

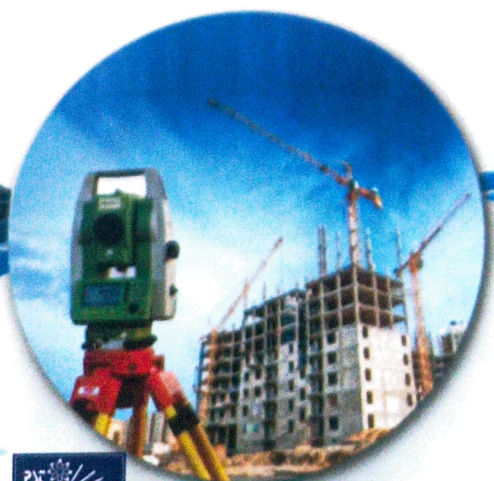
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI
BỘ MÔN TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH



ENGINEERING SURVEYING
FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT - ESSD 2023

HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ESSD 2023)

Engineering Surveying for Sustainable Development - ESSD 2023



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Nghiên cứu khả năng sử dụng Lidar phân khúc thấp AA450 trong khảo sát công trình giao thông hiện hữu	110
<i>Nguyễn Việt Hà, Vũ Ngọc Quang, Đồng Văn Huyền</i>	
Ứng dụng đồng bộ công nghệ UAV, xử lý ảnh trong kiểm soát chất lượng và an toàn nổ mìn tại mỏ đá vôi Hồng Sơn, tỉnh Hà Nam	120
<i>Phạm Văn Việt, Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Hòa, Trần Đình Bảo, Lê Thị Thu Hoa</i>	
Nghiên cứu kết hợp công nghệ GNSS và 3D Laser Scan quan trắc chuyển vị đề chấn sóng	130
<i>Trần Ngọc Đông, Nguyễn Văn Nghĩa, Nguyễn Văn Hùng</i>	
Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp phân tích độ ổn định lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình	141
<i>Trần Thùy Linh</i>	
Xây dựng lưới tam giác thủy công trên cơ sở kết hợp tính chuyển tọa độ công trình và bình sai tự do	147
<i>Trần Trung Anh, Nguyễn Quang Hà</i>	
Quy trình khảo sát địa hình mỏ lộ thiên bằng công nghệ UAV phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ: Thực nghiệm tại cụm mỏ đá thuộc Công ty cổ phần xi măng VICEM Hà Tiên	155
<i>Trần Trung Anh, Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Quốc Khánh, Phạm Văn Việt</i>	
Giải pháp Lidar di động cho khảo sát bề mặt đường: Nghiên cứu với Lidar tích hợp Au20 vận hành trên xe ô tô	166
<i>Vũ Ngọc Quang, Nguyễn Việt Hà, Phạm Thị Thanh Hòa</i>	
Ứng dụng GIS trong công tác giải phóng mặt bằng dự án tuyến đường cao tốc Vân Đồn - Móng Cái	176
<i>Vũ Thái Hà, Phạm Chinh Thảo, Khúc Thành Đông</i>	
Trắc địa công trình trong cách mạng số và cơ sở dữ liệu thông tin xây dựng	185
<i>Vũ Văn Thặng, Vũ Thái Hà</i>	
Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo biến động bề mặt không thấm khu vực Thành phố Hồ Chí Minh từ dữ liệu viễn thám và GIS	193
<i>Phạm Văn Tùng, Nguyễn Văn Trung, Vũ Xuân Cường, Lê Văn Phú</i>	
Đánh giá độ chính xác xử lý số liệu trạm CORS Việt Nam theo phương pháp PPP online sử dụng dịch vụ CSRS-PPP	203
<i>Nguyễn Đình Huy, Trần Đình Trọng, Lương Ngọc Dũng</i>	
Ứng dụng GNSS - RTK trong quan trắc chuyển dịch cầu dây văng ở Việt Nam và một số vấn đề trong xử lý số liệu quan trắc	213
<i>Nguyễn Thùy Linh, Lê Văn Hiến, Lê Minh Ngọc, Cù Văn Linh</i>	
Thực trạng và giải pháp hoàn thiện pháp luật về giá đất, cơ chế vận hành, khai thác cơ sở dữ liệu giá đất	223
<i>Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Thế Công, Trần Xuân Miên</i>	

Quy trình khảo sát địa hình mỏ lộ thiên bằng công nghệ UAV phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ: Thực nghiệm tại cụm mỏ đá thuộc Công ty cổ phần xi măng VICEM Hà Tiên

Trần Trung Anh^{1,2,*}, Nguyễn Anh Tuấn^{1,2,3}, Phạm Quốc Khánh¹, Phạm Văn Việt^{1,3}

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mỏ - Địa chất

³Nhóm nghiên cứu mạnh Những tiến bộ trong khai thác mỏ bền vững và có trách nhiệm (ISRM),
Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quy trình công nghệ máy bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicle) có định vị tâm chụp chính xác bằng GNSS-RTK khảo sát theo dạng địa hình bờ mỏ lộ thiên có độ chênh cao địa hình lớn. Quy trình công nghệ UAV này giới thiệu chi tiết từ các công đoạn ngoài hiện trường đến xử lý nội nghiệp đảm bảo độ phân giải địa hình bề mặt thành lập và cập nhật bản đồ địa hình có tỷ lệ 1/1000 với đường đồng mức 1 m. Kết quả quy trình công nghệ UAV kết hợp định vị tâm chụp GNSS-RTK được xây dựng và áp dụng cho cụm mỏ đá Núi Côm và Núi Trầu khai thác xuống sâu thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên. Bản đồ có tỷ lệ 1/1000 đáp ứng được yêu cầu độ chính xác khi kiểm tra tại 22 điểm đo thuộc mỏ Núi Côm, 29 điểm đo thuộc mỏ Núi Trầu, độ chênh lệch độ cao giữa đo trực tiếp bằng công nghệ GNSS-RTK và đo bằng ảnh UAV từ 0-0,14 m; độ lệch trung bình đạt cỡ 0,02 m đối với mỏ Núi Côm, 0,03 m đối với mỏ Núi Trầu. Trên bản đồ mô hình độ cao DTM (Digital Terrain Model), các mô hình độ dốc địa hình và mặt cắt chi tiết tương ứng sẽ được tự động thành lập với độ chính xác cao. Độ chính xác của địa hình hiện trạng mỏ, độ dốc sườn tầng và bờ mỏ được xây dựng trong các chu kỳ khảo sát khác nhau của mỏ (3 tháng) đáp ứng yêu cầu báo cáo khối lượng mỏ theo quý, đánh giá dịch động và ổn định bờ mỏ theo thời gian. Với mạng lưới mốc định vị bố trí trên bờ mỏ được xây dựng sẽ giúp cụm mỏ đá Núi Côm và Núi Trầu đánh giá tác động của nước mặt, rung và chấn động nổ mìn tác động làm biến dạng và mất ổn định bờ mỏ trong các chu kỳ đo vẽ cập bản đồ địa hình lần sau (từ 3-6 tháng 1 lần).

Từ khóa: UAV, đám mây điểm, mô hình số địa hình, mỏ đá lộ thiên, ổn định bờ mỏ.

1. Đặt vấn đề

Việc ứng dụng công nghệ máy bay không người lái UAV vào đo vẽ bản đồ địa hình mỏ có độ chênh cao lớn, có tính chất đất đá phức tạp về địa hình mỏ đã được thực hiện phổ biến trong 5 năm gần đây ở Việt Nam và trên thế giới. Các công trình và kết quả khảo sát và thành lập bản đồ địa hình mỏ lộ thiên được công bố trên nhiều công trình của (Lee và Choi, 2015 và 2016; Nguyen và nnk., 2020, 2021; Nguyen, 2021; Bui và nnk., 2017; Xiang và nnk., 2018) và (Nguyễn Quốc Long và nnk., 2022). Các nghiên cứu và kết quả đã khẳng định công nghệ UAV đảm bảo độ chính xác của bản đồ địa hình tỷ lệ lớn (Nguyễn, 2021). Ở Việt Nam, công nghệ UAV hiện đã được cho phép và sử dụng phổ biến trong xây dựng, cập nhật cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia với tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000 và thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500, 1:1.000 do Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành (Thông tư số 07/2021/TT-BTNMT). Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu trên chỉ sử dụng công nghệ UAV không có định vị tâm chụp chính xác GNSS-RTK và quy trình đưa ra cũng là quy trình tổng quát chung để thành lập bản đồ tương tự Thông tư số 07/2021/TT-BTNMT. Trong nghiên cứu của Lê Văn Canh (Lê Văn Canh và nnk., 2022) thiết bị UAV sử dụng để hỗ trợ một phần xây dựng mô hình 3D mặt bằng sản công nghiệp mỏ cùng với dữ liệu quét laser mặt đất, đây là phạm vi nhỏ.

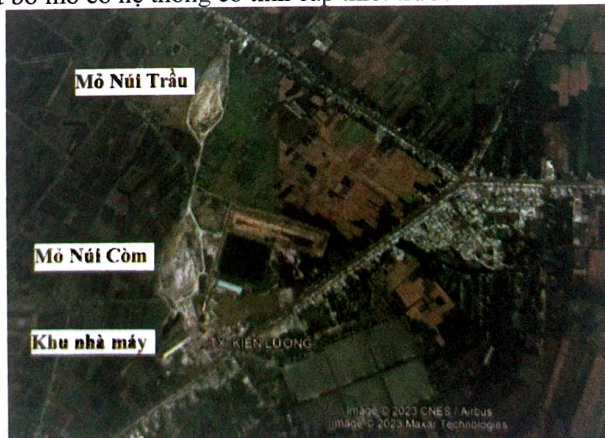
Thực tế, các mỏ khai thác lộ thiên lớn ở nước ta đều có dạng “trên sườn núi, dưới moong sâu”, chiều sâu khai thác lớn, chiều cao bờ mỏ lớn.

* Tác giả liên hệ
Email: trantrunganh@hutm.edu.vn

Địa hình mô lộ thiên phức tạp thay đổi do xây dựng mỏ, khai thác, đặc biệt chịu tác động của các hoạt động khai thác thường xuyên dẫn tới các biến dạng và dịch động thay đổi theo thời gian. Theo trình tự khai thác, chiều cao bờ mô ngày một tăng theo chiều sâu và biên giới trên mặt càng mở rộng. Điều kiện dịch động và ổn định bờ mô chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố tự nhiên cơ bản: điều kiện địa chất khu vực phức tạp, các đứt gãy kiến tạo làm xuất hiện nhiều mặt yếu và tạo điều kiện cho sự thâm nhập, phá hủy của nước ngầm; điều kiện địa chất thủy văn không thuận lợi (nhiều nước ngầm và nước mặt) (Đàm Công Khoa, Đỗ Văn Triều, 2021).

Các thông số hình học bờ mô thay đổi liên tục và không đồng nhất do các điều kiện địa chất mô phức tạp, tác động của hoạt động khai thác mỏ, đồ thái và biến dạng địa hình do sụt lún và dịch động. Do đó, khi xây dựng bản đồ địa hình bằng công nghệ UAV, cần chú ý đến các điều kiện địa hình đặc thù của khu mỏ để đảm bảo độ chính xác và cập nhật của địa hình hiện trạng.

Cụm mỏ đá vôi cung cấp nguyên liệu cho nhà máy xi măng Núi Còm và Núi Trầu đã được Bộ Tài nguyên và Môi trường cấp phép theo Giấy phép số 2017/GP-BTNMT ngày 02 tháng 8 năm 2019 cho Công ty cổ phần xi măng Hà Tiên trên địa phận huyện Kiên Lương, tỉnh Kiên Giang. Hiện trạng, mỏ Núi Còm nằm về phía Bắc nhà máy xi măng Hà Tiên. Cao độ khai thác của mỏ Núi Còm từ mức mặt địa hình cote +2 m đến +4 m xuống mức cote -57 m, cao độ đáy mỏ được khảo sát xác định đến tháng 12 năm 2022. Mỏ Núi Trầu nằm về phía Bắc nhà máy xi măng Hà Tiên, nằm xa nhà máy hơn mỏ đá vôi Núi Còm. Mỏ khai thác từ mức mặt địa hình cote +0 m xuống mức cote -44 m, hiện là cao cao độ đáy mỏ. Hiện trạng được cập nhật tới tháng 12 năm 2022. Trên mỏ đã hình thành các tầng khai thác, có tuyến đường vận tải trực tiếp xuống đến mức khai thác cote -44 m. Núi Trầu có hiện trạng đáy mỏ -58 m và mỏ Núi Còm hiện trạng đáy mỏ -50 m, các bờ mô hiện có thông số hình học và địa chất khá phức tạp theo các hướng khác nhau và còn tiếp tục khai thác xuống sâu tới cote -75 m. Do đó, các trạng thái bờ mô khác nhau như trạng thái tĩnh và trạng thái động (có nước, chịu tác dụng rung và chấn động nổ mìn) là những yếu tố tự nhiên và kỹ thuật khai thác mỏ nêu trên ảnh hưởng rất lớn tới quyết định trong lựa chọn phương án đảm bảo và duy trì an toàn cho bờ mô khi tiếp tục khai thác xuống sâu và sau khai thác của các bờ mô. Đặc biệt là cụm gồm 2 mỏ và nhiều bờ mô đang có thiết bị khai thác và tiến hành khoan nổ mìn đồng thời có tác động tiêu cực đến ổn định và dịch động của bờ mô cũng như các công trình bảo vệ gần các bờ mô nên công đo vẽ, giám sát bờ mô có hệ thống có tính cấp thiết trước mắt và lâu dài.



Hình 1. Vị trí cụm 2 mỏ đá Núi Còm và Núi Trầu thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên, 2022

Trong phạm vi nghiên cứu này, bài báo giới thiệu quy trình công nghệ UAV kết hợp định vị tâm chụp GNSS-RTK để khảo sát địa hình cho cụm mỏ đá Núi Còm và Núi Trầu khai thác xuống sâu thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên nhằm đánh giá hiện trạng địa hình khai thác mỏ và phục vụ thiết kế mạng lưới quan trắc dịch động cho các bờ mô của cụm mỏ. Đề nghiên cứu đánh giá dịch động bờ mô, cần thu thập số liệu khảo sát địa hình, địa chất công trình, địa chất thủy văn và các thông số công nghệ khai thác của cụm mỏ. Cụ thể, đối với khảo sát địa hình, nhóm nghiên cứu ứng dụng công nghệ và thiết bị bay không người lái UAV có định vị tâm chụp bằng GNSS-RTK để thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn (1/1000 hoặc 1/500), xây dựng mô hình số địa hình, xây dựng mô hình độ dốc, tạo mặt cắt qua moong khai thác và bờ mô. Bên cạnh đó, nhóm nghiên cứu sử dụng 2 thiết bị hiện đại dùng để quan trắc rung.

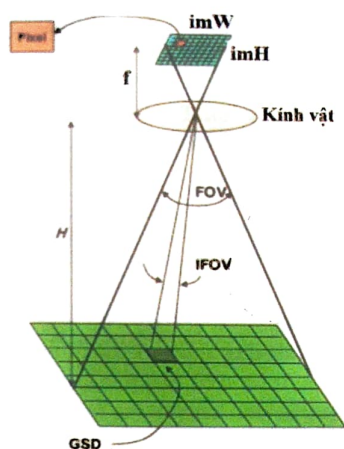
chấn động nổ mìn trên bờ mỏ khi các mỏ Núi Côm và mỏ Núi Trầu tiến hành nổ mìn trong hiện tại và trong thời gian tới (chu kỳ đo giám sát 3 tháng một lần).

Bản đồ địa hình và mô hình số địa hình DTM dưới dạng 2D và 3D cho phép xác định chính xác các điều kiện biên trạng thái của bờ mỏ trong điều kiện tĩnh và động, từ đó tiến hành phân tích đánh giá ổn định và biến dạng của bờ mỏ trong hiện trạng và trong thời gian tới đối với cụm mỏ thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở thiết kế bay chụp bằng UAV trên mỏ lộ thiên

Cơ sở của tính toán các thông số thiết kế bay chụp trên khu mỏ phải dựa chính vào thông số kỹ thuật của máy bay chụp ảnh, mối quan hệ giữa chiều cao bay chụp và độ phân giải mặt đất trên cơ sở yêu cầu độ chính xác của bản đồ địa hình, yêu cầu độ chính xác của sản phẩm bay chụp sau xử lý. Mối quan hệ này được chỉ ra cơ bản ở Hình 2.



Trong đó các ký hiệu như sau: f là tiêu cự của máy chụp ảnh (mm); H là chiều cao bay chụp (m); Pixel là điểm ảnh trên bộ cảm của máy chụp ảnh số; GSD (Ground Sampling Distance) là độ phân giải mặt đất (cm); imW là số điểm ảnh theo chiều rộng của bộ cảm máy chụp ảnh số; imH là số điểm ảnh theo chiều cao của bộ cảm máy chụp ảnh số; FOV (Field of View) trường nhìn hoặc góc mở của máy chụp ảnh; IFOV (Instantaneous Field Of View) trường nhìn của 1 điểm ảnh.

Hình 2. Thông số chính của ảnh số trong công nghệ UAV

Trên cơ sở yêu cầu độ chính xác của sản phẩm là tỷ lệ bản đồ địa hình cần thành lập, khoảng cao đều của đường bình độ (Thông tư 07 của BTNMT, 2015) nhận được sai số trung phương mặt bằng và độ cao theo công thức 1.

$$\begin{cases} m_p \leq 0.01 \times M_{bd} \text{ (cm)} \\ m_h \leq \frac{1}{4} \times h \times 100 \text{ (cm)} \end{cases} \quad (1)$$

trong đó: M_{bd} là mẫu số tỷ lệ bản đồ địa hình cần thành lập;

h là khoảng cao đều của bản đồ địa hình cần thành lập (m);

m_p là sai số trung phương mặt bằng (cm);

m_h là sai số trung phương độ cao (cm).

Ước tính độ phân giải mặt đất theo công thức 2 (DroneDeploy, 2017; Trần Trung Anh, 2018).

$$GSD \leq \min \left\{ \frac{1}{k_p} \times m_p; \frac{1}{k_h} \times m_h \right\} \quad (2)$$

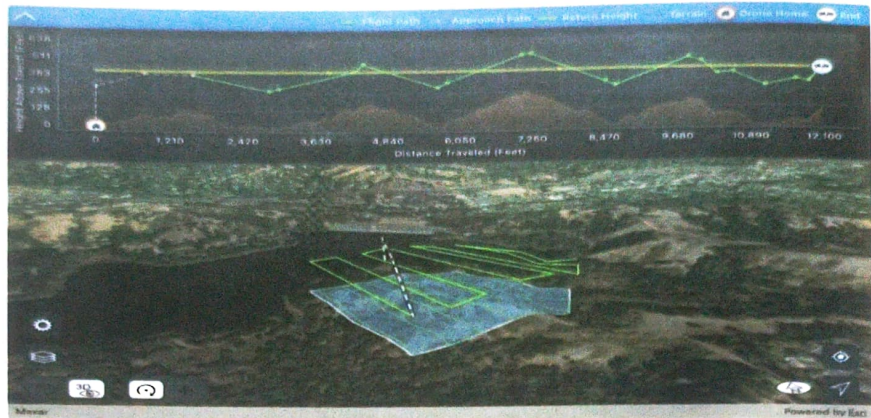
trong đó: $k_p = 1 \div 2$ là hệ số quan hệ độ chính xác mặt bằng và độ phân giải mặt đất;

$k_h = 1 \div 3$ là hệ số quan hệ độ chính xác độ cao và độ phân giải mặt đất;

Từ độ phân giải mặt đất tính toán chiều cao bay chụp theo công thức (3):

$$H = GSD \frac{f \times imW}{36 \times 100} \quad (3)$$

Một đặc điểm của khu mỏ lộ thiên là địa hình bị chia cắt bởi các tầng khai thác và đáy mỏ, do đó có độ chênh cao lớn. Do vậy, để đảm bảo tính đồng đều về độ phân giải mặt đất, đồng đều về độ chính xác theo yêu cầu, cần phải thiết kế bay chụp theo dáng địa hình. Trên cơ sở bản đồ địa hình ở các giai đoạn khai thác, thành lập mô hình số địa hình tham khảo làm cơ sở để thiết kế bay chụp cho thời điểm cập nhật, lưu ý phải tính chuyển mô hình số này về hệ quy chiếu quốc tế. Từ đó độ cao bay chụp tính theo công thức (3) là độ cao bay chụp so với bề mặt mô hình số tham khảo, được chỉ ra ở Hình 3.



Hình 3. Thiết kế bay chụp với sự tham gia của mô hình số địa hình (ảnh Esri)

Bay chụp theo dáng địa hình có sự tham khảo mô hình số địa hình có thể bay theo mặt cắt đẳng cao hoặc theo hướng bay tối ưu, độ cao bay chụp sẽ thay đổi bám theo địa hình khu bay. Các điểm chốt của tuyến bay (waypoints) có thể phát sinh tự động trong quá trình bay chụp thực tế trên cơ sở hỗ trợ của công nghệ định vị tâm chụp GNSS-RTK tại thời điểm chụp ảnh.

2.2. Quy trình kỹ thuật bay chụp UAV trên khu mỏ lộ thiên

Ứng dụng công nghệ UAV khảo sát địa hình trên khu mỏ lộ thiên phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ cần nhiều công đoạn cả ở hiện trường và xử lý số liệu trong phòng. Các công đoạn này cần phối hợp, hỗ trợ cho nhau như: sử dụng công nghệ định vị GNSS-RTK vừa dẫn đường bay vừa hỗ trợ định vị tâm chụp ảnh chính xác cho quá trình bay chụp, đo các điểm khống chế ảnh kiểm tra trên mặt đất lại kiêm nhiệm vụ đo các điểm quan trắc chuyển dịch trên mỏ (với yêu cầu độ chính xác đến cm); song song với bay chụp ảnh UAV tại thực địa có thể tiến hành đo chấn động nỏ mìn để có các thông số kỹ thuật đưa vào phân tích ổn định bờ mỏ; cùng với việc tận dụng các tài liệu khảo sát địa hình, địa chất đã có ở giai đoạn trước. Do vậy, cần thiết phải xây dựng một quy trình kỹ thuật để thống nhất phối hợp giữa các công đoạn, quy trình này được trình bày với các bước chính ở Hình 4.

Trong quy trình ở Hình 4 một số bước chính như sau:

Bước 1: Công tác chuẩn bị, lập phương án kỹ thuật bay chụp UAV (thiết bị bay chụp, phân khu bay, tính toán các thông số thiết kế bay chụp), các yêu cầu đánh giá ổn định bờ mỏ,...

Tài liệu khảo sát địa hình khu mỏ tham khảo: là những tài liệu khảo sát địa hình ở các giai đoạn trước theo báo cáo định kỳ như bản đồ địa hình.

Mô hình số địa hình (tham khảo): từ bản đồ địa hình giai đoạn trước, tiến hành tính chuyển sang hệ quốc tế và xây dựng mô hình số địa hình để trợ giúp cho quá trình thiết kế và bay chụp theo dáng địa hình.

Tỷ lệ bản đồ địa hình, khoảng cao đều: đây là yêu cầu sản phẩm, cung cấp yêu cầu độ chính xác theo quy phạm về mặt bằng và độ cao.

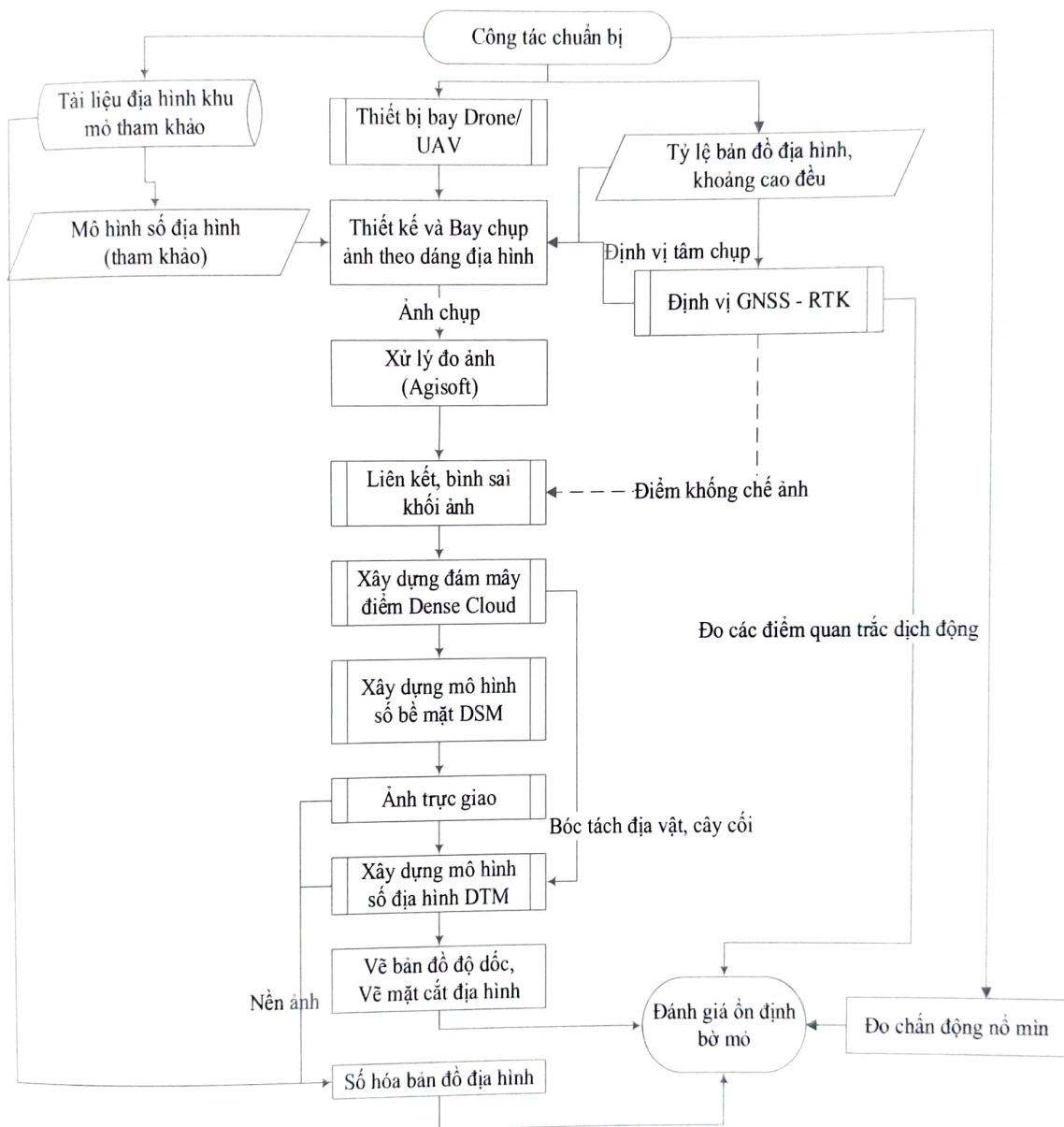
Bước 2: Thiết kế và bay chụp ảnh UAV theo dáng địa hình: độ cao bay chụp thay đổi theo bề mặt địa hình trên cơ sở mô hình số địa hình tham khảo.

Bước 3: Định vị GNSS-RTK: công nghệ này rất quan trọng vì là kỹ thuật đồng bộ về hệ quy chiếu định vị cho các công đoạn, kết nối giữa công nghệ UAV và điểm quan trắc dịch động.

Bước 4: Các bước xử lý ảnh UAV trong phòng gồm: liên kết bình sai khối ảnh, xây dựng đám mây điểm, xây dựng bề mặt mô hình số bề mặt DSM phục vụ thành lập ảnh trực giao; Từ đám mây điểm của khu đo tiến hành bóc tách địa vật (nhà cửa, cây cối, máy móc trên công trường,...) để xây dựng mô hình số địa hình DTM; Từ DTM có thể nội suy tự động đường bình độ, xây dựng mô hình độ dốc, mặt cắt địa hình,... Từ nền ảnh và DTM tiến hành số hóa các địa vật trên khu mỏ, ghi chú các điểm độ cao địa hình để biên tập thành quả bản đồ địa hình.

Bước 5: Đo chấn động nỏ mìn, các tài liệu kết quả khảo sát địa hình cung cấp cho đánh giá ổn định bờ mỏ, lập báo cáo kết quả.

Các bước cụ thể được thể hiện trong hình 4 phù hợp với điều kiện khu mỏ lộ thiên nói chung và đặc thù của cụm mỏ đá thuộc công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên.



Hình 4. Sơ đồ kỹ thuật ứng dụng công nghệ UAV khảo sát địa hình hỗ trợ đánh giá ổn định bờ mỏ

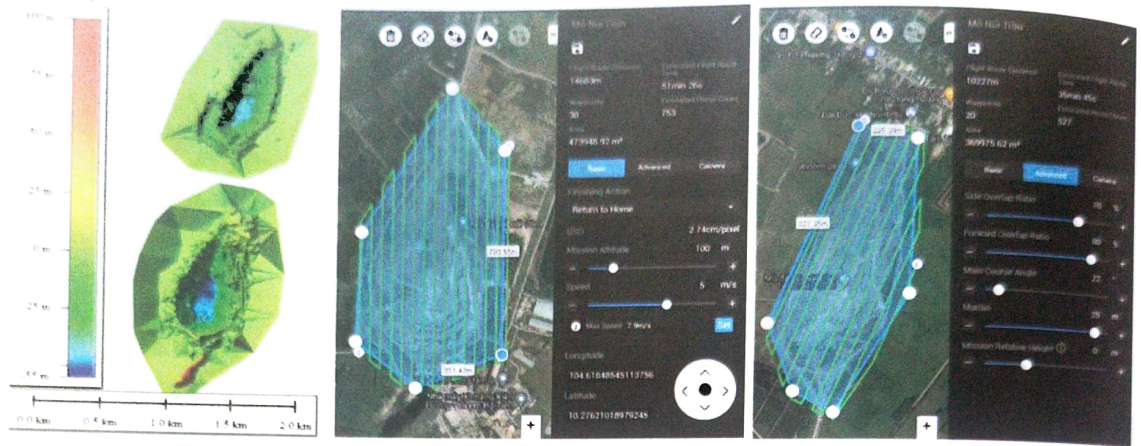
3. Kết quả và thảo luận

Vùng thực nghiệm ứng dụng công nghệ UAV khảo sát địa hình là cụm mỏ đá (mỏ Núi Còm và Núi Trầu) thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên. Tư liệu bản đồ địa hình tỷ lệ 1/1000 (thuộc hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trực 105°00', múi chiều 6°), khoảng cao đều đường bình độ 1 m (hệ độ cao quốc gia). Từ tư liệu tham khảo, tính chuyển sang hệ quốc tế và xây dựng mô hình số địa hình làm cơ sở thiết kế bay chụp UAV theo dáng địa hình khu mỏ.

Thay $M_{bd} = 1000$, $h = 1$ m, lấy $k_p = 2$, $k_h = 3$ vào các công thức (1, 2) tính được độ phân giải chụp ảnh:

$GSD \leq \min\{5 \text{ cm}; 8,3 \text{ cm}\}$ để dự phòng độ chính xác và đảm bảo yêu cầu cung cấp tư liệu khảo sát

chính xác cho đánh giá ổn định bờ mố, cùng với đặc thù địa hình của khu mố nên thiết kế $GSD \leq 5 \text{ cm}$ là đảm bảo yêu cầu.



Hình 5. Mô hình số địa hình cụm mố Núi Còm, Núi Trầu và các thông số thiết kế bay chụp

Cùng với đặc điểm của phương tiện bay UAV trong thực nghiệm là DJI Phantom 4 RTK (ca bay 30 phút, tiêu cự 24 mm, màng nhận ảnh $imW = 5432$, $imH = 3648$), thời tiết khí tượng có thể lựa chọn độ phân giải chụp ảnh khoảng 2,74 cm, từ đó ước tính được độ cao bay chụp $H = 100 \text{ m}$ theo công thức (3). Thiết kế độ phủ dọc 80 %, độ phủ ngang 70 % và khoảng vùng bay chụp, sẽ tính toán các thông số của khu bay (Hình 5). Sau khi đã thiết kế phân khu bay chụp, tiến hành bay chụp trên cụm mố dưới sự hỗ trợ của công nghệ định vị tâm chụp bằng GNSS-RTK.



Hình 6. Công tác bay chụp tại thực địa

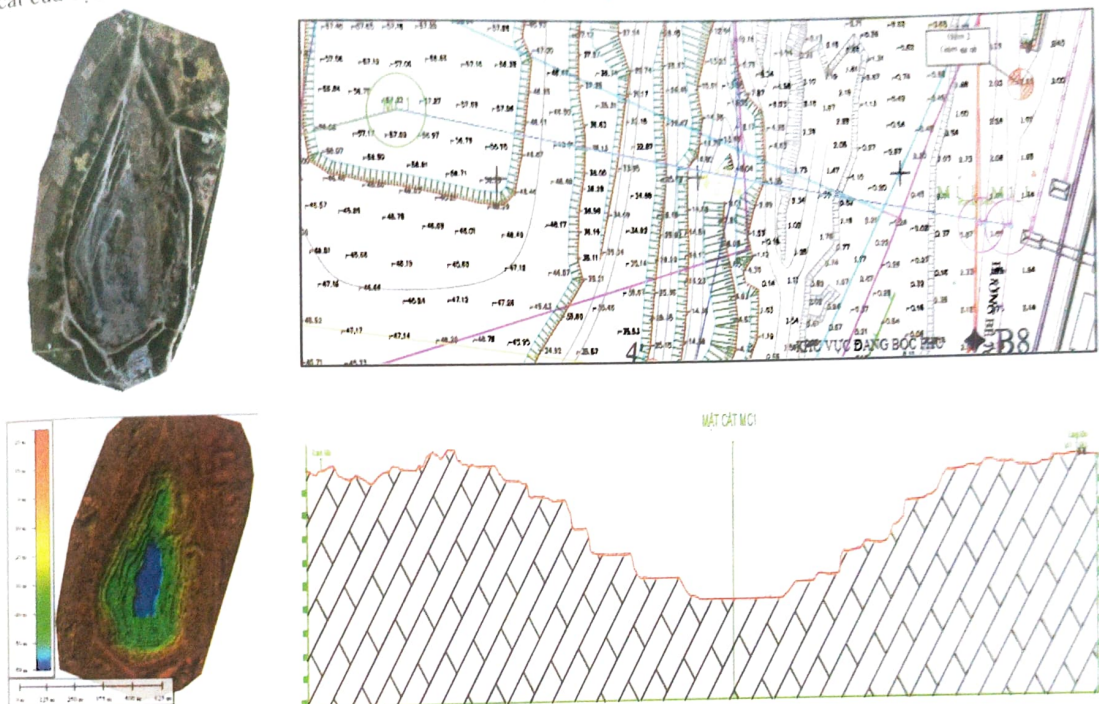
Song song với công tác bay chụp, tiến hành đo GNSS-RTK trực tiếp tại các điểm khống chế ảnh (để kiểm tra) và các điểm quan trắc chuyển dịch trên vị trí các mặt cắt cần nghiên cứu chuyển dịch. Công nghệ đo GNSS-RTK bằng máy đo của South Galaxy G3 có độ chính xác tốt (mặt bằng đạt $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$, độ cao đạt $15 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$).



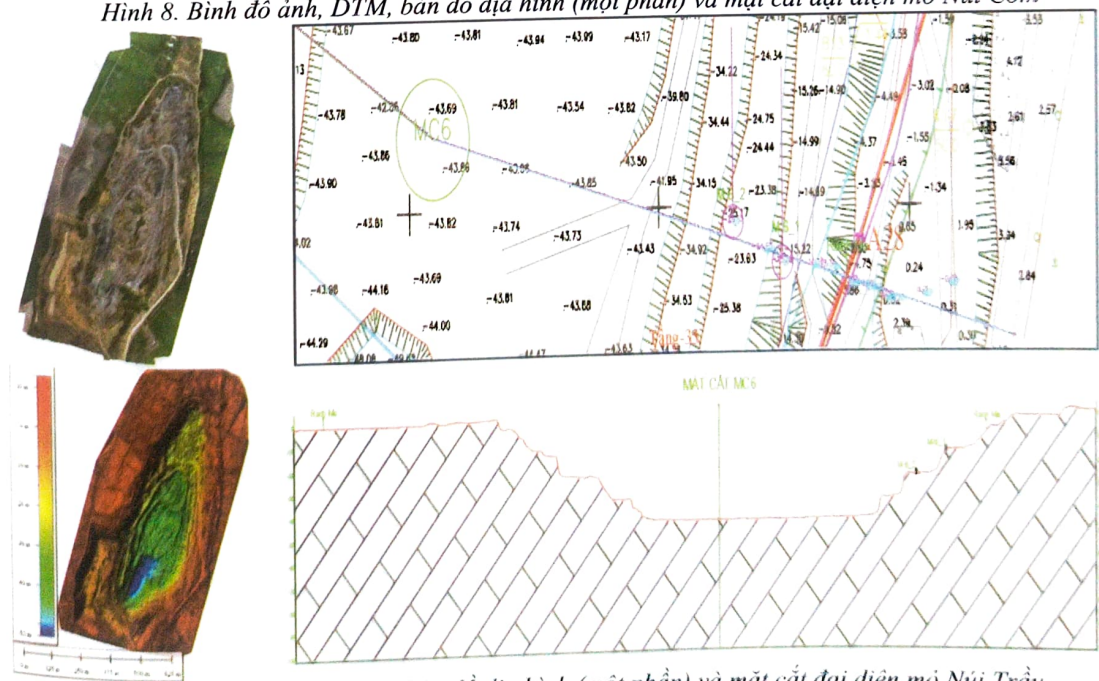
Hình 7. Công tác đo GNSS-RTK tại thực địa

Sau khi thu thập số liệu tại thực địa, công tác xử lý trong phòng được thực hiện trên máy tính có cấu

hình cao bằng phần mềm Agisoft. Các sản phẩm gồm bình đồ ảnh, mô hình số địa hình, bản đồ số và mặt cắt của cụm mỏ Núi Trầu và Núi Còm được trình bày trong Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Bình đồ ảnh, DTM, bản đồ địa hình (một phần) và mặt cắt đại diện mỏ Núi Còm



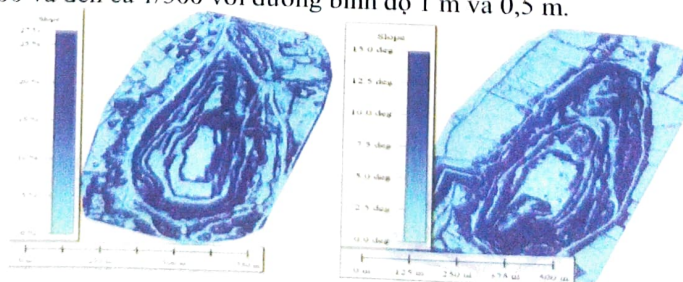
Hình 9. Bình đồ ảnh, DTM, bản đồ địa hình (một phần) và mặt cắt đại diện mỏ Núi Trầu

Từ kết quả đo GNSS-RTK tại thực địa, triển lên bình đồ ảnh, đám mây điểm để kiểm tra độ chính xác, số liệu chênh lệch về độ cao đều nằm trong giới hạn cho phép, được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Chênh lệch độ cao tại các điểm kiểm tra

Chênh lệch độ cao kiểm tra tại mỏ Núi Còm					Chênh lệch độ cao kiểm tra tại mỏ Núi Trầu				
Điểm	$H_{\text{rtk}}(\text{m})$	$H_{\text{uav}}(\text{m})$	$\Delta H(\text{m})$	Ghi chú	Điểm	$H_{\text{rtk}}(\text{m})$	$H_{\text{uav}}(\text{m})$	$\Delta H(\text{m})$	Ghi chú
NC1	2,02	2,01	0,01	Núi Còm	NT1	2,32	2,28	0,04	Núi Trầu
NC2	2,11	2,09	0,02		NT2	2,20	2,20	0,00	Min
NC3	2,39	2,40	0,00	Min	NT3	2,12	2,12	0,00	
NC4	1,74	1,75	-0,01		NT4	-6,75	-6,72	-0,03	
NC5	2,06	2,06	0,00		NT5	-6,75	-6,72	-0,03	
NC6	-26,38	-26,37	-0,01		NT6	-25,64	-25,61	-0,03	
NC7	-19,51	-19,52	0,00		NT7	0,31	0,32	-0,01	
NC8	1,64	1,67	-0,03		NT8	0,06	0,05	0,01	
NC9	2,28	2,30	-0,01		NT9	0,21	0,21	0,00	
NC10	-7,30	-7,20	-0,10	Max	NT10	-4,45	-4,35	-0,11	
NC11	-6,91	-6,87	-0,04		NT11	-0,08	-0,02	-0,06	
NC12	2,09	2,08	0,01		NT12	-13,34	-13,34	0,00	
NC13	-9,39	-9,40	0,01		NT13	-15,23	-15,24	0,01	
NC14	-9,94	-9,91	-0,03		NT14	-24,63	-24,59	-0,04	
NC15	2,17	2,16	0,01		NT15	-25,13	-25,15	0,02	
NC16	2,20	2,21	-0,01		NT16	1,46	1,44	0,02	
NC17	1,35	1,36	-0,01		NT17	2,17	2,20	-0,03	
NC18	9,86	9,88	-0,02		NT18	2,47	2,50	-0,03	
NC19	3,24	3,28	-0,04		NT19	2,71	2,75	-0,04	
NC20	1,43	1,48	-0,05		NT20	2,86	2,85	0,00	
NC21	2,26	2,26	0,00		NT21	3,22	3,26	-0,04	
NC22	2,27	2,26	0,01		NT22	1,03	1,02	0,01	
					NT23	-4,27	-4,13	-0,14	Max
					NT24	-5,11	-5,10	-0,01	
					NT25	-15,28	-15,21	-0,08	
					NT26	-15,37	-15,33	-0,04	
					NT27	-15,71	-15,70	-0,01	
					NT28	1,59	1,59	0,00	
					NT29	1,19	1,18	0,01	
Độ lệch trung bình			0,02		Độ lệch trung bình			0,03	

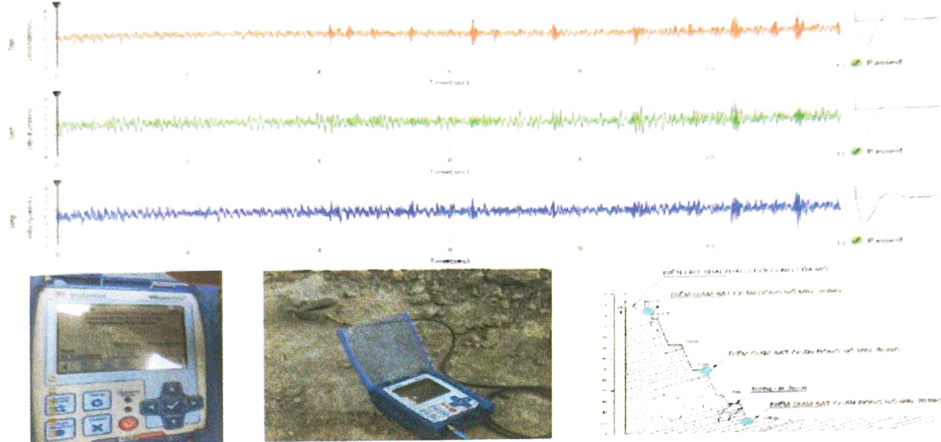
Qua bảng kiểm tra kết quả trên, nhận thấy sản phẩm của công nghệ UAV đáp ứng được yêu cầu độ chính xác khi kiểm tra tại 22 điểm đo thuộc mỏ Núi Còm, 29 điểm đo thuộc mỏ Núi Trầu độ chênh lệch độ cao giữa đo trực tiếp và đo bằng ảnh UAV từ 0,00 m đến 0,14 m; độ lệch trung bình đạt cỡ 0,02 m đối với mỏ Núi Còm, 0,03 m đối với mỏ Núi Trầu. Với kết quả kiểm tra độ chính xác này, có thể đạt độ đo vẽ bản đồ địa hình 1/1000 và đến cả 1/500 với đường bình độ 1 m và 0,5 m.



Hình 10. Mô hình độ dốc của bờ mỏ núi Còm và núi Trầu

Trên Hình 10, giới thiệu mô hình độ dốc của ở mỏ Núi Còm và Núi Trầu. Trên mô hình, có thể thu thập dữ liệu về độ dốc của sườn tăng trên từng mức cũng như độ dốc thực tế trên bờ mỏ. Đó là dữ liệu

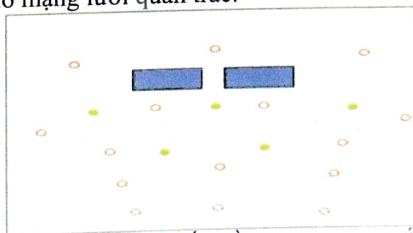
quan trọng để có thể thiết kế mạng lưới các điểm quan trắc dịch động và đánh giá trạng thái ổn định của bờ mố trong quá trình khai thác và kết thúc khai thác.



Hình 11. Thông số dao động nền đất do chấn động nổ mìn bằng thiết bị Blastmate III và vị trí các điểm khảo sát chấn động trên bờ mố

Đối với khu vực đặc trưng bờ mố Núi Còm và Núi Trầu, được khảo sát trên các mặt cắt tuyến mặt cắt như trên Hình 8, 9 và 10 với các thông số chi tiết các hệ thống khe nứt và thể nằm của khối đá, thông số dao động nền đất do chấn động nổ mìn. Cùng với quá trình bay chụp UAV, thì nhóm tác giả cũng tiến hành thu thập số liệu đo dịch động hiện trạng bờ mố trong điều kiện động, chịu tác động của chấn động nổ mìn trong quá trình khai thác, cung cấp cơ sở dữ liệu đánh giá ổn định bờ mố của cụm mỏ đá thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên (Hình 11). Đây là dữ liệu quan trọng để đánh giá ổn định bờ mố một cách khách quan và chính xác.

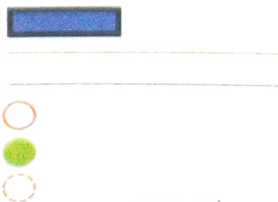
Trong trường hợp 2 bờ mố Núi Còm và Núi Trầu, các điểm đo cần lắp đặt trong 2 vùng thuộc 2 bờ mố trên từng vị trí bờ mố giáp công trình cần bảo vệ. Ngoài ra, mạng lưới đo cần được bổ sung thêm bằng cách lắp đặt các thiết bị đo độ nghiêng (inklinometr - quan trắc sâu) trong vùng bảo vệ bờ trụ nam. Bản thiết kế mạng lưới quan trắc cần phải được thống nhất với các ban liên quan của mỏ và làm cho từng giai đoạn khai thác. Càng xuống sâu thì mạng lưới quan trắc phải được mở rộng. Trên Hình 12 giới thiệu phương án sơ bộ và rất đại cương cho mạng lưới quan trắc.



Hình 11. Phương án quan trắc bề mặt và quan trắc sâu

Ký hiệu:

- Vị các công trình cần bảo vệ.
- Mép bờ mố.
- Sườn bờ công tác.
- Các điểm đo trắc địa.
- Thiết bị đo độ nghiêng.
- Các điểm đo trắc địa lắp đặt theo tiến độ khai thác.



Trong phương án quan trắc bề mặt và quan trắc sâu, đề xuất mỗi bờ mố có một hệ thống điểm trên các bờ mố để quan trắc - các tuyến này cần phải bổ sung thêm các điểm đo theo tiến độ khai thác xuống sâu. Với mạng lưới mốc định vị bố trí trên bờ mố được xây dựng sẽ giúp cụm mỏ đá Núi Còm và Núi Trầu đánh giá tác động của nước mặt, rung và chấn động nổ mìn tác động làm biến dạng và mất ổn định bờ mố trong các chu kỳ đo vẽ cập bản đồ địa hình lần sau (từ 3-6 tháng 1 lần).

4. Kết luận

Ứng dụng công nghệ UAV kết hợp định vị tâm chụp GNSS-RTK được xây dựng và áp dụng khảo sát địa hình cung cấp bản đồ địa hình cập nhật, mô hình số địa hình, mặt cắt địa hình có độ chính xác tốt đáp ứng yêu cầu đánh giá ổn định bờ mỏ của cụm mỏ đá lộ thiên Núi Côm và Núi Trầu khai thác xuống sâu thuộc Công ty CP xi măng VICEM Hà Tiên. Đối với đặc thù địa hình mỏ có chênh cao lớn, tính toán độ phân giải mặt đất, chiều cao bay chụp và xây dựng DTM tham khảo từ bản đồ nền đã có phục vụ bay chụp theo dáng địa hình. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng quy trình công nghệ UAV có định vị tâm chụp chính xác bằng GNSS-RTK khảo sát địa hình cung cấp bản đồ địa hình cập nhật, mô hình số địa hình, mặt cắt địa hình có độ chính xác tốt đáp ứng yêu cầu đánh giá ổn định bờ mỏ của cụm mỏ đá lộ thiên. Bài báo trình bày cơ sở của thiết kế bay chụp UAV cho đặc thù địa hình mỏ có chênh cao lớn, tính toán độ phân giải mặt đất, chiều cao bay chụp và xây dựng DTM phục vụ bay chụp theo dáng địa hình.

Quy trình kỹ thuật sử dụng công nghệ UAV có các công đoạn từ ngoài hiện trường đến xử lý trong phòng phối hợp chặt chẽ, hợp lý. Sản phẩm của công nghệ UAV đáp ứng được yêu cầu độ chính xác cao trong cập nhật thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1/1000 và 1/500 và xây dựng mô hình số địa hình DTM, vẽ mặt cắt tự động, thành lập mô hình độ dốc. Cùng với số liệu đo dịch động hiện trạng bờ mỏ trong điều kiện động, chịu tác động của chấn động nổ mìn trong quá trình khai thác, cung cấp cơ sở dữ liệu đánh giá ổn định bờ mỏ của cụm mỏ đá trong các chu kỳ đo cập nhật địa hình lần sau.

Kiến nghị Bộ TNMT và các chủ đầu tư các dự án khai thác mỏ áp dụng quy trình kỹ thuật sử dụng công nghệ UAV kết hợp định vị tâm chụp GNSS-RTK khảo sát địa hình cho mỏ để tăng năng suất lao động, đảm bảo độ chính xác cung cấp số liệu địa hình từ bản đồ địa hình được cập nhật, mô hình số địa hình, mô hình độ dốc và mặt cắt địa hình đảm bảo an toàn và hiệu quả trong khai thác các mỏ và cụm mỏ đá.

Tài liệu tham khảo

Trần Trung Anh và nnk. (2018), Kết hợp công nghệ UAV, RTK và SES trong thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn vùng rừng ngập mặn ven biển, Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2018).

Agisoft LLC (2018), Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5. Available at: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf. Accessed 18 July 2020.

Bộ Công Thương (2009), Quy chuẩn QCVN 04:2009/BCT An toàn trong khai thác mỏ lộ thiên.

Bui T. D., Nguyen Q. L., Bui X. N., Nguyen V. N., Pham V. C., Le V. C., Bjørn K. (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.

Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, Tống Sĩ Sơn và Đinh Văn Hòa, 2022. Nghiên cứu thành lập mô hình 3D mặt bằng sân công nghiệp mỏ từ dữ liệu quét laser mặt đất và thiết bị bay không người lái, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 63, kỳ 5, tr. 25-36.

Dji (2020), Phantom 4 RTK User Manual ver 2.2.

DroneDeploy, 2017 DroneBuyer's Guide.

Đàm Công Khoa, Đỗ Văn Triều (2021), Nghiên cứu lựa chọn công nghệ giám sát ổn định liên tục theo thời gian thực bờ mỏ, bãi thải bằng phương pháp phân cấp thứ bậc (AHP) cho các mỏ than lộ thiên thuộc TKV. KHCNM số 5/2021 * Công nghệ khai thác lộ thiên.

Lee S., & Choi Y. (2015). Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone). Tunnel and Underground space, 25(5), 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.

Nguyễn Quốc Long, Lê Thị Thanh Tâm, Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, Đặng Tuyết Minh và Nguyễn Bá Dũng, 2022. Xây dựng quy trình thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mỏ lộ thiên bằng thiết bị bay không người lái cánh thẳng đứng, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 63, kỳ 5, tr. 11-24.

Nguyễn Q. L., Lê T. T. H., Tống S. S., Kim T. T. H. (2020b). UAV Photogrammetry-Based For Open Pit Coal Mine Large Scale Mapping, Case Studies In Cam Pha city, Vietnam. Sustainable Development of Mountain Territories, 12(4), 501-509.

Nguyễn Q. L., Cao X. C. (2019). Ứng dụng máy bay không người lái (UAV) để xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ mỏ lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng. Công nghiệp mỏ, 1, 21.

Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Phạm Văn Hòa, Trần Đình Bảo (2022), Mô phỏng khối đá phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ, áp dụng đánh giá cho mỏ than Khe Sim, Quảng Ninh. Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2022, EME4, 63-72; doi:10.36335/VNJHM.2022(EME4).63-72.

TCVN 9398:2012 (2012) - Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam, Công tác trắc địa trong xây dựng công trình - Yêu cầu chung.

TCVN 9401: 2012 (2012), Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam - Kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình.

Thông tư 973/2001/TT-TCĐC (2001), Thông tư ngày 20/6/2001 của Tổng cục Địa chính về hướng dẫn áp dụng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia VN2000.

Thông tư 68/2015/TT-BTNMT (2015), Thông tư ngày 22/12/2015 về 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.

Thông tư 07/2021/TT-BTNMT (2021), Thông tư ngày 30/6/2021 về quy định về kỹ thuật thu nhận và xử lý dữ liệu ảnh số từ tàu bay không người lái phục vụ xây dựng, cập nhật cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000 và thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500, 1:1.000 do Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành.

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), 1-18.

ABSTRACT

Technical stages for surveying terrain using UAV technology to monitor slope stability at limestone quarries: Case study at a quarry of Ha Tien joint stock company

Tran Trung Anh^{1,2,*}, Nguyen Anh Tuan^{1,2,3}, Pham Quoc Khanh¹, Pham Van Viet^{1,3}

¹Hanoi University of Mining and Geology

²Geomatics in Earth Sciences Research Group (GES), Hanoi University of Mining and Geology

³Innovations for Sustainable and Responsible Mining Research Group (ISRM),
Hanoi University of Mining and Geology

This paper presents the technological process of using unmanned aerial vehicles (UAVs) with precise image center positioning by GNSS-RTK surveying in open-pit mines with large terrain differences. The UAV technology process is described in detail, covering external technology stages to internal processing, ensuring high-resolution surface topography mapping to establish and update the processed topographic map at a scale of 1/1000 with a contour interval of 1 meter. The results of the UAV technology combined with GNSS-RTK location determination were successfully applied to the Nui Com and Nui Trau quarries, which are operated by VICEM Ha Tien Cement Joint Stock Company. A map with a scale of 1/1000 was created for accuracy verification at 22 measuring points in Nui Com mine and 29 measuring points in Nui Trau mine. The comparison between direct measurements using GNSS-RTK technology and UAV photogrammetry showed a maximum deviation of 0.14 meters and an average deviation of 0.02 meters for Nui Com field and 0.03 meters for Nui Trau mine. The Digital Terrain Model (DTM) elevation map provided detailed terrain speed and sectional models with high accuracy. This allowed for precise assessment of mine current topography, slope, and mine bank stability during different survey cycles (every 3 months), meeting the requirements for quarterly mine volume reporting and transaction evaluation. By establishing a positioning network on the mine bank, the Nui Cum and Nui Trau quarries cluster can assess the impact of water surface, vibration, blasting, deformation, and destabilization on the mine bank in the future. The network will also facilitate efficient updating of the topographic map during subsequent measuring and drawing cycles (every 3 to 6 months).

Keywords: UAV, point cloud, DTM, open pit mine, mine stabilization.

