



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Volume computation of quarries in Vietnam based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data



Canh Van Le ^{1,*}, Cuong Xuan Cao ¹, Viet Hong Le ², Tien Dinh ³

¹ Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Vietnam Association of Geography, Cartography and Remotesensing, Vietnam

³ Vimico - Lao Cai - Sin Quyen Copper Mine Branch, Vinacomin - Minerals Holding Corporation

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11th Oct 2019

Revised 25th Dec. 2019

Accepted 28th Feb. 2020

Keywords:

DEM,
GNSS/RTK,
Image control point,
Mine reserves,
UAV.

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate the accuracy of volumetric measurements carried out with the unmanned aerial vehicle (UAV) data in quarries in Vietnam. To accomplish this goal, GNSS/RTK and UAV technologies were employed to collect data at the same time in the Long Son quarry in Thanh Hoa. The data was used to establish DEMs, which were used to calculate the reserve of the quarry. The results of calculating the mine reserves showed that the difference between the two methods was 0,07%; Also, the difference in the height between the two average models was 3,5 cm. This result satisfies the requirements in the Vietnamese standards for mine surveying.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E-mail: levancanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(1).03



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



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

Lê Văn Cảnh^{1,*}, Cao Xuân Cường¹, Lê Hồng Việt², Đinh Tiến³

¹ Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, Việt Nam

³ Chi nhánh Mỏ tuyển đồng Sin Quyền, Lào Cai - Vimico, Tổng Công ty Khoáng sản TKV, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 11/10/2019

Sửa xong 25/12/2019

Chấp nhận đăng 28/02/2020

Từ khóa:

DEM,
GNSS/RTK,
Khống chế ảnh,
Trữ lượng mỏ,
UAV.

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là đánh giá được khả năng ứng dụng công nghệ bay không người lái (UAV) giá rẻ trong công tác đo vẽ thành lập mô hình số độ cao (DEM) địa hình mô lộ thiên phục vụ công tác tính toán và kiểm kê trữ lượng cho các mỏ đá tại Việt Nam. Kết quả thực nghiệm đo đạc thành lập mô hình DEM tại khu vực khai thác thuộc mỏ đá Long Sơn, Bể Sơn, Thanh Hóa bằng công nghệ UAV và so sánh với mô hình DEM được xây dựng bằng công nghệ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu - đo động thời gian thực (GNSS/RTK) đã xác định được mức độ chênh lệch giữa hai mô hình là 0.07%; độ lệch chênh cao giữa hai mô hình trung bình là 3,5 cm. Kết quả này nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn Việt Nam về Trắc địa mỏ.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trong nghiên cứu và đánh giá các mỏ khoáng sản, tính trữ lượng khoáng sản là công việc quan trọng. Trữ lượng là cơ sở để đánh giá và thiết kế khai thác, lập dự toán kinh phí, xác định vốn đầu tư, lập kế hoạch phát triển mỏ trong tương lai (Lê Văn Cảnh & Nguyễn Quốc Long, 2015). Trong quá trình khai thác mỏ, công tác tính toán kiểm kê trữ lượng mỏ được thực hiện thường xuyên, ít nhất là 1 lần trong năm đối với các mỏ khai thác đá, vật liệu xây dựng, còn tại các mỏ than, công tác kiểm kê được yêu cầu thực hiện theo quý. Công tác này giúp quản lý khoáng sản tốt hơn, hoạch định kế hoạch khai thác mỏ trong năm tiếp theo. Xuất phát

từ vai trò quan trọng của công tác tính toán trữ lượng mỏ, yêu cầu về độ chính xác của nó vì thế cũng được nâng cao. Thông thường, việc tính toán kiểm kê trữ lượng được thực hiện dựa trên số liệu đo đạc bằng các phương pháp trắc địa. Tuy nhiên, với các công nghệ đo đạc hiện nay, công tác đo đạc phục vụ đánh giá trữ lượng có chi phí còn cao, tốn nhiều thời gian và sức lao động, gặp khó khăn khi thực hiện trong điều kiện địa hình và môi trường phức tạp, có thể gây mất an toàn lao động (Bui et al., 2017).

Trong những năm gần đây, công nghệ bay chụp không người lái (UAV) đã được ứng dụng khá phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau như khảo cổ và bảo tồn di sản văn hóa, quan trắc và bảo vệ môi trường (Alvarado et al., 2015; Feng et al., 2015; Mourato et al., 2017; Oleire-Oltmanns et al., 2012), giám sát nông lâm nghiệp (Berie & Burud,

*Tác giả liên hệ

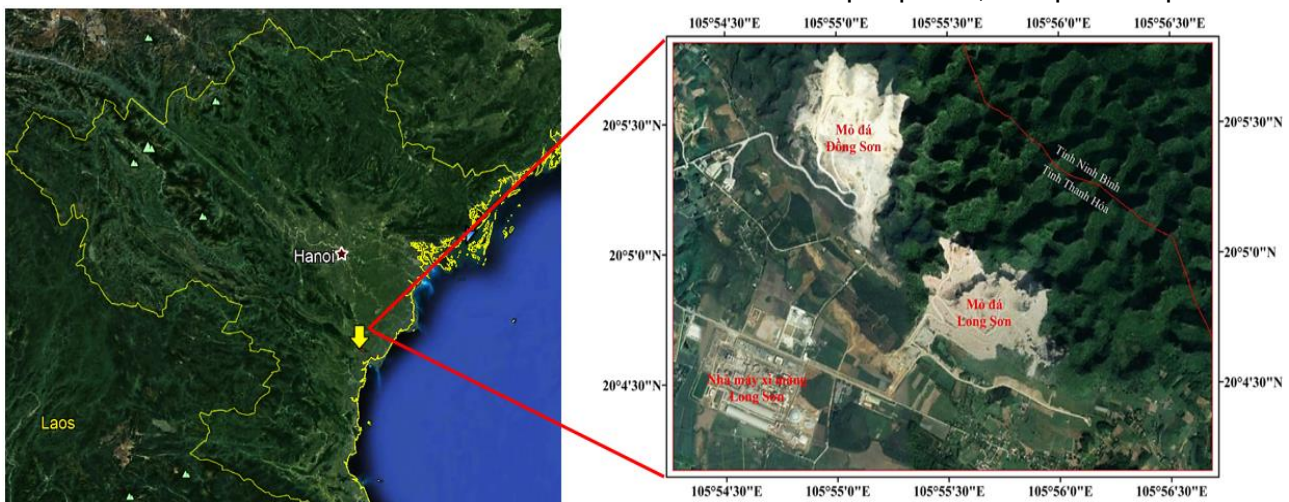
E - mail: levancanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(1).03

2018; Panequeet al., 2014; Rokhmana, 2015) và đo đạc địa hình và công trình (Barry & Coakley, 2013; T. D. Bui et al., 2016; Cryderman et al., 2014). Các nghiên cứu ứng dụng công nghệ UAV trong trắc địa mỏ lộ thiên cũng đã được thực hiện bởi các nhóm tác giả (Bui et al., 2017; Lee & Choi, 2015, 2016; Nguyen Quốc Long, 2019). Các nghiên cứu đã khẳng định công nghệ UAV hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu về độ chính xác xây dựng các mô hình số độ cao (DEM) cho các mỏ lộ thiên. Mặc dù các nghiên cứu này đã khẳng định các ưu điểm của công nghệ UAV trong xây dựng DEM như tính đơn giản trong qui trình thực hiện, an toàn, tiết kiệm thời gian và sức lao động ngoài thực địa, độ chính xác các bản đồ địa hình thành lập từ DEM và ảnh trực giao thảo mãn các qui phạm hiện hành của Việt Nam. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác tính toán trữ lượng khai thác ở mỏ lộ thiên từ các mô hình thành lập bằng công nghệ UAV. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác tính toán trữ lượng ở mỏ lộ thiên.

2. Khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm có vị trí nằm ở phía Tây Bắc của mỏ đá Long Sơn, xã Hà Vinh, huyện Hà Trung, tỉnh Thanh Hóa, là khu vực đồi núi, địa hình phức tạp, khó tiếp cận để đo vẽ trực tiếp. Đây là khu vực đã xây dựng cơ bản xong, vào thời điểm đo vẽ không có hoạt động nổ mìn, xúc bốc đất đá. Do vậy, không có sự thay đổi bề mặt địa hình mỏ trong suốt quá trình đo vẽ.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu - Mỏ đá vôi Long Sơn.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp thành lập mô hình DEM

Mô hình DEM địa hình mỏ phục vụ tính trữ lượng được thành lập đồng thời bằng hai phương pháp: bay chụp UAV và đo trực tiếp bằng GNSS-RTK. Mật độ điểm địa hình đo bằng phương pháp GNSS-RTK đảm bảo thành lập bản đồ địa hình 1:1000. Từ đó tiến hành so sánh trữ lượng khai thác từ 2 loại bản đồ này.

Bản chất của phương pháp thành lập mô hình DEM từ ảnh UAV là phương pháp tam giác không gian ảnh (Aerial Triangulation) trong đo ảnh (Photogrammetry). Theo phương pháp này, tọa độ và độ cao của một điểm được tính dựa vào các điểm ảnh cùng tên của điểm đó được chụp từ các vị trí khác nhau. Quá trình xử lý của phương pháp này cần các tham số định hướng trong (Internal Orientation), tham số định hướng ngoài (External Orientation), và các điểm khống chế ảnh (Ground Control Points). Do mỗi điểm có số lượng điểm ảnh cùng tên rất lớn nên phương pháp bình sai đa tia (Bundle Adjustment) được sử dụng.

3.2. Phương pháp tính trữ lượng

Các phương pháp khối trung bình cộng, khối địa chất, khối khai thác, hình đa giác, hình tam giác, mặt cắt đứng và đường đẳng trị, Xôbôlêpxki được biết đến trong tính trữ lượng khoáng sản. Mỗi phương pháp đều có những ưu nhược điểm riêng, tùy thuộc dữ liệu, điều kiện địa chất tại các mỏ khoáng sản mà ta lựa chọn phương pháp cho phù hợp. Tuy nhiên, trong kiểm kê trữ lượng khoáng sản ở các mỏ tại Việt Nam, với đặc điểm địa hình ở

các mô lộ thiên nói chung và mô đá nói riêng thường ở dạng tầng bậc, do đó phương pháp mặt cắt thường hay được sử dụng. Trong nghiên cứu này, khu vực thực nghiệm có tầng khai thác tương đối thẳng và song song, vì vậy phương pháp mặt cắt đứng song song được lựa chọn.

Phương pháp mặt cắt đứng song song, trữ lượng được tính giữa bề mặt địa hình mỏ với bề mặt giới hạn địa hình kết thúc khai thác mỏ. Khi hai địa hình này được chồng ghép, các mặt cắt đứng song song cách đều nhau được dựng (Hình 2). Diện tích khoáng sản trên các mặt cắt và trữ lượng khối khoáng sản được tính như sau:

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

Trong đó: l là khoảng cách giữa các mặt cắt, S_i là diện tích khoáng sản trên mặt cắt i .

3.3. Đánh giá độ chính xác

Nội dung đánh giá độ chính xác bao gồm đánh giá độ chính xác của mô hình DEM và độ chính xác tính trữ lượng. Để tính độ chính xác mô hình DEM, các công thức sau được sử dụng:

$$\Delta X = X_{DSM} - X_{GCP} \quad (2)$$

$$\Delta Y = Y_{DSM} - Y_{GCP} \quad (3)$$

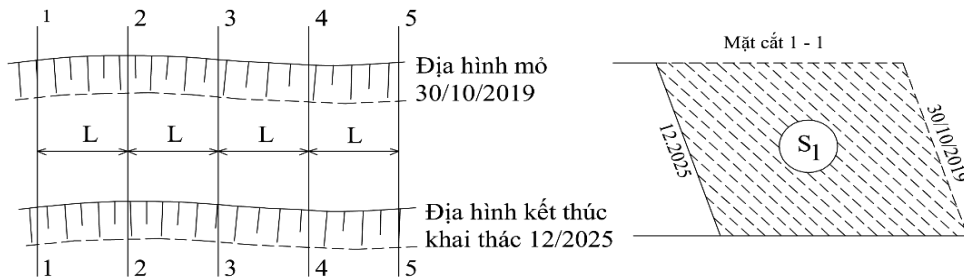
$$\Delta Z = Z_{DSM} - Z_{GCP} \quad (4)$$

$$\Delta XYZ = XYZ_{DEM} - XYZ_{CCP} \quad (5)$$

$$RMSE_X = \sqrt{\left[(1/n) \sum_{i=1}^n (X_{DEM} - X_{GCPi})^2 \right]} \quad (6)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\left[(1/n) \sum_{i=1}^n (Y_{DEM} - Y_{GCPi})^2 \right]} \quad (7)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\left[(1/n) \sum_{i=1}^n (Z_{DEM} - Z_{GCPi})^2 \right]} \quad (8)$$



Hình 2. Tính trữ lượng bằng mặt cắt đứng song song.

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{\left\{ (1/n) \sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{l} (X_{DEM} - X_{GCPi})^2 + \\ (Y_{DEM} - Y_{GCPi})^2 + \\ (Z_{DEM} - Z_{GCPi})^2 \end{array} \right] \right\}} \quad (9)$$

Trong đó: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta XYZ$ - Các giá trị chênh lệch các thành phần tọa độ và vị trí điểm; RMSE - Sai số trung phương; n tổng số điểm kiểm tra; X_{GCPi} và X_{DEM} , Y_{GCPi} và Y_{DEM} , Z_{GCPi} và Z_{DEM} Tương ứng là thành phần tọa độ theo trục X, trục Y và trục Z của điểm khống chế và mô hình DEM.

Kết quả tính trữ lượng khoáng sản tính từ DEM lập từ ảnh bay chụp UAV được so sánh với trữ lượng khoáng sản được tính toán từ DEM được thành lập từ số liệu đo RTK. Sai số tính trữ lượng được tính theo công thức sau:

$$\delta V = V_{UAV} - V_{RTK} \quad (10)$$

Trong đó: V_{UAV} - Thể tích khoáng sản tính dựa trên DEM thành lập từ ảnh UAV; V_{RTK} - Thể tích khoáng sản tính dựa trên DEM thành lập từ số liệu đo RTK

Ngoài ra, giá trị chênh lệch độ cao trung bình giữa hai bề mặt được thành lập từ công nghệ UAV và công nghệ RTK tính theo công thức sau:

$$h = \frac{\delta V}{S} \quad (11)$$

Trong đó: δV - Sai số tính trữ lượng và S là diện tích nằm trong ranh giới tính trữ lượng

4. Thiết bị đo đạc thực nghiệm

4.1. Thiết bị bay UAV và phần mềm xử lý

Hiện nay, thị trường thiết bị bay UAV tương đối phát triển, cung cấp nhiều loại máy bay không người lái với sự đa dạng về kích thước, và chủng loại phục vụ các ứng dụng khác nhau. Tuy nhiên, dựa trên đặc điểm cấu tạo và nguyên lý vận hành,

có thể chia thành hai loại chính: UAV cánh bằng gắn cố định vào thân máy bay, và UAV cánh quay (Colomina & Molina, 2014). Trong khi UAV cánh bằng cố định cần đường bay hoặc bộ phóng khi cất và hạ cánh, tính cơ động của thiết bị này thấp trong điều kiện không gian nhỏ hẹp và địa hình phức tạp như mỏ lộ thiên vừa và nhỏ. Trong khi đó, máy bay cánh quay có thể cất và hạ cánh trong các điều kiện này (Nguyen Quoc Long, 2019). Bên cạnh đó, giá thành của loại máy bay này cũng thấp hơn rất nhiều so với máy bay cánh bằng gắn cố định. Xuất phát từ các ưu điểm này, máy bay cánh quạt được lựa chọn phục vụ bay chụp thực nghiệm. Máy bay Phantom 4 Pro là dòng máy bay cánh quạt do hãng DJI sản xuất. Một bộ thiết bị Phantom 4 pro bao gồm thân máy và bộ điều khiển. Các bộ phận chính gắn trên thân máy bao gồm các cảm biến tránh va đập theo 5 hướng (trái, phải, trước, sau, dưới), bốn mô tơ, 4 cánh quạt có thể tháo rời, chân hạ cánh cố định phía bên dưới. Bộ điều khiển từ xa gồm các nút bấm điều khiển quá trình bay, điều khiển có tích hợp 2 ăng ten với 2 tần số: 2,4 và 5,8 GHz (DJI, 2017), có cổng kết nối với máy tính bằng hoặc điện thoại thông minh để cài đặt các thông số bay chụp hoặc hình hiển thị ảnh chụp trực tiếp từ máy bay. Hình ảnh của bộ thiết bị Phantom 4 pro như Hình 3. Các thông số kỹ thuật của thiết bị được thể hiện trong Bảng 1 (DJI, 2017).

Bảng 1. Thông số chính của Phantom 4 Pro (DJI, 2017).

Trọng lượng	1280 (g)			
Cao; dài; rộng	18,5; 28,9; 28.9 (cm)			
Tốc độ bay lên tối đa	5 (m/s)			
Tốc độ bay xuống tối đa	3 (m/s)			
Tốc độ bay ngang tối đa	16 (m/s)			
Thời gian bay	23 (phút)			
Tầm bay cao nhất	6000 (m)			
Nhiệt độ hoạt động	0÷ 40 (độ C)			
Định vị	GPS/GLONAS			
Các thông số về máy ảnh như sau:				
Đặc tính kỹ thuật	Cảm biến	Độ phân giải	Tiêu cự	Kích thước ảnh
P4P	1" CMOS	20 MP	8.8 mm	4864x3648

Phần mềm xử lý: Hiện nay, các phần mềm xử lý ảnh UAV được sử dụng rộng rãi bao gồm: Agisoft Photoscan, ENVI, Trimble Business Center, Erdas Leica Photogrammetry Suite, PhotoModeler Scanner, Pix4UAV Desktop. Mỗi phần mềm có ưu

nhược điểm khác nhau. Tuy nhiên, trong một nghiên cứu của nhóm tác giả (Sona et al., 2014), phần mềm Agisoft Photoscan được đánh giá là tốt nhất. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, phần mềm Agisoft Photoscan được lựa chọn để xử lý ảnh UAV chụp từ khu vực thực nghiệm. Các phân tích đánh giá phần mềm này có thể tham khảo trong (Sona et al., 2014).



Hình 3. Thiết bị bay Phantom 4 pro và bộ điều khiển.

4.2. Thiết bị GNSS-RTK

Trong nghiên cứu này, thiết bị GNSS-RTK được sử dụng để đo điểm khống chế ảnh và đo chi tiết địa hình mỏ đá là máy CHC X91B do hãng CHCNAV sản xuất (Bảng 2).

Bảng 2. Thông số chính của máy CHC X91B.

Tín hiệu vệ tinh	Thu nhận và xử lý đồng thời 254 kênh	GPS: L1, L2, L5; GLONASS: L1, L2, BDS: B1, B2, B3; SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS. Loại trừ nhiễu đa đường. Đo pha sang mang ít nhiễu.
Độ chính xác	Đo động thời gian thực (RTK)	Mặt bằng: 8 mm + 1 ppm RMS. Độ cao: 15 mm + 1 ppm RMS. Thời gian đo: <10s; Độ tin cậy: >99,9%.
	Đo tĩnh xử lý sau	Mặt bằng: 3 mm + 0.1 ppm RMS. Độ cao: 5 mm + 0.4 ppm RMS.

5. Đo đạc thực nghiệm

5.1. Đo GNSS-RTK thành lập mô hình DEM

Các điểm khống chế ảnh phục vụ cho bay chụp UAV và các điểm đo vẽ chi tiết ở mỏ đều thực hiện bằng phương pháp đo GNSS-RTK. Máy cố định (Base) được kết nối với điểm gốc giải tích 1 đã

được thành lập tại mỏ. Công tác đo đạc GNSS-RTK được thực hiện ngay sau khi bay chụp UAV. Tổng số điểm RTK là 1625 điểm. Các điểm đo bao gồm các điểm đặc trưng của địa hình mỏ như điểm chân tầng, mép tầng, mặt tầng, và các điểm đặc biệt xuất hiện trên khu vực thực nghiệm. Khoảng cách trung bình giữa các điểm chi tiết là $15 \div 20$ m một điểm.

5.2. Thành lập mô hình DEM bằng phương pháp bay chụp UAV

5.2.1. Thành lập các điểm khống chế ảnh

Từ địa hình thực tế khu vực đo vẽ, các điểm khống chế ảnh được tính toán là 12 điểm, trong đó 07 điểm nấn ảnh (điểm màu đỏ trên Hình 5a), và 05 điểm làm điểm kiểm tra (điểm màu vàng trên Hình 5a). Điểm khống chế ảnh được thiết kế kích thước 60×60 cm, in trên giấy bạt có độ phản xạ cao (Hình 5b).

Tạo độ điểm khống chế ảnh được đo bằng phương pháp GNSS-RTK, trong quá trình đo dùng kẹp gương để đảm bảo ổn định và mỗi điểm được đo 3 lần.

5.2.2. Bay chụp UAV

Quá trình bay chụp được thiết kế trên phần mềm Pix4D Capture, các thông số cần thiết lập bao gồm độ cao bay, tốc độ bay, độ chùng phủ theo hướng dọc và ngang, góc chụp ảnh. Sau khi khai báo các thông số trên phần mềm, các dải bay sẽ được tự động tính toán và thiết kế. Với địa hình khu thực nghiệm có diện tích 15 ha, lịch bay UAV được thiết kế trong 01 ca bay. Độ cao bay chụp 150 m, vị trí máy bay cất cánh ở độ cao +100 m. Độ phủ trùm dọc và ngang đều là 80%. Tổng số ảnh thu được là 120, độ phân giải ảnh là 4,09 cm/pixel.

5.3. Thành lập mô hình số độ cao DEM từ ảnh bay chụp UAV

5.3.1. Thành lập mô hình DEM

Ảnh bay chụp UAV được xử lý trên phần mềm Agisoft Professional 1.5.4. Đây là phần mềm được sử dụng rộng rãi trong thực tế sản xuất.

Trong tổng số 12 mốc khống chế ảnh, chọn 07 mốc làm điểm khống chế nấn ảnh (GCP), 05 mốc còn lại làm điểm khống chế kiểm tra (GCP). Các GCP và GCCP được chọn phân bố đều trên địa hình khu đo, ở các mức độ cao khác nhau đảm bảo phản

ánh được sự ảnh hưởng của thay đổi địa hình tới mô hình thành lập được.

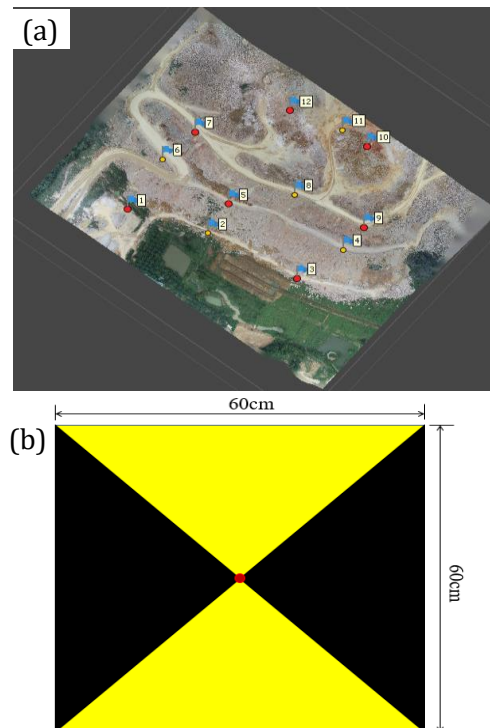
Do khu vực thực nghiệm của mỏ là khu vực đang khai thác, không có lớp phủ bề mặt. Do vậy, trong ranh giới nghiên cứu mô hình số bề mặt cũng chính là mô hình số độ cao của mỏ (Hình 6c).

5.3.2. Đánh giá độ chính xác mô hình

Từ kết quả trên Bảng 3, Bảng 4 cho thấy sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XY của các điểm nấn ảnh tương ứng là 0,3 cm, 0,2 cm, 0,1 cm và 0,4 cm. Trong khi đó, sai số trung bình các thành phần X, Y, Z, XY của các điểm kiểm tra tương ứng là 1,3 cm, 0,9 cm, 2,1 cm và 1,5 cm. Từ kết quả đánh giá cho thấy, mô hình hoàn toàn có thể sử dụng trong công tác tính trữ lượng mỏ và thành lập bản đồ tỷ lệ 1:1000.



Hình 4. Công tác đo GNSS-RTK thực địa.



Hình 5. Điểm khống chế ảnh. (a) Vị trí điểm khống chế ảnh trên thực địa; (b) Tiêu khống chế ảnh.

6. Tính trữ lượng khai thác

Trữ lượng được tính theo ranh giới cho trước và giữa bề mặt hiện trạng đo được với mức kết thúc của mỏ (mức +20 m). Công tác tính trữ lượng khai thác được thực hiện trên phần mềm Topo-HSmo. Tính toán trữ lượng được thực hiện theo phương pháp mặt cắt đứng song song, khoảng cách giữa các mặt cắt tính 10 m.

Bảng 3. Độ chính xác nấn ảnh.

Điểm	Sai số			
	Δx (cm)	Δy (cm)	ΔZ (cm)	ΔXY (cm)
10	0,3	0,0	-0,2	0,3
12	-0,3	-0,1	0,1	0,3
7	-0,2	0,1	-0,1	0,2
5	0,6	0,3	0,2	0,7
1	-0,1	-0,1	-0,1	0,2
3	-0,3	-0,2	-0,2	0,4
9	-0,1	0,1	0,2	0,2
RMSE	0,3	0,2	0,1	0,4

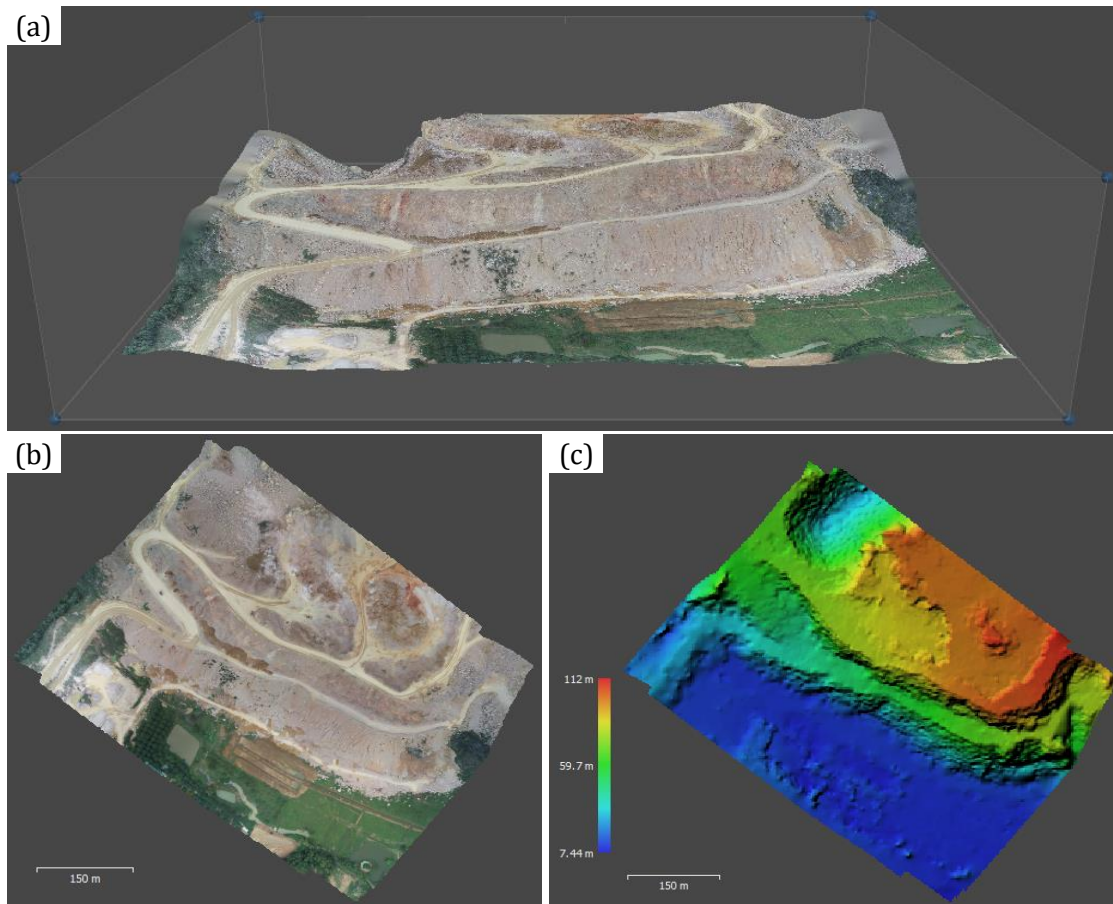
Bảng 4. Độ chính xác mô hình thông qua các điểm kiểm tra

Điểm	Sai số			
	Δx (cm)	Δy (cm)	ΔZ (cm)	ΔXY (cm)
11	-1,9	-1,1	2,1	2,2
8	0,8	1,1	-1,3	1,4
6	0,0	-0,8	-1,6	0,8
4	0,2	0,7	-3,2	0,7
2	-2,2	-0,9	-1,3	2,4
RMSE	1,3	0,9	2,1	1,5

Trữ lượng mỏ tính theo địa hình trên mô hình 3D UAV: 7 619 225,86 m³

Trữ lượng mỏ tính theo địa hình trên mô hình 3D GNSS-RTK: 7 613 711,57 m³

Chênh lệch trữ lượng mỏ giữa hai phương pháp: 5514,29 m³; Ước tính lệch 0,07% tổng trữ lượng toàn mỏ.



Hình 6. Một số sản phẩm thành lập từ ảnh bay chụp UAV. (a) Mô hình 3D; (b) Ảnh trực giao; (c) Mô hình số bề mặt (DSM).

7. So sánh kết quả tính trữ lượng dựa trên mô hình UAV và mô hình GNSS-RTK

Theo Quy phạm Trắc địa mỏ Việt Nam, độ chính xác tính trữ lượng, khi trữ lượng mỏ lớn hơn 2 triệu m³ thì sai số giữa tính toán và kiểm tra không được vượt quá 1% tổng trữ lượng khai thác (Viện tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam, 2015). Mặc dù sử dụng cùng phương pháp tính toán trữ lượng, nhưng việc kỳ vọng không có sai số là điều không thực tế do sự khác biệt về phương pháp đo đạc. Bên cạnh đó, mật độ điểm xây dựng mô hình DEM từ dữ liệu UAV lớn hơn rất nhiều so với mật độ điểm của mô hình DEM từ GNSS/RTK. Từ đó, sai số khái quát địa hình của UAV nhỏ hơn sai số khái quát địa hình của GNSS/RTK. Sự khác biệt giữa trữ lượng tính từ dữ liệu đo đạc bằng hai phương pháp là 5514,29 m³ (chiếm 0,07%) với trữ lượng tính từ 3D UAV lớn hơn trữ lượng tính từ 3D GNSS-RTK. Nếu qui chuyển về sự khác biệt độ cao

giữa hai bề mặt đo bằng UAV và bề mặt đo bằng GNSS-RTK được tính theo công thức (11) sẽ là 3,5 cm.

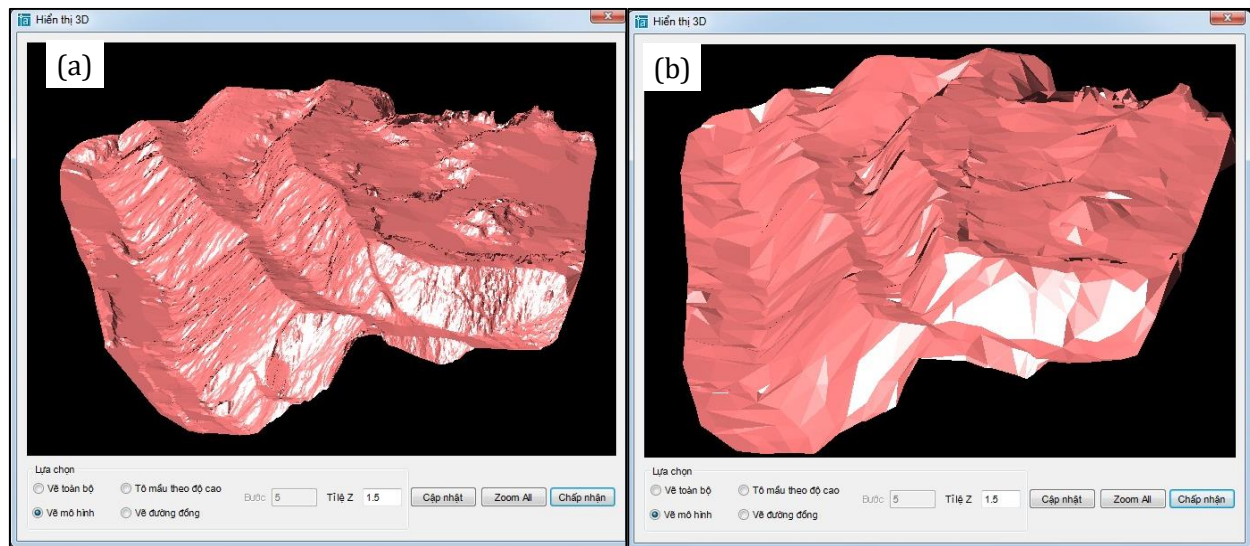
8. Kết luận

Trong nghiên cứu này, với mục tiêu đánh giá độ chính xác tính trữ lượng khai thác mỏ lộ thiên từ mô hình số độ cao thành lập từ công nghệ bay chụp không người lái UAV, công nghệ GNSS-RTK đã được sử dụng để đo chi tiết khu vực thực nghiệm. Phương pháp tính trữ lượng được lựa chọn là phương pháp mặt cắt đứng song song.

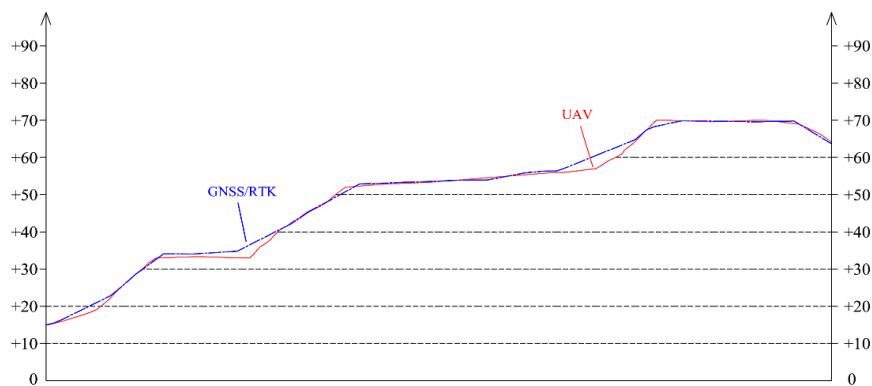
Kết quả đo đạc thực nghiệm và tính toán trữ lượng cho thấy:

- Kết quả tính trữ lượng từ dữ liệu đo bằng công nghệ UAV lệch so với kết quả tính trữ lượng từ dữ liệu đo GNSS-RTK là 0,07%,

- Kết quả đáp ứng được yêu cầu về độ tin cậy trong Quy phạm Trắc địa mỏ Việt Nam.



Hình 7. Mô hình số độ cao (DEM). (a). Lập từ dữ liệu UAV; (b). Lập từ số liệu đo RTK.



Hình 8. Mặt cắt địa hình tính trữ lượng.

Tài liệu tham khảo

- Alvarado, M., Gonzalez, F., Fletcher, A., & Doshi, A., (2015). Towards the Development of a Low Cost Airborne Sensing System to Monitor Dust Particles after Blasting at Open-Pit Mine Sites. *Sensors*, 15(8), 19667. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/8/19667>.
- Barry, P., & Coakley, R., (2013). Accuracy of UAV photogrammetry compared with network RTK GPS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens, XL-1 W*, 27-31.
- Berie, H. T., & Burud, I., (2018). Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing* 51(1), 326-335. doi: 10.1080/22797254.2018.1432993
- Bui, D. T., Long, N. Q., Bui, X. N., Nguyen, V. N., Van Pham, C., Van Le, C., Kristoffersen, B., (2017). Lightweight Unmanned Aerial Vehicle and Structure-from-Motion Photogrammetry for Generating Digital Surface Model for Open-Pit Coal Mine Area and Its Accuracy Assessment. *Paper presented at the International Conference on Geo - Spatial Technologies and Earth Resources*.
- Bui, T. D., Nguyen, C. V., Hoang, M. H., Dong, B. P., Nhu, V. H., Tran, T. A., & Nguyen, Q. M., (2016). Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái. *Hội nghị khoa học: Đo đạc bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu*, Hà Nội.
- Colomina, I., & Molina, P., (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92, 79-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs>. 2014. 02.013.
- Cryderman, C., Mah, S. B., & Shufletoski, A., (2014) Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations. *Geomatica* 68(4), 309-317. doi:10.5623 /cig 2014 - 405.
- DJI., (2017). Phantom 4 Pro Visionary intelligence and elevated imagination, <https://www.dji.com/phantom-4-pro>.
- Feng, Q., Liu, J., & Gong, J., (2015). Urban Flood Mapping Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Random Forest Classifier- A Case of Yuyao, China. *Water*, 7(4), 1437. Retrieved from <http://www.mdpi.com/2073-4441/7/4/1437>.
- Lê Văn Cảnh, Nguyễn Quốc Long, (2015). Nâng cao hiệu quả phương pháp Sobolevski trong việc tính trữ lượng khoáng sản. *Công nghiệp mỏ* 6, 65-67.
- Lee, S., & Choi, Y., (2015). On-site demonstration of topographic surveying techniques at open-pit mines using a fixed-wing unmanned aerial vehicle (drone). *Tunnel & Underground Space* 25, 527-533.
- Lee, S., & Choi, Y., (2015). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone). *Tunnel & Underground Space* 25, 462-469.
- Lee, S., & Choi, Y., (2016). Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering* 19(4), 197-204. doi: 10.1080/12269328.2016.1162115
- Mourato, S., Fernandez, P., Pereira, L., & Moreira, M., (2017). Improving a DSM Obtained by Unmanned Aerial Vehicles for Flood Modelling. *Paper presented at the IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Nguyen Quốc Long, C. X. C., (2019). Ứng dụng máy bay không người lái (UAV) để xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ mở lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng. *Tạp chí công nghiệp mỏ* 1(9).
- Nguyen Quoc Long, X. N. B., Cao Xuan Cuong, Le Van Canh, (2019). An approach of mapping quarries in Vietnam using low-cost Unmanned Aerial Vehicles. *Sustainable Development of Mountain Territories* 11(2), 199-209.
- Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K., & Ries, J., (2012). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sens.* 4(11), 3390-3416. doi:10.3390/rs4113 390.

- Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P., (2014). Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests* 5(6), 1481-1507.
- Rokhmana, C. A., (2015). The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 24 (Supplement C), 245-253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.032>.
- Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D., & Gini, R., (2014). Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images. *Earth Science Informatics* 7(2), 97-107. doi:10.1007/s12145-013-0142-2.
- Viện tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam, (2015). *Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc Địa Mỏ*. Hà Nội.