



EARTH SCIENCES AND
NATURAL RESOURCES FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**TIỂU BAN
BẢN ĐỒ, VIỄN THÁM VÀ
HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐỊA LÝ**

MỤC LỤC

TIỂU BAN

BẢN ĐỒ, VIỄN THÁM VÀ HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐỊA LÝ

Phân tích lựa chọn chế độ định vị tâm chụp chính xác của máy bay không người lái trong thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn <i>Trần Trung Anh, Quách Mạnh Tuấn</i>	1
Xác định số lượng điểm khống chế ảnh cần thiết khi thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mở lộ thiên bằng công nghệ bay không người lái có tích hợp định vị GNSS động <i>Lê Văn Cảnh, Cao Xuân Cường, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Ngọc Anh</i>	9
Ứng dụng công nghệ UAV (Flycam) trong ước tính chiều cao cây hệ sinh thái rừng ngập mặn tỉnh Sóc Trăng <i>Nguyễn Kiều Diễm, Võ Quốc Tuấn</i>	16
Đánh giá quá trình mở rộng đô thị tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1998-2020 bằng dữ liệu ảnh vệ tinh đa thời gian Landsat <i>Lê Thị Thu Hà</i>	23
Nghiên cứu ứng dụng SfM xây dựng mô hình 3D từ dữ liệu ảnh chụp UAV <i>Phạm Văn Hiệp, Bùi Ngọc Quý, Dương Anh Quân, Nguyễn Hoàng Ánh, Nguyễn Danh Đức, Lê Thị Nga, Trần Trung Kiên, Hoàng Xuân Tứ, Nguyễn Đại Đồng, Nguyễn Đức Hùng, Nguyễn Văn Mạnh</i>	33
Nghiên cứu tình trạng hạn nông nghiệp dựa trên chỉ số hạn từ ảnh viễn thám Landsat 8 trên nền tảng Google Earth Engine <i>Phạm Thị Thanh Hòa, Vũ Ngọc Quang</i>	41
Ứng dụng ảnh viễn thám theo dõi trữ lượng rừng ngập mặn tại Mũi Cà Mau <i>Nguyễn Tấn Lợi, Huỳnh Nhật Phi, Võ Quốc Tuấn</i>	51
Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) xây dựng bản đồ thoái hóa đất nông nghiệp tỉnh Hậu Giang <i>Trần Xuân Miến, Nguyễn Thế Công, Phạm Thị Kim Thoa, Nguyễn Thị Dung</i>	58
Ứng dụng Indoor Mobile Mapping trong thu thập, phân tích và quản lý dữ liệu địa lý <i>Lê Thị Nga, Bùi Ngọc Quý, Dương Anh Quân</i>	65
Xây dựng và chuẩn hóa các cơ sở dữ liệu thành phần phục vụ dự báo nguy cơ cháy rừng <i>Đoàn Thị Nam Phương, Nguyễn Văn Trung, Bùi Tiến Diệu, Nguyễn Văn Sơn, Trần Thị Trúc Mai, Ngô Thanh Xuân</i>	71
Ứng dụng mô hình thủy lực và GIS xây dựng bản đồ hiểm họa ngập lụt khu vực hạ lưu sông Cả <i>Dương Anh Quân, Trương Văn Anh, Bùi Ngọc Quý, Phạm Văn Hiệp, Nguyễn Danh Đức, Lê Thị Nga, Trần Thị Mai Anh, Trương Xuân Quang</i>	79
Thành lập bản đồ bề mặt không thám sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh <i>Phạm Văn Tùng, Nguyễn Văn Trung, Vũ Xuân Cường, Nguyễn Văn Sơn</i>	86
Xử lý mây và pan-sharpening ảnh Sentinel-2 theo dõi sự phát triển đô thị tại huyện đảo Phú Quốc <i>Phạm Quốc Việt, Võ Quốc Tuấn</i>	94

Xác định số lượng điểm khống chế ảnh cần thiết khi thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mô phỏng thiên bằng công nghệ bay không người lái có tích hợp định vị GNSS động

Lê Văn Cảnh ^{1,*}, Cao Xuân Cường ¹, Lê Thị Thu Hà ¹, Nguyễn Ngọc Anh ²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Công ty Công nghệ Sao Vega, Việt Nam

TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này là xác định được số lượng điểm khống chế ảnh mặt đất (GCP) tối ưu khi đo vẽ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn cho mô phỏng thiên bằng máy bay không người lái có tích hợp thiết bị định vị vệ tinh (UAV/RTK). Để đạt mục đích này, ngày 21 tháng 5 năm 2020, khu vực địa hình diện tích 70 ha tại mỏ than Đèo Nai đã được chụp ảnh bằng máy bay DJI Phantom 4 RTK ở độ cao 100 m, 50 điểm đã được thành lập để nắm ảnh và đánh giá độ chính xác mô hình số bề mặt (DSM). Các DSM được thành lập và đánh giá độ chính xác tương ứng với các trường hợp: sử dụng ảnh UAV/RTK mà không có thêm bất cứ điểm GCP nào, sử dụng ảnh UAV/RTK kết hợp với 1, 2, 3, 4 và 5 điểm GCP. Kết quả cho thấy DSM được thành lập với UAV/RTK không sử dụng điểm GCP cho sai số trung phương mặt bằng là 6.8 cm và độ cao là 34.3 cm, do đó không đáp ứng được yêu cầu về độ chính xác. Tuy nhiên, khi kết hợp với 1 điểm GCP thì sai số về độ cao của DSM đã được cải thiện 79% và 86% nếu có 2 điểm GCP. Nếu sử dụng 3, 4 và 5 điểm GCP thì độ chính xác được cải thiện hơn nhưng không đáng kể so với sử dụng 2 điểm GCP. Do vậy, sử dụng ảnh UAV/RTK kết hợp với 02 điểm khống chế ảnh mặt đất cho DSM đáp ứng yêu cầu độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn cho các mô phỏng thiên.

Từ khóa: UAV/RTK; DSM; GCP; mô phỏng thiên; bản đồ địa hình.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, thiết bị bay không người lái (UAV) được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như khảo sát dịch chuyển và biến dạng bề mặt đỉnh núi lửa (Derrien, Villeneuve et al. 2015), khảo sát địa chất, đánh giá nhanh các thảm họa trượt lở đất (Dugonjić Jovančević, Peranić et al. 2016, Tziavou, Pytharouli et al. 2017, Rossi, Tanteri et al. 2018). Đây cũng là giải pháp hữu hiệu trong khảo sát và thành lập bản đồ địa hình (Carrivick, Smith et al. 2016, Wiącek and Pyka 2019) đặc biệt là cho khu vực có địa hình phức tạp như các mô phỏng thiên khai thác quặng hoặc khai thác than (Sayab, Aerden et al. 2018, Nguyen Quoc Long, Bui Xuan Nam et al. 2019, Le Van Canh, Cao Xuan Cuong et al. 2020, Nguyễn Quốc Long and Lê Văn Cảnh 2020). Khi áp dụng công nghệ UAV, việc sử dụng các điểm khống chế ảnh mặt đất (GCPs) luôn rất cần thiết để định vị khối ảnh về hệ tọa độ địa phương và đảm bảo độ chính xác của mô hình số bề mặt (DSM) (Taddia, Stecchi et al. 2020), tuy nhiên, đó cũng là công việc thực địa tốn nhiều thời gian và công sức, tạo lên nhược điểm lớn nhất cho công nghệ này (Forlani, Dall'Asta et al. 2018). Điều này càng trở lên rõ ràng đối với một số địa hình phức tạp như các địa hình núi lửa, khu vực trượt lở, hoặc đo đạc ở các vùng sâu xa (Tomaščík, Mokros et al. 2019) nơi mà việc thành lập điểm GCP rất khó khăn, thậm chí không thể thực hiện được.

Gần đây, máy bay không người lái có tích hợp thiết bị định vị vệ tinh GNSS đã được biết đến như một giải pháp hữu ích để giảm thiểu việc sử dụng các điểm GCPs (Helliguy 2020). Với thiết bị định vị vệ tinh GNSS cho phép đo định vị theo thời gian thực (RTK) đạt độ chính xác cỡ cm, có thể thay thế GCPs (Zhang, Aldana Jague et al. 2019) nên được gọi là UAV/RTK. Việc đánh giá độ chính xác DSM được thành lập từ thiết bị này đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu gần đây. Tác giả Fazeli và cộng sự đã thành lập 12 điểm khống chế và 20 điểm kiểm tra trên một khu vực thực nghiệm thành lập DSM bằng công nghệ UAV/RTK (Fazeli, Samadzadegan et al. 2016) kết quả cho thấy độ chính xác DSM đạt mức đề xi mét.

* Tác giả liên hệ

Email: levancanh@humg.edu.vn

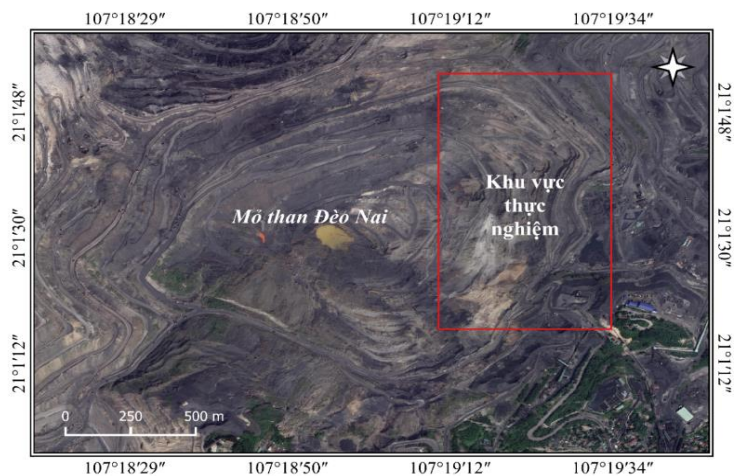
Nghiên cứu của tác giả Ekaco và cộng sự cũng cho kết luận tương tự khi đánh giá độ chính xác mô hình thành lập được từ ảnh bay chụp bởi máy bay Matric pro có tích hợp RTK (Ekaso, Nex et al. 2020). Cả hai nghiên cứu này đã cho thấy rằng độ chính xác DSM

không cao do tồn tại độ trễ tín hiệu giữa thời điểm chụp của máy ảnh và thời điểm đo RTK trên mặt đất. Tuy nhiên, nhược điểm này đã nhanh chóng được khắc phục khi máy bay UAV/RTK thế hệ mới như DJI Phantom 4 RTK (P4K) ra đời, do sự đồng bộ giữa hệ thống chụp ảnh với module RTK dẫn tới độ trễ chỉ ở mức mm (DJI 2020). Khảo sát khả năng sử dụng P4K thành lập bản đồ địa hình vùng ven bờ biển, tác giả Taddia và cộng sự đã khẳng định ứng dụng P4K cho phép đo đạc đạt độ chính xác đến cm (Taddia, Stecchi et al. 2020).

Các điểm GCPs có cần thiết hay không khi sử dụng UAV/RTK đã được trả lời trong các nghiên cứu (Forlani, Dall'Asta et al. 2018, Štroner, Urban et al. 2020), các tác giả này đã tiến hành bay chụp ảnh UAV với 3 trường hợp: chỉ sử dụng điểm khống chế ảnh, chỉ sử dụng UAV/RTK và kết hợp cả hai, sau đó so sánh độ chính xác các mô hình DSMs thành lập được. Kết quả cả hai nghiên cứu đều kết luận rằng sử dụng UAV/RTK và UAV/RTK kết hợp với 01 điểm khống chế ảnh mặt đất cho mô hình DSMs có độ chính xác cao hơn khi chỉ sử dụng GCPs. Tuy nhiên, các nghiên cứu nêu trên đa số được thực hiện ở khu vực địa hình khá bằng phẳng và chưa có nghiên cứu nào áp dụng cho địa hình phức tạp như ở các mỏ lộ thiên. Do vậy, cần có nghiên cứu để đánh giá khả năng ứng dụng UAV/RTK trong công tác thành lập bản đồ địa hình mỏ lộ thiên, trong đó, việc xác định được số lượng mốc khống chế ảnh tối ưu là một khâu quan trọng, để có thể đưa phương pháp này vào thực tế sản xuất đạt hiệu quả cao.

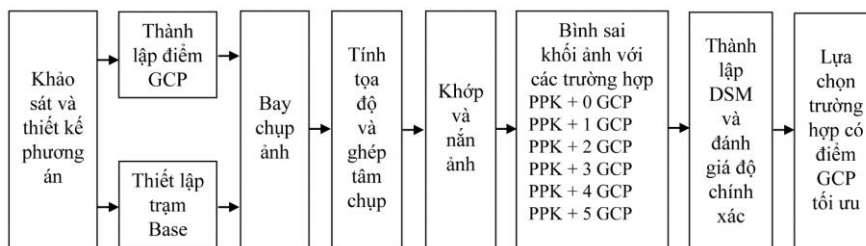
2. Khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm có vị trí nằm tại bờ khai trường phía đông của mỏ than Đèo Nai, Cẩm Phả, Quảng Ninh. Khu vực đo vẽ có địa hình tầng bậc đặc trưng cho mỏ khai thác than lộ thiên tại bể than Quảng Ninh, độ sâu khai thác và góc dốc sườn tầng lớn, diện tích khoảng 70ha, chênh cao địa hình từ điểm thấp nhất (đáy moong) tới điểm cao nhất (bờ mỏ) vào khoảng 300 m (Hình 1). Khu vực nghiên cứu không có lớp phủ nên mô hình DSM thành lập được cũng chính là mô hình DEM (Nguyễn Quốc Long and Lê Văn Cảnh 2020).



Hình 1. Vị trí khu vực thực nghiệm tại mỏ Đèo Nai.

3. Đo đạc thực nghiệm






Hình Qui trình xác định số lượng điểm khống chế ảnh cần thiết

3.1. Thiết bị sử dụng

Máy bay không người lái P4K đã được sử dụng để bay chụp ảnh địa hình mỏ. Tâm ảnh được định vị theo phương thức đo động thời gian thực (GNSS/PPK) sử dụng máy GNSS Comnav T300 làm trạm cơ sở mặt đất (Base). Máy toàn đạc điện tử Topcon ES105 được sử dụng để đo nối tọa độ đến các điểm khống chế ảnh mặt đất và các điểm kiểm tra.

Bảng 1. Thiết bị sử dụng

Thiết bị			
	DJI Phantom 4 RTK	GNSS Comnav T300	Topcon ES 105
Thông số kỹ thuật chính	- Máy ảnh: 20mb/pixel - Định vị tâm ảnh: GNSS động - Độ phân giải ảnh 2.74cm/pixel ở chiều cao bay 100m	- Máy đo GNSS 2 tần số - Độ chính xác: mặt bằng 10mm+ 0.5 ppm; độ cao 20mm+ 0.5 ppm	- Độ chính xác đo góc: ±5" - Độ chính xác đo chiều dài: 2 mm + 2 ppm

3.2. Bay chụp UAV thu nhận ảnh

Kế hoạch bay chụp được thiết kế bay trước khi ra thực địa, đảm bảo các tiêu chí an toàn và đáp ứng yêu cầu độ chính xác. Độ cao bay chụp được thiết kế ở mức 100 m so với mặt đất và cho độ phân giải ảnh 2.74 cm/pix. Vị trí cất và hạ cánh của máy bay có độ cao trung bình xét trên toàn khu đo để đảm bảo an toàn cho máy bay và cho độ phân giải ảnh tốt nhất ở các vị trí có độ sâu lớn. Độ phủ dọc và phủ ngang của các bức ảnh liền kề là 75 %, tốc độ bay trung bình của máy bay 7 m/s. Tổng số ca bay cho toàn khu vực là 4 ca, tổng số ảnh chụp được là 892 ảnh. Tâm chụp ảnh được định vị theo phương thức đo động xử lý sau GNSS/PPK với trạm base mặt đất được đặt vào mốc giải tích 1 của mỏ.



Hình 3. Một số hình ảnh đo đạc thực địa tại mỏ Đèo Nai.

3.3. Thành lập mô hình số độ cao DSM và đánh giá độ chính xác mô hình

3.3.1. Phương pháp

Tọa độ tâm chụp của ảnh được đo theo phương thức GNSS/PPK, sau khi bay chụp tâm ảnh được xử lý trên phần mềm RTKlib 2.4.3 và Aerotas P4RTK PPK Adjustments V1.0. Các tấm ảnh được ghép lại tâm chính xác và xử lý trên phần mềm Agisoft Metashape Professional.

Mô hình số bề mặt của khu vực nghiên cứu được xây dựng với 6 trường hợp như sau: chỉ dùng ảnh bay chụp UAV/RTK (PPK); kết hợp ảnh bay chụp UAV/RTK với các điểm khống chế ảnh với số lượng tăng dần (từ 1 tới 5) tương ứng với PPK + 1 GCP; PPK + 2 GCP; PPK + 3 GCP; PPK + 4 GCP và PPK + 5 GCP.

Để có cơ sở kiểm tra độ chính xác mô hình DSM thành lập được từ ảnh bay chụp UAV, trên khu vực thực nghiệm thành lập 50 điểm khống chế ảnh mặt đất, các điểm này được đánh dấu bằng các tiêu khống chế ảnh, được in màu vàng - đen trên giấy bạt (có độ phản xạ tốt) kích thước 60 x 60 cm. Trước khi sử dụng

các điểm GCP đã được kiểm tra về độ chính xác, trong đó 4 điểm GCP không đảm bảo độ chính xác đã được loại bỏ, 46 điểm GCP còn lại đã dùng để nền ảnh và đánh giá độ chính xác các DSM.

3.3.2. Đánh giá độ chính xác

Để đánh giá độ chính xác mô hình DSM thành lập được, sử dụng sai số trung phương (RMSE), tính toán cho sai số tọa độ X, Y, Z, XY và XYZ với các công thức tính toán như sau:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{DSM} - X_{GCP_i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{DSM} - Y_{GCP_i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{DSM} - Z_{GCP_i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2} \quad (4)$$

Trong đó: RMSE - sai số trung phương; n tổng số điểm kiểm tra; X_{GCP_i} và X_{DSM} , Y_{GCP_i} và Y_{DSM} , Z_{GCP_i} 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.

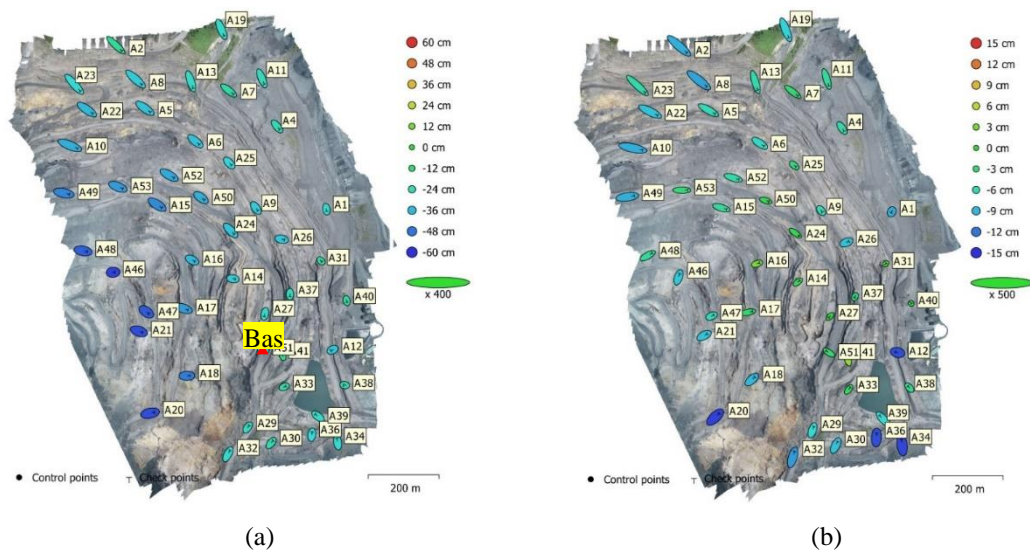
4. Kết quả và thảo luận

Kết quả được thể hiện trong Bảng 2, ta có thể thấy rằng trường hợp chỉ sử dụng PPK cho sai số trung phương vị trí điểm (mặt bằng) là 6.8 cm, sai số độ cao là 34.3 cm. Khi sử dụng thêm 01 điểm khống chế ảnh (PPK +1 GCP), sai số mặt bằng các điểm trên mô hình thay đổi không lớn, nhưng độ chính xác về độ cao của mô hình được cải thiện đáng kể (79%). So với trường hợp sử dụng 01 GCP, trường hợp PPK + 2 GCP cho sai số trung phương cả về mặt bằng và độ cao nhỏ hơn 8%, sai số này được cải thiện thêm 3% khi sử dụng 3 điểm GCP, sử dụng 4, hoặc 5 GCP đều có độ chính xác DSM được cải thiện nhưng không đáng kể (khoảng 0.5%). Như vậy, xét đến sai số trung phương của cả mô hình (Bảng 1) thì chỉ cần sử dụng 01 điểm GCP đã cho độ chính xác mô hình đến cm.

Bảng 2. Sai số trung phương X, Y, Z, XY và XYZ của các điểm kiểm tra

Trường hợp	Sai số trung phương (cm)				
	RMSE _x	RMSE _y	RMSE _z	RMSE _{xy}	RMSE _{xyz}
PPK	5.1	4.5	34.3	6.8	35.0
PPK+1GCP	4.7	4.2	7.3	6.3	9.7
PPK+2GCP	3.7	2.5	4.7	4.5	6.5
PPK+3GCP	4.0	2.3	3.7	4.6	5.9
PPK+4GCP	3.4	2.0	3.8	3.9	5.5
PPK+5GCP	2.9	2.0	3.6	3.5	5.0

Nếu việc đánh giá độ chính xác DSM được thực hiện dựa trên sai số vị trí điểm yếu nhất trên mô hình. Hình 4a cho thấy khi không sử dụng điểm khống chế ảnh, sai số lớn nhất của mô hình tập trung tại các vị trí có độ sâu lớn và ở khu vực xa trạm base (khoảng cách từ base tới điểm GCP xa nhất là 1.5 km). Khi sử dụng 01 điểm khống chế ảnh (Hình 4b), phân bố sai số trên mô hình có sự thay đổi rõ rệt, khu vực gần điểm khống chế ảnh sẽ có sai số nhỏ hơn và càng xa điểm này độ chính xác mô hình càng giảm.



Hình 4. Vị trí các điểm khống chế ảnh và elip sai số.
a. Trường hợp PPK; b. Trường hợp PPK + 1 GCP

Bảng 3 thể hiện sai số vị trí điểm lớn nhất trên mô hình DSM của cả 6 trường hợp. Qua đó có thể thấy rằng sai số vị trí mặt bằng của DSM thậm chí tăng lên khi tăng số lượng điểm khống chế ảnh. Trái ngược với điều đó, sai số độ cao của các điểm trên mô hình lại giảm xuống khi số lượng các điểm khống chế ảnh tăng lên. Cụ thể, khi sử dụng 01 GCP sai số lớn nhất về độ cao vẫn ở mức -14.2 cm, tuy nhiên, khi sử dụng 2 điểm GCP sai số này chỉ còn -5.9 cm. Khi lần lượt sử dụng 3, 4 và 5 điểm GCP, sai số về độ cao được cải thiện chưa đến 1.5 cm so với sử dụng 2 GCP.

Bảng 3. Các điểm kiểm tra có sai số lớn nhất

Phương pháp	Sai số (cm)				
	dX	dY	dZ	dXY	dXYZ
PPK	6.3	1.4	-54.7	6.4	55.1
PPK+1GCP	4.6	4.3	-14.2	6.3	15.6
PPK+2GCP	7.6	-3.1	-5.9	8.2	10.1
PPK+3GCP	7.8	-3.9	-5.2	8.7	10.1
PPK+4GCP	6.6	-3.1	-4.5	7.3	8.6
PPK+5GCP	6.2	-2.9	-4.9	6.8	8.4

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, với mục tiêu xác định được số lượng điểm khống chế ảnh mặt đất cần thiết khi thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn cho các mô lộ thiên bằng công nghệ UAV/RTK. Máy bay DJI Phantom4 RTK đã được sử dụng để bay chụp địa hình mô lộ thiên, điểm GCP được thành lập và đo nối tọa độ bằng máy toàn đạc điện tử. Đánh giá độ chính xác DSM ở các trường hợp khác nhau cho thấy:

Mô hình số bề mặt được thành lập từ ảnh bay chụp bằng thiết bị bay không người lái có tích hợp GNSS/RTK có tọa độ mặt bằng đạt độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mô lộ thiên theo qui phạm (Bộ Công Thương 2015), tuy nhiên, độ cao có sai số lớn và không đáp ứng được yêu cầu.

Cần thiết phải sử dụng các điểm khống chế ảnh mặt đất để cải thiện độ chính xác DSM, sử dụng 01 điểm cho độ chính xác đề xi mét, sử dụng từ 2 điểm khống chế ảnh trở lên cho sai số xăng ti mét. Sử dụng UAV/RTK kết hợp với 02 điểm GCP cho DSM đảm bảo độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn cho mô lộ thiên theo qui phạm trắc địa mô.

Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm nghiên cứu của đề tài mã số T20 - 06, nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí từ trường Đại học Mở - Địa chất, cảm ơn Công ty than Đèo Nai đã phối hợp và tạo điều kiện cho nhóm nghiên cứu trong quá trình đo đạc thực nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- Bộ Công Thương (2015). Tiêu chuẩn Việt Nam ngành Trắc Địa Mò. Hà Nội, Viện tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam.
- Carrivick, J., M. Smith and D. Quincey (2016). Structure from Motion in the Geosciences (index): 195-197.
- Derrien, A., N. Villeneuve, A. Peltier and F. Beauducel (2015). "Retrieving 65 years of volcano summit deformation from multi-temporal Structure-from-Motion: the case of Piton de la Fournaise (La Réunion Island)." *Geophysical Research Letters* **42**.
- DJI. (2020). "Phantom 4 RTK Visionary Intelligence, <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>."
- Dugonjić Jovančević, S., J. Peranić, I. Ružić and Ž. Arbanas (2016). "Analysis of a historical landslide in the Rječina River Valley, Croatia." *Geoenvironmental Disasters* **3**(1): 26.
- Ekaso, D., F. Nex and N. Kerle (2020). "Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct geo-referencing." *Geo-spatial Information Science*: 1-17.
- Fazeli, H., F. Samadzadegan and F. Dadrass Javan (2016). "Evaluating the potential of RTK-UAV for automatic point cloud generation in 3D rapid mapping." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **XLI-B6**: 221-226.
- Forlani, G., E. Dall'Asta, F. Diotri, U. M. d. Cella, R. Roncella and M. Santise (2018). "Quality assessment of DSMs produced from UAV flights georeferenced with on-board RTK positioning." *Remote Sensing* **10**(2): 311.
- Helliguy. (2020). "<https://www.heliguy.com/blog/2019/01/24/is-rtk-the-future-of-drone-mapping/>."
- Le Van Canh, Cao Xuan Cuong, Le Hong Viet and Dinh Tien (2020). "Volume computation of quarries in Vietnam based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data." *Mining and earth sciences* **61**(1): 21-30.
- Nguyen Quoc Long, Bui Xuan Nam, Cao Xuan Cuong and Le Van Canh (2019). "An approach of mapping quarries in Vietnam using low-cost Unmanned Aerial Vehicles." *International Journal of Sustainable Development* **11**(2):199-210.
- Nguyễn Quốc Long and Lê Văn Cảnh (2020). "Khả năng ứng dụng thiết bị bay không người lái (UAV) kinh phí thấp để đo vẽ kiểm kê trữ lượng khoáng sản mỏ lộ thiên." *Công nghiệp mỏ* **02**: 79-85.
- Rossi, G., L. Tanteri, V. Tofani, P. Vannocci, S. Moretti and N. Casagli (2018). "Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization." *Landslides* **15**(5): 1045-1052.
- Sayab, M., D. Aerden, M. Paananen and P. Saarela (2018). "Virtual Structural Analysis of Jokisivu Open Pit Using 'Structure-from-Motion' Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry: Implications for Structurally-Controlled Gold Deposits in Southwest Finland." *Remote Sensing* **10**: 1296.
- Štroner, M., R. Urban, T. Reindl, J. Seidl and J. Brouček (2020). "Evaluation of the Georeferencing Accuracy of a Photogrammetric Model Using a Quadrocopter with Onboard GNSS RTK." *Sensors* **20**: 2318.
- Taddia, Y., F. Stecchi and A. Pellegrinelli (2020). "Coastal Mapping using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode." *Drones* **4**: 9.
- Tomaščík, J., M. Mokros, P. Surovy, A. Grznárová and J. Merganič (2019). "UAV RTK/PPK Method - An Optimal Solution for Mapping Inaccessible Forested Areas?" *Remote Sensing* **11**: 721.
- Tziavou, O., S. Pytharouli and J. Souter (2017). "Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results." *Engineering Geology* **232**.
- Wiącek, P. and K. Pyka (2019). "THE TEST FIELD FOR UAV ACCURACY ASSESSMENTS." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **XLII-1/W2**: 67-73.
- Zhang, H., E. Aldana Jague, F. Clapuyt, F. Wilken, V. Vanacker and K. Oost (2019). "Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure- from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection." *Earth Surface Dynamics* **7**.

ABSTRACT

Determination of the number of ground control points required when creating large scale terrain mapping of open-pit mines using Unmanned Aerial Vehicles with integrated kinematic GNSS

Le Van Canh ¹, Cao Xuan Cuong ¹, Le Thi Thu Ha ¹, Nguyen Ngoc Anh ²

¹*Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

²*VegaStar Technology Company, Vietnam*

The objective of this study is to determine the optimal number of ground control points (GCPs) when measuring and creating a large scale topographic map for open - pit mines by an Unmanned aerial vehicles with a RTK onboard (UAV / RTK). To achieve this goal, on the 21st of May 2020, a 70-hectare area of Deo Nai coal mine was photographed by UAV Phantom4 RTK aircraft at an altitude of 100m and 50 GCPs have been established to capture the image and evaluate the accuracy of the digital surface model (DSM). The DSMs were established and assessed for accuracy in the following cases: using UAV / RTK images without GCPs and using UAV / RTK images in combination with 1, 2, 3, 4 and 5 GCPs. The results show that the horizontal and vertical accuracy of DSM given by PPK only were 6.8 and 34.3 cm, respectively. However, when adding one GCP, the vertical accuracy was improved 79% and 86% with two GCPs. In addition, combination with 3, 4 and 5 GCPs, the error was improved but not significantly compared with 2 GCPs. Therefore, using UAV / RTK images in combination with 2 GCPs for DSM meets the accuracy requirements for creating large scale topographic maps of Open - pit mines.

Keywords: UAV/RTK; DSM; GCP; Open - pit mine; terrain mapping.