

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

NGUYỄN QUỐC LONG, LÊ VĂN CẢNH

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: nguyennquoclong@humg.edu.vn

Trong khai thác mỏ, kiểm kê trữ lượng khoáng sản là công tác được thực hiện thường xuyên. Trữ lượng khoáng sản là cơ sở dữ liệu cần thiết phục vụ công tác đánh giá, quản lý và thiết kế mở rộng khai thác mỏ [3]. Theo quy định hiện hành, trong các mỏ khai thác đá vật liệu xây dựng, công tác tính toán kiểm kê trữ lượng mỏ được thực hiện ít nhất 1 lần/1 năm [4]. Hiện nay, công tác đo đạc phục vụ tính toán kiểm kê trữ lượng tại các mỏ khai thác lộ thiên nói chung và khai thác đá vật liệu xây dựng nói riêng đang được thực hiện chủ yếu bằng phương pháp toàn đạc sử dụng máy toàn đạc điện tử. Tuy nhiên, phương pháp này được đánh giá là có chi phí cao, tốn nhiều thời gian và công sức; gặp khó khăn khi thực hiện trong điều kiện địa hình và môi trường phức tạp, có thể gây mất an toàn lao động [1].

Gần đây, một số công nghệ mới đã và đang được ứng dụng trong một số nội dung công tác trắc địa mỏ lộ thiên Việt Nam như quét laser mặt đất, UAV, lidar, CORS [12], [14], [15], trong đó, UAV kinh phí thấp đang là một trong những công nghệ được đặc biệt quan tâm.

Công nghệ UAV đã được ứng dụng trong đo đạc địa hình và công trình [1], [6], [8] và ngày càng phổ biến trong đo vẽ thành lập bản đồ địa hình mỏ lộ thiên [2], [7], [10], [9], [11]. Các kết quả nghiên cứu ứng dụng của các tác giả đã khẳng định khả năng áp dụng công nghệ UAV trong đo đạc thành lập mô hình số 3D cho các mỏ lộ thiên với các ưu điểm nổi trội như bảo đảm độ chính xác cao, qui trình thực hiện đơn giản, an toàn, tiết kiệm thời gian và công sức [2], [5], [13]. Đo đạc phục vụ tính toán, kiểm kê trữ lượng khai thác tại các mỏ khai thác lộ thiên là nghiên cứu và thử nghiệm tiếp theo của công nghệ UAV - đặc biệt đối với các địa hình mỏ lộ thiên phức tạp ở Việt Nam.

1. Khu vực nghiên cứu

Mỏ khai thác đá vật liệu xây dựng Tuf-Andezit có trữ lượng lớn nằm trên khu vực Núi Dài, thuộc xã Chi Lăng, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang. Mỏ đá này có vị trí tại khu vực đồi núi, địa hình phức tạp. Mỏ đá Tuf-Andezit đã được phê duyệt thiết kế giới hạn kết thúc khai thác mỏ, thuận tiện cho việc tính toán trữ lượng mỏ khi đã có địa hình kết thúc khai thác.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thành lập mô hình DEM

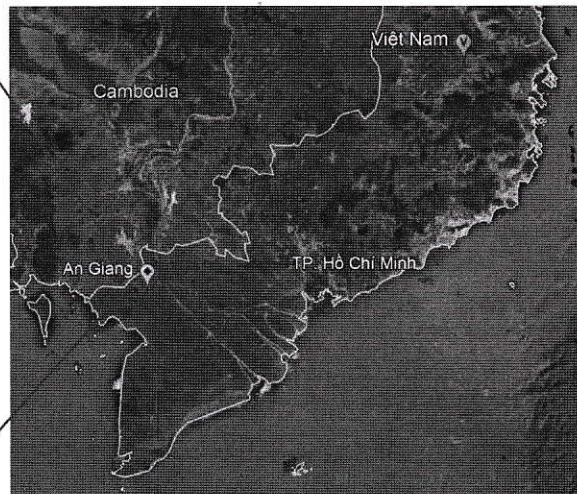
Mô hình số độ cao DEM của mỏ được thành lập từ dữ liệu đo vẽ bằng hai phương pháp trong cùng một thời gian: Bay chụp thu nhận dữ liệu ảnh bằng thiết bị bay không người lái UAV Phantom 4 Pro và đo trực tiếp bằng máy toàn đạc điện tử TS09. Khu vực đo vẽ nằm trong ranh giới tính trữ lượng hầu như không có lớp phủ. Chỉ có một khu vực nhỏ ở phía đông bắc có cây cối bao phủ, và một số máy móc, xe ô tô đang hoạt động trên bề mặt mỏ. Khi thành lập DEM từ ảnh UAV, các đối tượng này sẽ được loại bỏ, khu vực có độ phủ lớn được đo bổ sung bằng máy toàn đạc điện tử. Mật độ điểm đo địa hình bằng phương pháp toàn đạc điện tử đảm bảo độ chính xác tính trữ lượng và thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1/1000.

2.2. Cơ sở phương pháp tính trữ lượng

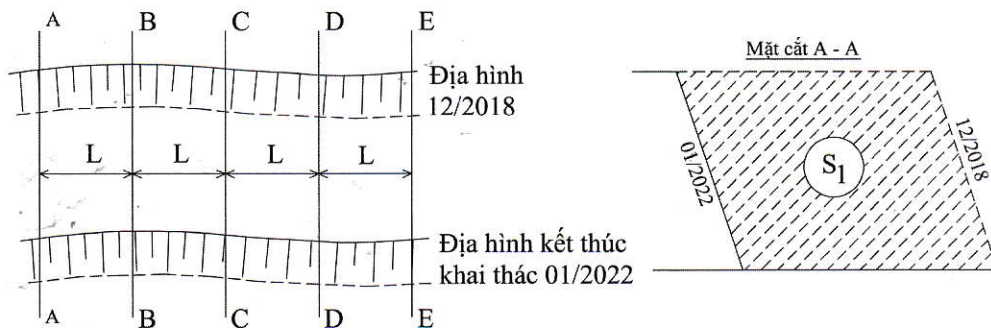
Các phương pháp tính toán trữ lượng khoáng sản như phương pháp hình tam giác, hình đa giác, khối địa chất, trung bình cộng, phương pháp đường đẳng trị, phương pháp lưới ô vuông theo lý thuyết Sôbôlêvski thường được áp dụng khi tính toàn bộ khoáng sản trong lòng đất tại giai đoạn thăm dò [3]. Khi các mỏ đã đi vào khai thác, tính toán kiểm kê trữ lượng khoáng sản ở các mỏ lộ thiên thường sử dụng phương pháp mặt cắt đứng song song, phương pháp này phù hợp với đặc điểm địa hình tầng bậc ở các mỏ

lộ thiên nói chung và mỏ đá vật liệu xây dựng nói riêng. Trong nghiên cứu này, phương pháp mặt cắt

đứng song song đã được lựa chọn để tính trữ lượng còn lại cho mỏ đá Tuf-Andezit.



H.1. Mỏ đá Tuf-Andezit, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang



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

Để tính trữ lượng theo phương pháp mặt cắt đứng song song, dữ liệu đầu vào cần phải có gồm 3 yếu tố: mô hình số độ cao địa hình thời điểm tính trữ lượng, mô hình số độ cao địa hình thiết kế kết thúc khai thác và ranh giới tính trữ lượng đã được cấp phép. Khi hai địa hình này được chồng ghép, các mặt cắt đứng song song cách đều nhau được dựng (hình H.2). Diện tích khoáng sản trên từng mặt cắt này được tính và từ đó trữ lượng khối khoáng sản được tính như sau:

$$V = l \cdot \left(\frac{s_1 + s_2}{2} + \frac{s_2 + s_3}{2} + \frac{s_1 + s_{i+1}}{2} \right) \quad (1)$$

Trong đó: l - Khoảng cách giữa các mặt cắt, s_i - Diện tích khoáng sản trên mặt cắt thứ " i ".

2.3. Đánh giá độ chính xác

Nội dung đánh giá độ chính xác bao gồm đánh giá độ chính xác của mô hình DEM được thành lập bằng công nghệ UAV và độ chính xác tính trữ lượng. Để đánh giá độ chính xác mô hình DEM, tọa độ và độ cao các điểm trên mô hình bề mặt thành lập bằng công nghệ UAV được so sánh trực

tiếp với các điểm khống chế ảnh tương ứng thành lập bằng thiết bị toàn đạc điện tử theo các công thức sau:

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

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

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

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (X_{DCM} - X_{CCPi})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (Y_{DCM} - Y_{CCPi})^2}{n}} \quad (6)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (Z_{DCM} - Z_{CCPi})^2}{n}} \quad (7)$$

$$RMSE_{xyh} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2} \quad (8)$$

Trong đó: ΔX , ΔY , ΔZ - 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_{DSM} , Y_{GCPi} và Y_{DSM} , Z_{GCPi} và Z_{DSM} - Thành phần

tọa độ tương ứng theo hướng trục X, Y, Z của điểm khống chế ảnh và điểm tương ứng trên mô hình DSM.

Để đánh giá độ chính xác tính trữ lượng, kết quả tính trữ lượng khoáng sản được tính từ DEM thành lập bằng công nghệ UAV được so sánh với trữ lượng khoáng sản được tính toán từ DEM thành lập bằng đo toàn đạc điện tử. Chênh lệch về thể tích thành lập bởi hai công nghệ trên được tính theo công thức sau:

$$\delta V = (V_{UAV} - V_{TD}). \quad (9)$$

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

Giá trị chênh lệch độ cao trung bình giữa hai bề mặt được thành lập từ công nghệ UAV và toàn đạc điện tử được tính theo công thức sau:

$$\delta S = (\delta V / S). \quad (10)$$

Trong đó: δV - Sai số tính trữ lượng; S - Diện tích nằm trong ranh giới tính trữ lượng

3. Đo đạc thực nghiệm

3.1. Thiết bị UAV

Các thiết bị sử dụng bao gồm: một máy bay không người lái Phantom 4 Pro do hãng DJI sản xuất phục vụ bay chụp thu nhận dữ liệu ảnh địa hình mô. Máy bay có camera tiêu cự 8.8 mm, độ phân giải không gian ảnh 20 MP, độ rộng ảnh 4864x3648 pixel; 01 máy tính cài đặt phần mềm Agisoft phục vụ xử lý ảnh bay chụp UAV (hình H.3); 02 máy toàn đạc điện tử TS09 và các thiết bị kèm theo phục vụ đo nối tọa độ các điểm khống chế ảnh và đo vẽ chi tiết địa hình mô. Các thiết bị sử dụng đã được kiểm định các thông số kỹ thuật trước khi sử dụng.



H.3. Thiết bị bay Phantom 4 pro và máy tính cài phần mềm xử lý dữ liệu

3.2. Máy toàn đạc điện tử TS09

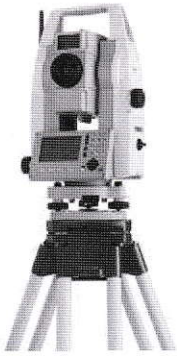
Do diện tích mô khá lớn và để đảm bảo DEM thành lập được không có sự sai khác do hoạt động xúc bốc của mô. Sử dụng 02 tổ đo để tiến hành đo chi tiết, tổng thời gian đo trong 3 ngày. Các khu vực diễn ra hoạt động khai thác được ưu tiên đo trước và cùng thời điểm máy bay bay chụp ảnh, các vùng còn lại sẽ đo ngay sau đó. Các điểm đo bao gồm các điểm đặc trưng của địa hình mô 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 khoảng 15 m.

3.3. Đo đạc thành lập mô hình DEM bằng công nghệ UAV

3.3.1. Thành lập mạng lưới khống chế ảnh

Từ địa hình thực tế khu vực đo vẽ, mạng lưới điểm khống chế ảnh (GCP) được tính toán và thiết kế vị trí trên phần mềm Google Earth (hình H.5).

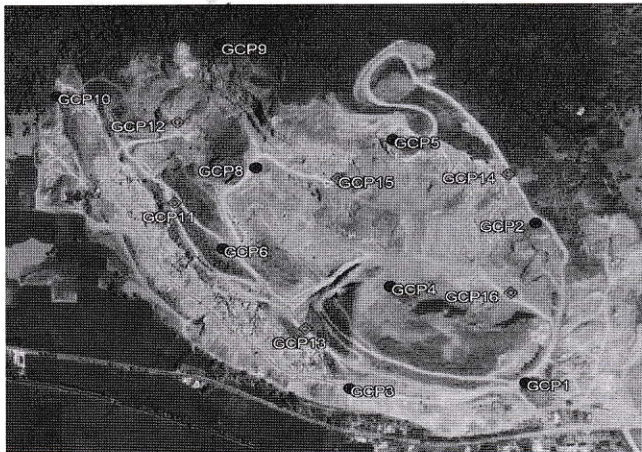
Tổng số điểm GCP được thiết kế là 16 điểm. Các điểm này được phân bố đều trên toàn khu vực thực nghiệm và được đánh dấu trên mặt đất bằng các tiêu khống chế ảnh, tiêu được thiết kế kích thước 60x60 cm, in trên giấy bạt có độ phản xạ cao. Tọa độ các điểm GCP được đo nối với điểm khống chế cơ sở sử dụng máy toàn đạc điện tử, trong quá trình đo dùng kẹp gương để đảm bảo ổn định, mỗi điểm được đo 03 lần và kết quả lấy giá trị trung bình.



H.4. Đo đạc chi tiết trên thực địa bằng máy toàn đạc điện tử

3.3.2. Bay chụp UAV

Diện tích khu vực đo vẽ trong ranh giới là 38 ha, tổng diện tích đo vẽ theo yêu cầu bao gồm cả phần đo phủ biên là 40 ha, diện tích thực bay vào khoảng 62 ha, lịch bay UAV được thiết kế 02 ca bay, thực hiện trên phần mềm Pix4d Capture. Vị trí cất, hạ cánh của máy bay được chọn ở vị trí có độ cao trung bình của mỏ nhằm giảm thiểu sự ảnh hưởng của sự thay đổi địa hình mỏ đến độ chính xác mô hình thành lập được. Độ cao bay chụp 170 m. Độ phủ trùm dọc và ngang đều là 80%, độ phân giải ảnh thu được là 5.01 cm/pixel. Tổng thời gian cho cả quá trình thành lập điểm khống chế ảnh và bay chụp UAV là 4 tiếng.



H.5. Vị trí các điểm GCP thiết kế trên google earth

4. Xử lý kết quả và đánh giá độ chính xác của mô hình DEM

Trong số 16 điểm GCP, 10 điểm được chọn làm điểm khống chế nắn ảnh, 06 mốc còn lại làm điểm kiểm tra độ chính xác của mô hình thành lập được. Các điểm kiểm tra mô hình được phân bố đều trên địa hình khu đo, ở các vị trí phản ánh được sự thay đổi của độ cao địa hình mỏ. Đảm bảo phản ánh chính xác của mô hình thành lập được cả về tọa độ mặt bằng và độ cao địa hình. Kết quả đánh giá độ chính xác như trên các Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3. Độ chính xác nắn ảnh

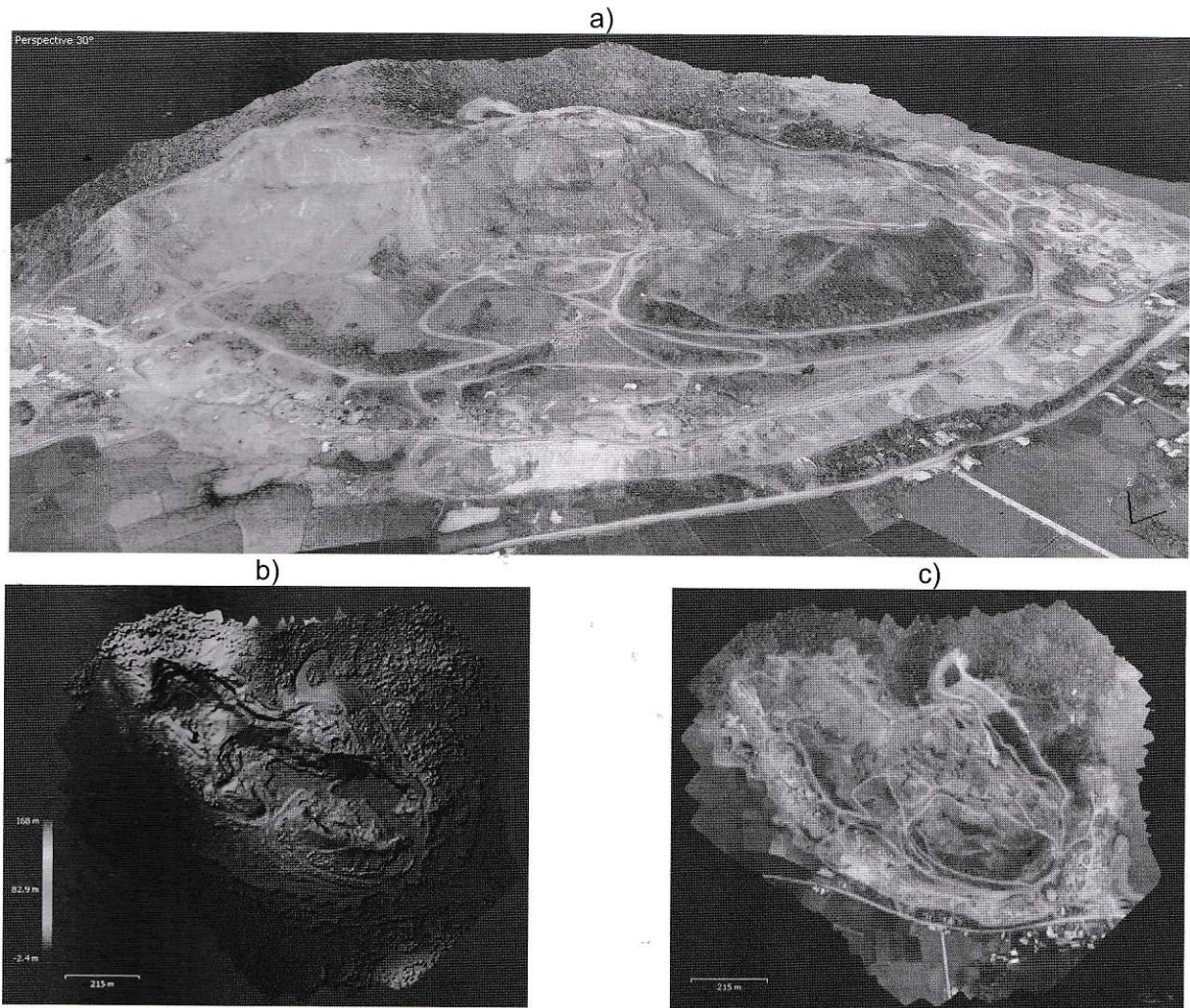
Điểm	Sai số		
	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)
GCP1	-2.8	-1.5	1.2
GCP2	-1.1	-0.4	-0.5
GCP3	2.4	0.0	-2.4
GCP4	1.5	2.2	-1.6
GCP5	-2.8	1.0	0.4
GCP6	1.1	-2.3	-0.4
GCP7	0.8	-0.9	3.8
GCP8	0.0	0.7	0.0
GCP9	0.0	0.0	-0.1
GCP10	0.0	0.0	0.0
RMSE	1.3	0.9	1.0

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

Điểm	Sai số		
	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)
GCP11	1.3	-0.1	-2.6
GCP12	0.8	2.3	4.0
GCP13	-0.4	0.6	-3.4
GCP14	-0.1	-0.1	-1.9
GCP15	-0.6	-0.7	1.8
GCP16	-0.5	0.4	-3.2
RMSE	0.6	0.7	2.8

Từ kết quả trên Bảng 3 và Bảng 4 cho thấy sai số trung bình các thành phần X, Y, Z của các điểm nắn ảnh tương ứng là 1,3 cm, 0,9 cm và 1,0 cm. Trong khi đó, sai số trung bình các thành phần X, Y, Z của các điểm kiểm tra tương ứng là 0,6 cm, 0,7 cm và 2,8 cm. Từ kết quả đánh giá cho thấy, mô hình hoàn toàn có thể sử dụng trong công tác tính trữ lượng mỏ.

Việc xử lý ảnh bay chụp UAV và thành lập các mô hình được thực hiện trên phần mềm Agisoft Metashape Professional 1.5.4. Một số sản phẩm thành lập từ ảnh bay chụp UAV như hình H.6.



H.6. Một số sản phẩm từ ảnh bay chụp UAV: a - Mô hình 3D; b - Mô hình số địa hình (DSM); c - Ảnh trực giao

5. So sánh kết quả tính trữ lượng từ các mô hình DEM

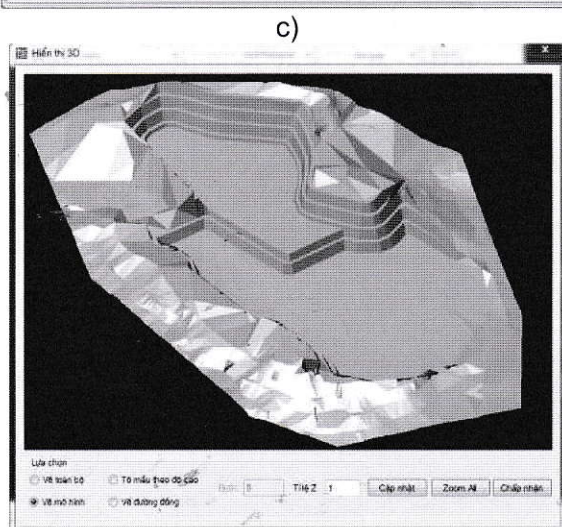
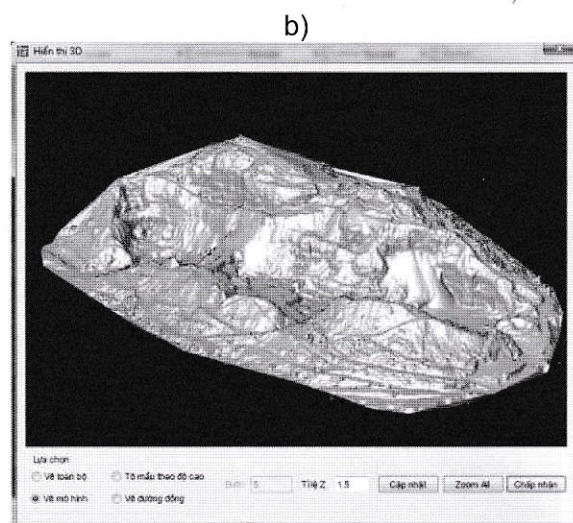
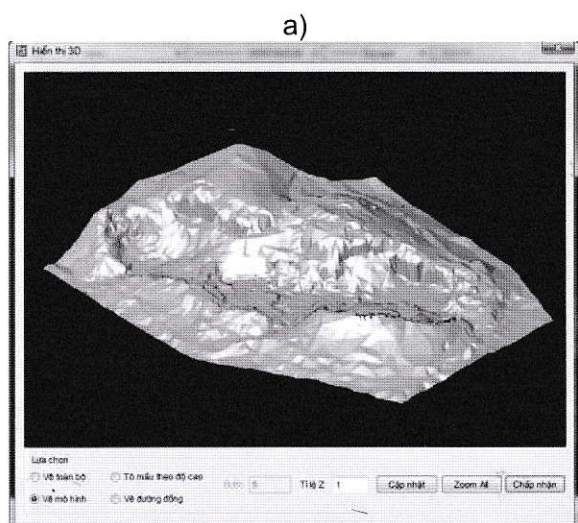
Trong ranh giới tính trữ lượng khai thác mỏ, địa hình thực tế mỏ đang khai thác, do vậy hầu như không có lớp phủ bề mặt. Do vậy, trong ranh giới nghiên cứu mô hình số bề mặt (DSM) cũng chính là mô hình số độ cao của mỏ (DEM) do vậy có thể sử dụng mô hình này để tính trữ lượng.

Trữ lượng được tính theo ranh giới như hình 7d, bề mặt hiện trạng của mỏ được lấy theo các mô hình DEM đã thành lập được, ranh giới khai thác dưới được lấy theo thiết kế kết thúc khai thác của mỏ đã được phê duyệt. Tính toán trữ lượng được thực hiện theo phương pháp mặt cắt đứng song song, khoảng cách giữa các mặt cắt tính 10 m và công tác này được thực hiện trên phần mềm Topo-HSmo.

Trữ lượng mỏ tính theo địa hình trên mô hình 3D UAV: 11 728 888.46 m³. Trữ lượng mỏ tính theo địa hình trên mô hình 3D Toàn đạc: 11 703

267.25 m³. Chênh lệch trữ lượng mỏ giữa hai phương pháp: 25621.21 m³; Ước tính lệch 0,22 % tổng trữ lượng theo ranh giới tính toán.

Trữ lượng của mỏ tính toán được khoảng trên 11 triệu m³, theo qui phạm hiện hành 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 [4]. Trên thực tế thì sai số tính trữ lượng luôn tồn tại mặc dù sử dụng cùng phương pháp tính toán trữ lượng, do vậy sự sai lệch trữ lượng tính toán giữa hai phương pháp tính toán là không thể tránh khỏi. Theo kết quả tính toán sự khác biệt về trữ lượng tính toán từ DEM của hai phương pháp là 25621,21 m³, trữ lượng tính từ 3D UAV lớn hơn trữ lượng tính từ 3D toàn đạc. Trong khi ở đơn vị m³ sự khác biệt là con số lớn nhưng khi tính phần trăm so với tổng trữ lượng, nó chỉ chiếm 0,22 %. Nếu qui chuyển về sự khác biệt độ cao giữa hai bề mặt đo bằng UAV và bề mặt đo bằng toàn đạc điện tử được tính theo công thức (10) sẽ là 3,7 cm.



H.7. Mô hình số độ cao và ranh giới tính trữ lượng: a - DEM lập từ số liệu đo toàn đạc; b - DEM lập từ dữ liệu UAV; c - DEM địa hình thiết kế kết thúc khai thác; d - Ranh giới tính trữ lượng

8. Kết luận

Từ kết quả thực nghiệm tính toán trữ lượng cho mỏ đá vật liệu xây dựng Tuf-Andezit trên mô hình DEM được thành lập từ dữ liệu UAV và từ số liệu đo bằng máy toàn đạc điện tử cho thấy rằng:

➤ 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 toàn đạc điện tử là 0,22 %. Điều đó khẳng định rằng: công nghệ UAV đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đo tính kiểm tra trữ lượng khoáng sản mỏ lộ thiên theo Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc địa mỏ.

➤ So với các phương pháp truyền thống, công nghệ UAV có nhiều ưu điểm nổi trội như: tổ chức ngoại nghiệp đơn giản, tự động hoá quá trình tính toán và hiển thị kết quả; giảm thời gian, công sức và an toàn lao động đặc biệt đối với khu vực địa hình phức tạp. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Tiến Diệu, Nguyễn Cẩm Vân, Hoàng

Mạnh Hùng, Đồng Bích Phương, Nhữ Việt Hà, Trần Trung Anh, Nguyễn Quang Minh (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.

2. Nguyễn Quốc Long, Cao Xuân Cường (2019). Ứng dụng máy bay không người lái (UAV) để xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ mô phỏng khai thác vật liệu xây dựng. Tạp chí Công nghiệp mỏ, 1-2019, 9.

3. Nguyễn Xuân Thụy, Phạm Công Khải (2002). Hình học mỏ. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội.

4. Viện tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (2015). Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc Địa Mỏ. Hà Nội.

5. Võ Chí Mỹ, Robert Duda (2014). Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy bay không người lái (UAV) trong công tác trắc địa mỏ và giám sát môi trường mỏ. Vũng Tàu.

6. P. Barry, R. Coakley (2013). Accuracy of UAV photogrammetry compared with network RTK GPS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, XL-1 W, 27-31.

7. Dieu Tien Bui, Nguyen Quoc Long, Xuan-Nam Bui, Viet-Nghia Nguyen, Chung Van Pham, Canh Van Le, Phuong-Thao Thi Ngo, Dung Tien Bui, Bjørn Kristoffersen (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. *International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources*, 17-33.

8. Chris Cryderman, S. Bill Mah, Aaron Shuffletoski (2014). Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations. *GEOMATICA*, 68 (4), 309-317.

9. S. Lee, Y. Choi (2015). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone). *Tunnel & Underground Space*, 25, 462-469.

10. S. Lee, Y. Choi (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.

11. Sungjae Lee, Yosoon Choi (2016). Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 19 (4), 197-204.

12. Nguyen Quoc Long, Michał M Buczek, Sylwia A Szlapińska, Bui Xuan Nam, Nguyen Viet Nghia, Cao Xuan Cuong (2018). Accuracy assessment of mine walls' surface models derived from terrestrial laser scanning. *International Journal of Coal Science & Technology*, 5 (3), 328-338.

13. Nguyen Quoc Long, Bui Xuan Nam, Cao Xuan Cuong, Le Van Canh (2019). An approach of mapping quarries in Vietnam using low-cost Unmanned Aerial Vehicles. *International Science Journal of Sustainable Development of Mountain Territories*, 2.

14. Nguyen Viet Nghia, Nguyen Quoc Long, Nguyen Thi Cuc (2019). Applied Terrestrial Laser Scanning for coal mine high definition mapping.

15. Pham Cong Khai, Nguyen Quoc Long (2019). Accuracy assessment of the single CORS technology for establishing the large scale cadastral map.

Từ khóa: thiết bị bay không người lái, trữ lượng khoáng sản, mỏ đá lộ thiên

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả của việc áp dụng phương pháp dựa trên UAV chi phí thấp trong việc tạo mô hình độ cao số (DEM), lần lượt được sử dụng để tính toán dự trữ của mỏ. Trong nghiên cứu này, thiết bị DJI Phantom 4 đã được sử dụng để ghi lại hình ảnh trên mỏ đá Tuf-Andezit ở Tri Tôn, tỉnh An Giang. Các hình ảnh thu được được sử dụng để xây dựng DEM. Để đánh giá độ chính xác của DEM kết quả, một DEM khác được tạo ra từ dữ liệu đo lường bằng TS09 Leica đã được sử dụng để so sánh với DEM tạo ra UAV. Sự khác biệt giữa hai mô hình là trung bình 3,7 cm và 0,22% trong dự trữ tính toán. Về thời gian đo, phải mất 18 giờ với hai nhóm khảo sát sử dụng tổng số trạm TS09 Leica so với 5 giờ theo phương pháp UAV. Những kết quả này đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp UAV trong việc đo lường và tính toán trữ lượng của các mỏ lộ thiên.

The ability to use low-cost unmanned aerial vehicles (UAV) to measure inventory of open-cast mineral reserves

SUMMARY

This paper presents the result of applying the low cost UAV based method in generating Digital elevation model (DEM) which in turn are used to calculate the reserve of mine. In this study, a DJI Phantom 4 professional was employed to capture images over a Tuf-Andezit quarry in Tri Tôn, An Giang province. The acquired images are used to build DEM. In order to evaluate the accuracy of the resulting DEM, another DEM generated from the measurement data by a TS09 Leica was used to compare with the UAV generated DEM. The difference between two models was 3.7 cm in average and 0.22% in the calculating reserve. In term of measurement time, it took 18 hours with two groups of surveyors using TS09 Leica total stations compared to 5 hours by the UAV method. These results proved the effectiveness of the UAV method in measurement and calculating the reserve of open-pit mines.

Ngày nhận bài: 12/07/2019

Ngày gửi phản biện: 18/09/2019

Ngày nhận phản biện: 15/02/2019

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/04/2020