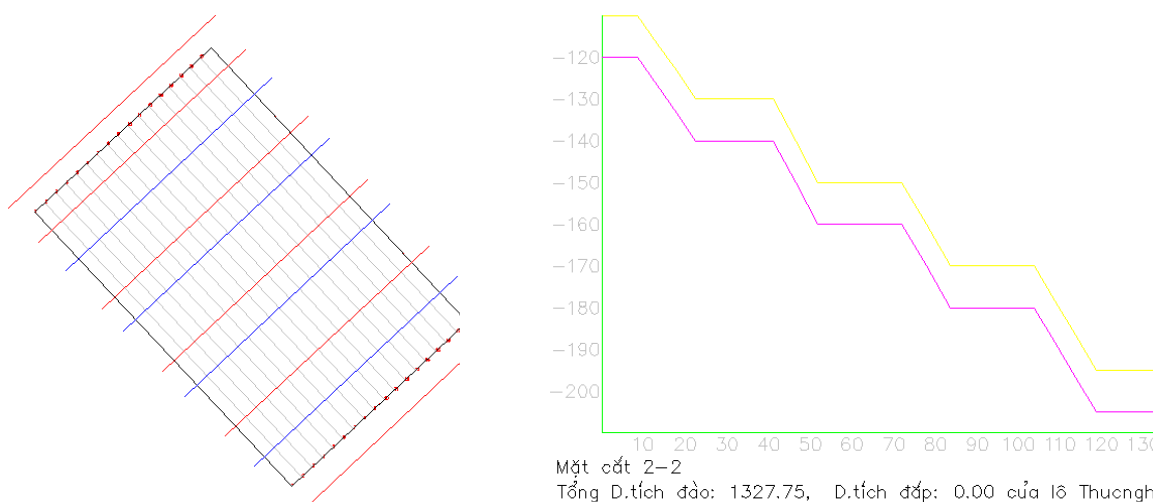
Sử dụng phần mềm Topo-Hsmo là phần mềm đang được dùng phổ biến tại các mỏ [4] để tính toán khối lượng. Trục mặt cắt được bố trí vuông góc với phương bờ tầng, khoảng cách giữa các mặt cắt là 05 m. Khối lượng xúc bốc được tính theo công thức (1), kết quả tính được $V=112\,986.82\text{ m}^3$

+ Tính khối lượng bằng phương pháp lưới ô vuông từ dữ liệu PC:

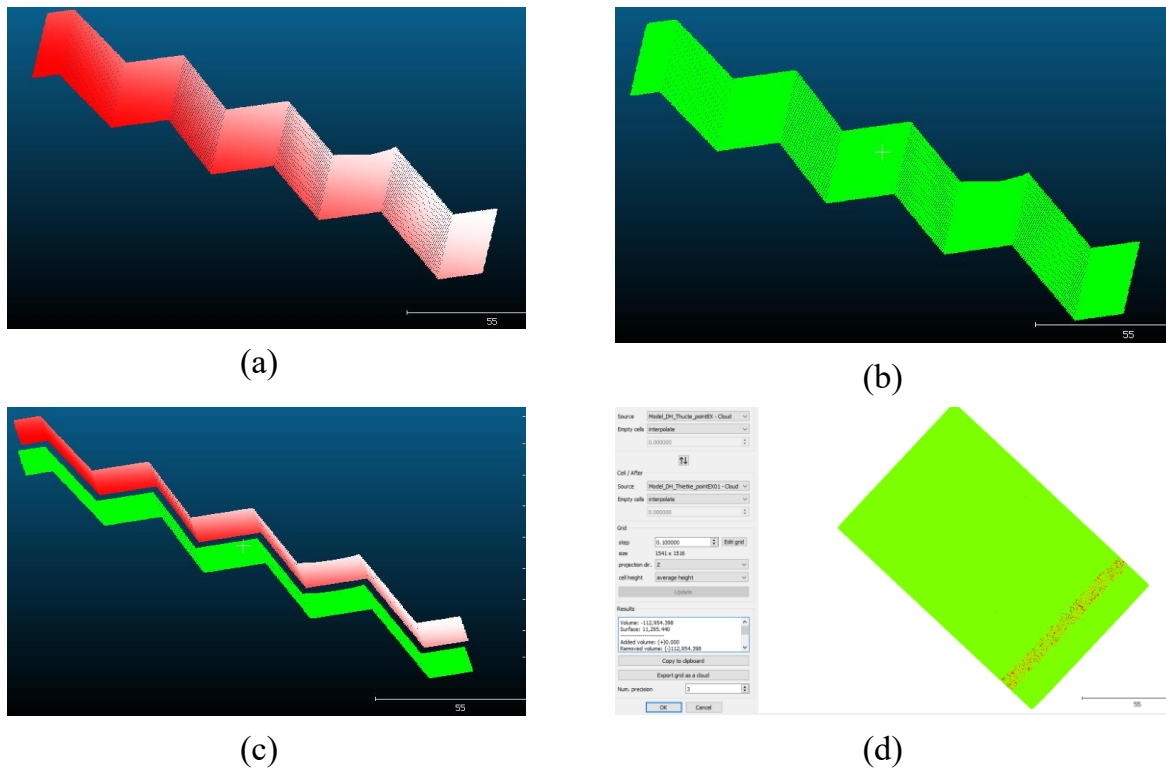
Từ dữ liệu thiết kế, thành lập DEM của địa hình trước và sau xúc bốc với độ chính xác 0.1 m. Sử dụng phần mềm QGIS để nội suy mô hình lưới tam giác TIN. Đám mây điểm 3D cần thiết của được xuất ra từ DEM (hình 6a và 6b)



Hình 4. Địa hình thiết kế tính khối lượng



Hình 5 Mặt cắt tính khối lượng



Hình 6 Đám mây điểm 3D từ mô hình thiết kế

a. Địa hình trước xúc bốc, b. Địa hình sau xúc bốc, c. Chồng ghép; d. Tính khối lượng trên phần mềm Cloud compare

Đám mây điểm 3D của địa hình trước và sau xúc bốc được chồng ghép trên phần mềm Cloud compare (hình 6c). Khối lượng được tính với ô lưới (step_Grid) có kích thước khác nhau (hình 6d) và tính toán theo công thức (2).

3.2 Tính toán trên dữ liệu thực tế tại mỏ than Cọc Sáu với số liệu bay chụp ảnh bằng UAV/RTK

Dữ liệu địa hình hiện trạng được lấy từ đám mây điểm (PC) thành lập từ thiết bị bay không người lái có tích hợp công nghệ định vị tâm chụp GNSS động (UAV/RTK). Dữ liệu đo đạc đạt độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1/500 [5]. Khu vực bay chụp ảnh thực nghiệm có vị trí tại mỏ cọc sáu như hình 7

Thiết bị sử dụng bao gồm: Máy toàn đạc điện tử Topcon ES 105 có độ chính xác đo góc $\pm 5''$ và độ chính xác đo chiều dài $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ đã được sử dụng để đo nối tọa độ cho các điểm khống chế ảnh (GCP) (Trắc địa Hoàng Minh, 2020); Máy

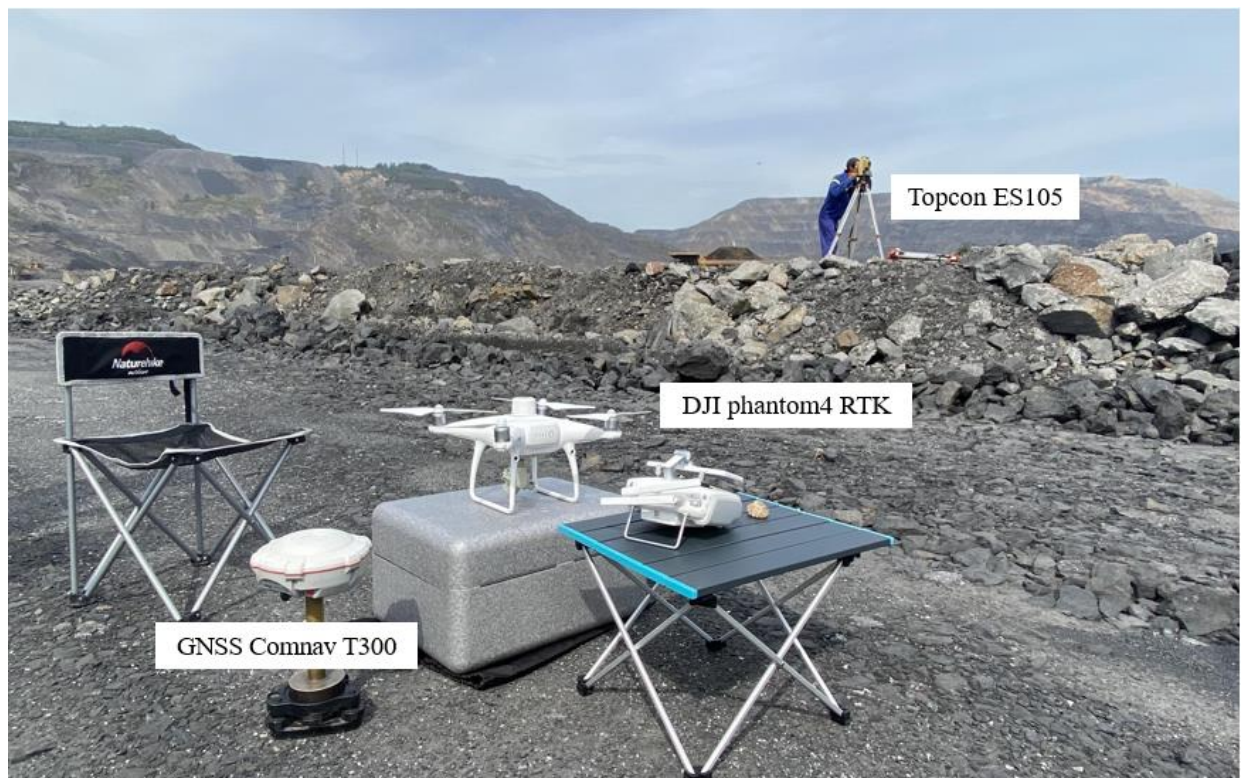
GNSS Comnav T300 được sử dụng làm trạm cơ sở mặt đất (base), đây là loại máy đo GNSS 2 tần số, độ chính xác định vị mặt bằng và độ cao lần lượt là $10\text{ mm} + 0,5\text{ ppm}$ và $20\text{ mm} \pm 0,5\text{ ppm}$ (SinoGNSS,2020). Thiết bị bay không người lái DJI Phantom 4 RTK (P4K) được sử dụng để bay chụp địa hình (Hình 8).



Hình 7. Khu vực thực nghiệm tại mỏ than cốc sáu

Trong quá trình đo đạc thực địa, tâm ảnh được định vị theo phương thức đo động xử lý sau. Trạm base được đặt tại điểm giải tích 01 của mỏ (hình 4.8a). Sử dụng máy đo GNSS T300 làm trạm bay, máy được cài đặt ở chế độ đo tĩnh, tần xuất thu tín hiệu 5Hz (đồng bộ với UAV).

Máy đo GNSS làm trạm Base được đặt trên chân cố định (Hình 4.9), đảm bảo thu tín hiệu trong suốt quá trình bay chụp ảnh UAV.



Hình 8. Thiết bị sử dụng



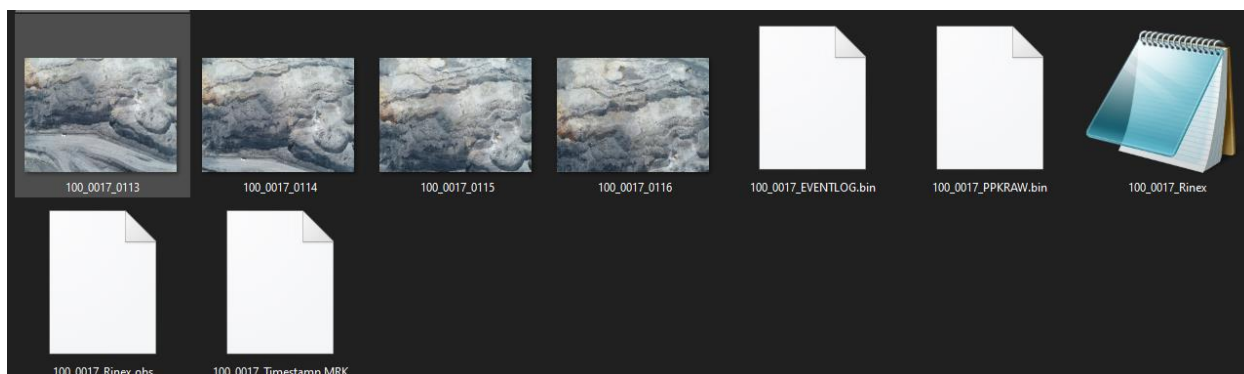
(a)



(b)

Hình 9. Bay chụp ảnh thực địa

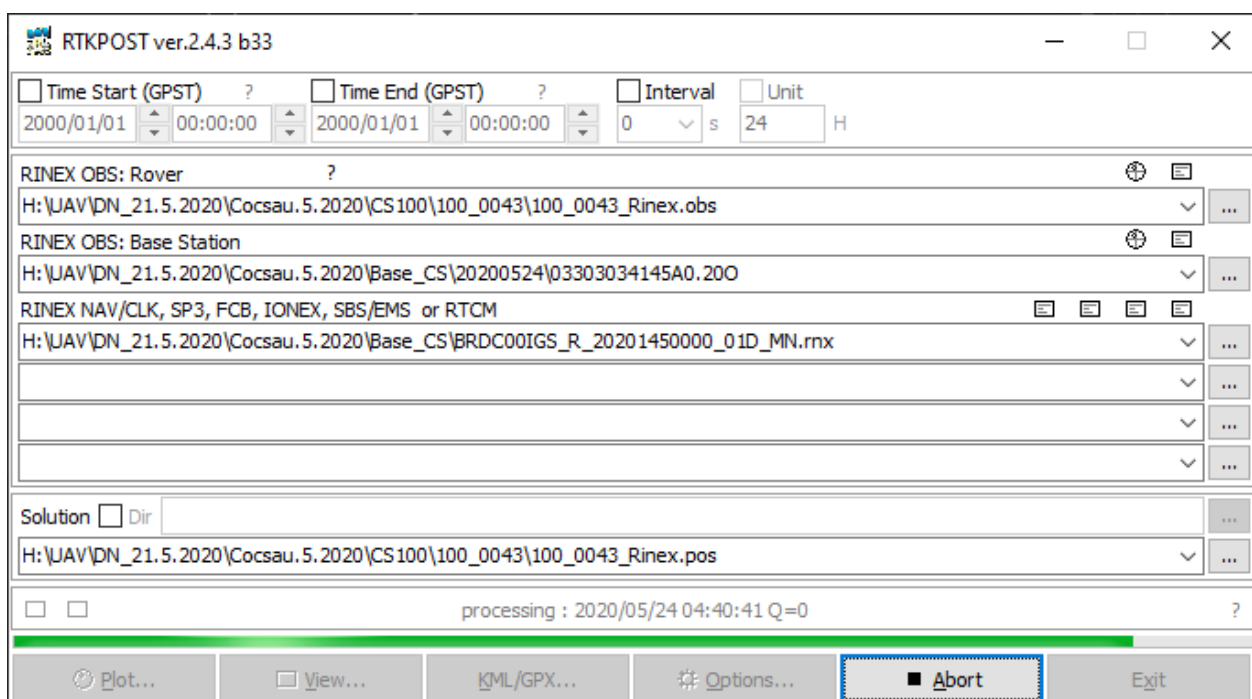
a. Trạm base, b. bay chụp ảnh bằng UAV



Hình 10. Các file dữ liệu được tạo ra trong thẻ nhớ UAV/RTK

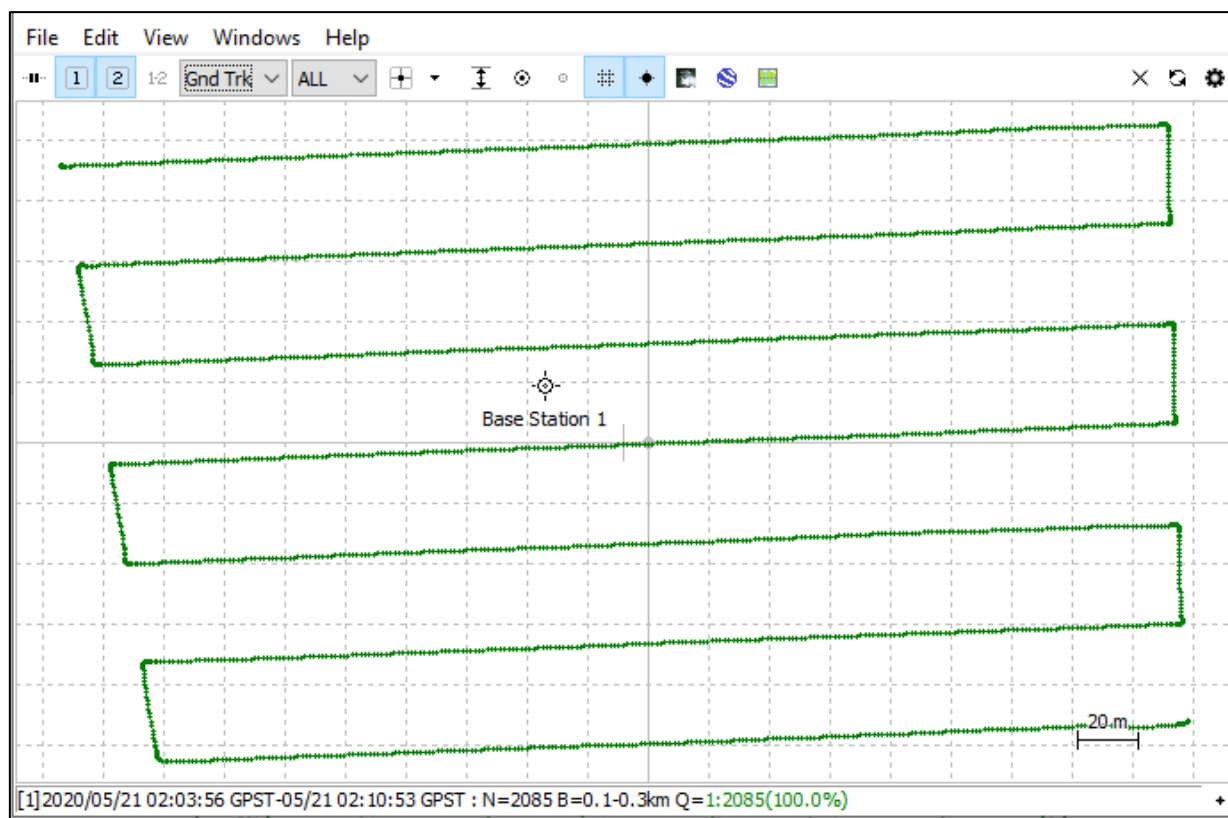
Xử lý dữ liệu ảnh thành lập các mô hình: UAV/RTK ngoài việc tạo ra các bức ảnh chụp địa hình (*. JPG), các file dữ liệu: (Rinex.obs; Timestamp.MRK; PPKraw. bin; Eventlog.bin) phục vụ cho việc tính toán tọa độ tâm chụp cũng được tạo ra trong thẻ nhớ của máy bay. Các file dữ liệu được tạo ra trong thẻ nhớ UAV/RTK như hình 10.

Để tính toán được tọa độ tâm chụp cho các ảnh, cần có các file dữ liệu Rinex từ máy base và UAV/RTK, download file lịch vệ tinh chính xác từ Nasa. Xử lý trên phần mềm RTKlib (Hình 11) được file kết quả ở định dạng (.Pos).



Hình 11. Tạo file rinex.Pos trên phần mềm RTKlib

Khi tính toán tọa độ tâm ảnh, các giá trị tâm ảnh có lời giải fixed sẽ được sử dụng để tính toán tọa độ tâm ảnh chính xác (Hình 12).

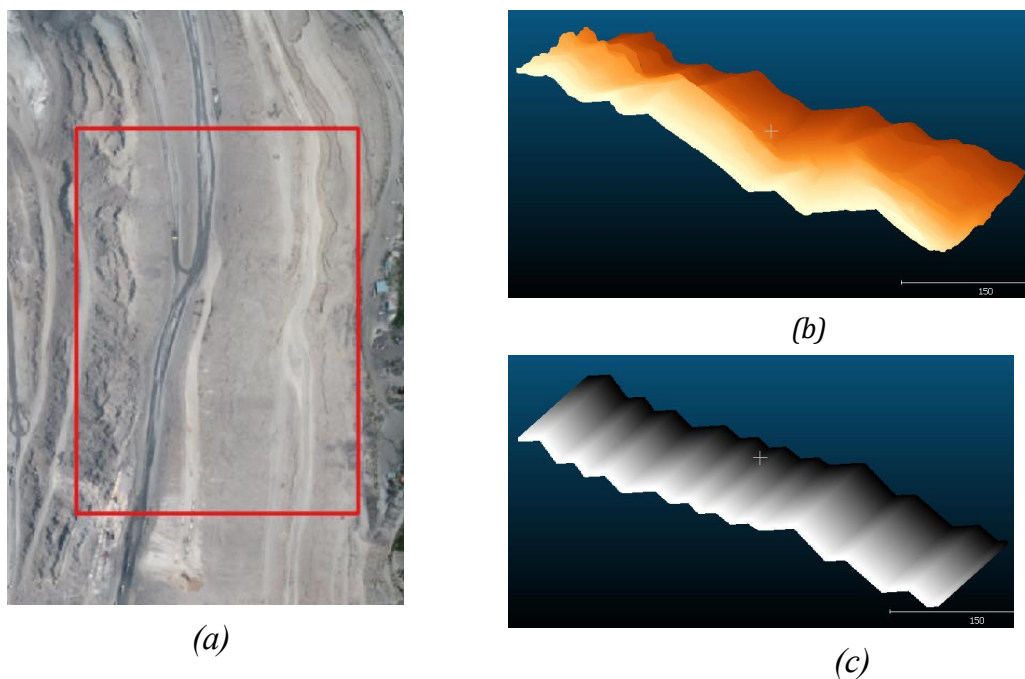


Hình 12. Tọa độ tâm ảnh cơ lời giải fixed

File dữ liệu (Rinex.Pos) được dùng để tính tọa độ tâm chụp khi có lời giải fixed. Từ file dữ liệu này cùng với file Timestamp lấy từ UAV/RTK vào phần mềm Aerotas để tính toán ra tọa độ tâm chụp. Tọa độ các tâm chụp nằm trong hệ tọa độ WGS84.

Từ tâm chụp ảnh xử lý được, ảnh UAV được xử lý trên phần mềm Agisoft metashape professional. Dữ liệu đám mây điểm 3D được trích xuất như hình 13b. Để có cơ sở đánh giá độ chính xác phương pháp tính theo lưới ô vuông dựa vào mô hình đám mây điểm 3D. Địa hình hiện trạng được đo vẽ bằng phương pháp toàn đạc, sử dụng máy toàn đạc điện tử TS06; mức độ chi tiết đạt tỷ lệ 1/1000 theo TCVN2015. Địa hình sau xử lý được giả sử là địa hình thiết kế của mỏ (Hình 13c).

Trục mặt cắt được thành lập có phương vuông góc với phương của bờ tăng, khoảng cách giữa các mặt cắt là 5 m.

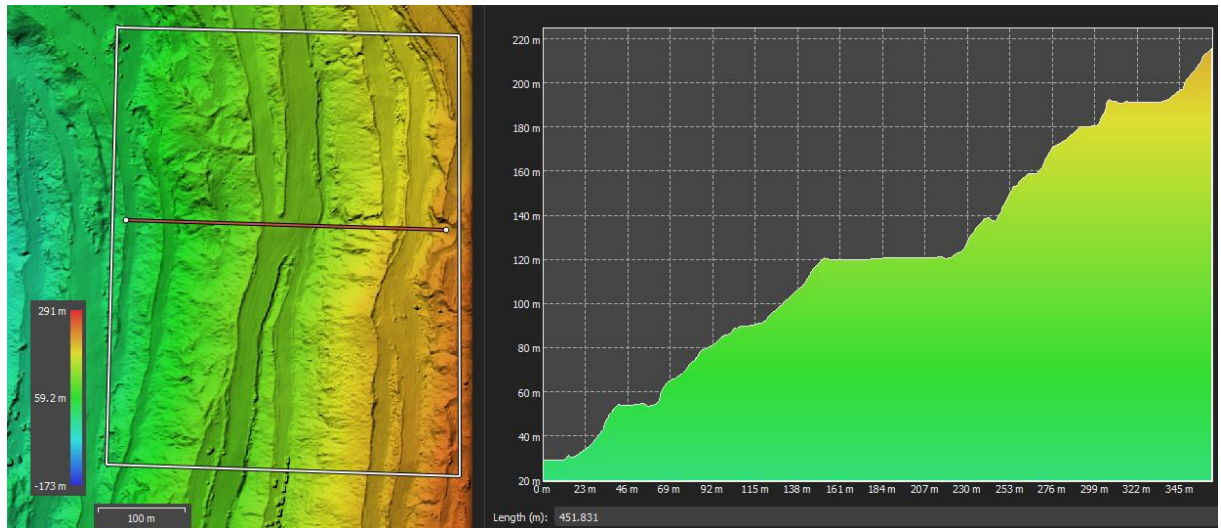


Hình 13. Đám mây điểm 3D khu vực thực nghiệm tại mỏ than cốc sáu

a. Vị trí khu vực thực nghiệm tại mỏ Cốc 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 14. Mặt cắt tính khối lượng theo số liệu đo bằng máy toàn đạc điện tử



Hình 15. Mặt cắt địa hình tại vị trí bất kỳ trên đám mây điểm 3D

4. Kết quả và thảo luận

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

Từ kết quả trình bày trong Bảng 1 cho thấy rằng đối với mô hình địa hình thực nghiệm có dạng tầng bậc tương đối bằng phẳng, độ dốc phân bố đồng đều và các điểm đo được giả thiết không tồn tại sai số khái quát địa hình, kết quả tính toán khối lượng giữa các phương pháp có sự tương đồng rất cao. Cụ thể, phương pháp mặt cắt (MC) cho kết quả gần như trùng khớp với giá trị tính toán lý thuyết bằng toán học (TH), độ sai lệch hầu như bằng 0%. Điều này cho thấy trong điều kiện địa hình đơn giản, ít biến động và dữ liệu đầu vào có độ chính xác cao, phương pháp mặt cắt hoàn toàn đáp ứng tốt yêu cầu tính toán khối lượng xúc bốc đất đá.

Đối với phương pháp tính khối lượng từ dữ liệu đám mây điểm 3D (Points Cloud – PC) theo nguyên lý lưới ô vuông, kết quả tính toán cũng cho độ sai lệch rất nhỏ, chỉ khoảng 0,03% so với giá trị lý thuyết. Sai số này là không đáng kể và có thể xuất phát từ quá trình nội suy bề mặt địa hình, chia lưới tính toán hoặc làm tròn số trong xử lý dữ liệu số. Kết quả này chứng minh rằng phương pháp tính toán trực tiếp từ đám mây điểm 3D hoàn toàn có khả năng tái hiện chính xác bề mặt địa hình trong trường hợp địa hình tương đối ổn định và ít thay đổi độ cao. Đồng thời, điều này

cũng cho thấy dữ liệu đám mây điểm thu được từ công nghệ UAV có độ tin cậy cao, đáp ứng yêu cầu cho công tác tính toán thể tích và khối lượng trong khai thác mỏ.

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

	Phương pháp tính			Sai lệch (%)	
	Toán học (TH)	Mặt cắt (MC)	Points cloud (PC)	MC-TH	PC-TH
Thể tích (m ³)	112986.85	112986.82	112954.398	0.0	0.03

Bảng 2. Kết quả tính khối lượng xúc bốc đất đá tại mỏ Cọc Sáu

	Phương pháp tính		Sai lệch	
	Mặt cắt (MC)	Points cloud (PC)	(m ³)	(%)
Thể tích (m ³)	3 883 292.25	3 834 473.26	48 818.98	1.3

Kết quả tính toán khối lượng xúc bốc đất đá từ dữ liệu đám mây điểm 3D tại mỏ than Cọc Sáu được tổng hợp trong Bảng 2. Khu vực thực nghiệm là khu vực khai thác thực tế có địa hình phức tạp hơn nhiều so với mô hình thực nghiệm lý tưởng, bao gồm các tầng khai thác, taluy, khu vực địa hình biến đổi mạnh và chênh cao lớn. Trong điều kiện này, kết quả tính toán giữa hai phương pháp bắt đầu xuất hiện sự sai khác rõ rệt hơn. Cụ thể, khối lượng xúc bốc xác định theo phương pháp mặt cắt sử dụng số liệu đo bằng máy toàn đạc điện tử đạt 3.883.292,25 m³, trong khi phương pháp tính toán từ đám mây điểm 3D cho kết quả 3.834.473,26 m³. Độ chênh lệch giữa hai phương pháp là 48.818,98 m³, tương đương khoảng 1,3%.

Mặc dù sai lệch giữa hai phương pháp tại khu vực thực tế lớn hơn so với mô hình thực nghiệm, song giá trị này vẫn nằm trong giới hạn sai số cho phép theo tiêu chuẩn kỹ thuật trắc địa mỏ hiện hành, trong đó sai lệch tính toán khối lượng xúc bốc đất đá cho phép không vượt quá 3%. Điều này chứng tỏ phương pháp tính khối lượng từ dữ liệu đám mây điểm 3D hoàn toàn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và có thể áp dụng hiệu quả trong điều kiện khai thác thực tế tại các mỏ than lộ thiên.

Nguyên nhân dẫn đến sự sai khác giữa hai phương pháp trong điều kiện thực tế chủ yếu liên quan đến đặc điểm phức tạp của địa hình khai thác mỏ. Đối với phương pháp mặt cắt, dữ liệu địa hình được biểu diễn thông qua các mặt cắt rời rạc nên khả năng mô tả đầy đủ các biến đổi nhỏ của địa hình còn hạn chế, đặc biệt tại các khu vực có địa hình biến đổi đột ngột hoặc mật độ điểm đo không đủ lớn. Trong khi đó, phương pháp PC sử dụng trực tiếp dữ liệu đám mây điểm với mật độ cao từ ảnh UAV nên có khả năng phản ánh chi tiết hơn hình dạng thực tế của bề mặt địa hình. Do đó, phương pháp này giúp giảm thiểu sai số khái quát hóa địa hình và nâng cao độ tin cậy của kết quả tính toán khối lượng.

Ngoài ra, phương pháp tính toán từ đám mây điểm 3D còn có ưu điểm nổi bật về tốc độ thu thập và xử lý dữ liệu. Công nghệ UAV cho phép khảo sát nhanh trên diện tích lớn, hạn chế thời gian đo đạc ngoài thực địa và giảm đáng kể nhân lực so với phương pháp đo truyền thống bằng toàn đạc điện tử. Đồng thời, dữ liệu đám mây điểm có thể được cập nhật thường xuyên phục vụ theo dõi tiến độ khai thác, kiểm kê sản lượng và quản lý biến động địa hình mỏ theo thời gian thực. Đây là cơ sở quan trọng cho việc ứng dụng công nghệ UAV và mô hình đám mây điểm 3D trong hiện đại hóa công tác trắc địa mỏ và quản lý sản xuất tại các mỏ than lộ thiên ở Việt Nam.

5. Kết luận

Từ kết quả tính khối lượng xúc bốc đất đá trên mô hình thiết kế và thực tế tại mỏ than Cọc Sáu cho thấy:

- Công nghệ UAV cho phép thu thập dữ liệu trên phạm vi rộng trong thời gian ngắn. Địa hình mỏ lộ thiên hầu như không có địa vật mô hình số bề mặt có thể được xem là mô hình số độ cao.

- Tính khối lượng từ đám mây điểm 3D đảm bảo độ chính xác, giảm thiểu được sai số khái quát và số hóa địa hình, kết quả đáp ứng được yêu cầu theo tiêu chuẩn qui phạm về trắc địa mỏ;

- Tính toán trực tiếp khối lượng từ đám mây điểm 3D giúp giảm thời gian và công sức lao động khi không cần xuất ngược điểm để tính toán bằng phương pháp mặt cắt truyền thống;

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ajayi, O.G. and J. Ajulo, *Investigating the Applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry for the Estimation of the Volume of Stockpiles*. Quaestiones Geographicae, 2021. **40**(1): p. 25-38.
- [2]. Hugenholtz, C., J. Walker, O. Brown, and S. Myshak, *Earthwork Volumetrics with an Unmanned Aerial Vehicle and Softcopy Photogrammetry*. Journal of Surveying Engineering, 2015. **141**: p. 06014003.
- [3]. Khomsin, K., D. Pratomo, I. Anjasmara, and F. Ahmad, *ANALYSIS OF THE VOLUME COMPARISON OF 3'S (TS, GNSS and TLS)*. E3S Web of Conferences, 2019. **94**: p. 01014.
- [4]. Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, Lê Hồng Việt, and Đinh Tiến, *Ứng dụng công nghệ bay không người lái (UAV) trong đo đạc phục vụ công tác tính trữ lượng các mỏ đá tại Việt Nam*. Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa CHất, 2020. **61**: p. 21-30.
- [5]. Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, and Lê Thị Thu Hà, *Nghiên cứu lựa chọn vị trí cất cánh phù hợp với điều kiện địa hình ở mỏ lộ thiên cho thiết bị bay không người lái có tích hợp GNSS động khi đo vẽ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn*. Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, 2020. **4**.
- [6]. Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, Lê Thị Thu Hà, and Nguyễn Ngọc Anh, *Xác định số lượng điểm khống chế ảnh cần thiết khi thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mỏ lộ thiên bằng công nghệ bay không người lái có tích hợp định vị GNSS động*, in *Hội nghị toàn quốc khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững - ERSD2020*. 2020: Hà Nội, Việt Nam.
- [7]. Nguyễn Quốc Long and Lê Văn Cảnh, *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*. Công nghiệp mỏ, 2020. **29**(2): p. 79-85.
- [8]. Nguyễn Việt Nghĩa, *Xây dựng mô hình số độ cao mỏ lộ thiên có độ sâu lớn từ dữ liệu ảnh bay chụp bằng thiết bị Inspire 2*. 2020. **61**: p. 1-10.
- [9]. Nguyễn Việt Nghĩa and Võ Ngọc Dũng, *Khảo sát quy trình thành lập bản đồ địa hình mỏ lộ thiên bằng máy quét laser 3D mặt đất*. Tạp chí Công nghiệp mỏ, 2017: p. 61-65.
- [10]. Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, *TCVN 10673:2015*. Vol. 1. 2015: Bộ khoa học và Công nghệ.
- [11]. Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam, *TCVN 10673:2015 – Trắc địa mỏ*. 2015: NXB Viện tiêu chuẩn chất lượng Việt Nam.
- [12]. Võ Chí Mỹ, *Trắc địa mỏ*. 2016, Hà Nội: NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ.