

# THÀNH LẬP MÔ HÌNH SỐ BỀ MẶT KHU VỰC MỎ KHAI THÁC KHOẢNG SẢN DỰA VÀO ẢNH CHỤP TỪ MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

**Đặng Tuyết Minh**  
Trường Đại học Thủy lợi

## **Tóm tắt**

Máy bay không người lái là một trong những công nghệ mới để thành lập mô hình 3D của trái đất. Mục tiêu của nghiên cứu này là nghiên cứu xây dựng mô hình số bề mặt từ dữ liệu ảnh thu được từ thiết bị bay DJI Inspire 2 và công nghệ GNSS. Kết quả của nghiên cứu được tạo ra bằng phần mềm Agisoft Photoscan. Độ chính xác về mặt bằng và độ cao của sản phẩm được đánh giá dựa vào sai số trung phương. Sai số trung phương tổng thể của các điểm khống chế là 6.108 cm và của các điểm kiểm tra mô hình là 8.718 cm. Kết quả thu được chỉ ra rằng phép đo ảnh UAV có thể được sử dụng như một giải pháp thay thế cho các phương pháp truyền thống, đặc biệt là các phương pháp sử dụng nhiều nhân lực và các thiết bị đắt tiền.

**Từ khóa:** Máy bay không người lái (UAV); Mô hình số bề mặt (DSM).

## **Abstract**

### ***Application of Unmanned Aerial Vehicle for generating a Digital Surface Model of the mineral mining area***

Unmanned Aerial Vehicles are one of the new technologies to establish 3D models of the earth. The goal of this research is to generate a digital surface model from image data obtained from the DJI Inspire 2 and GNSS technology. The results of the study were created using Agisoft Photoscan software. The accuracy of results is evaluated based on the Root Mean Squared Error (RMSE). The RMSE of the ground control points and checkpoints is 6.108 cm and 8.718 cm respectively. The obtained findings indicate that UAV photogrammetry can be used as an alternative to traditional methods, especially those that use a lot of manpower and expensive equipment.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicles (UAV); Digital Surface Model (DSM).

**Tác giả liên hệ, Email:** dtminh@tlu.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2024.571>

## **1. Mở đầu**

Thành lập mô hình số bề mặt (Digital Surface Model - DSM) và bình đồ ảnh bằng ảnh chụp từ thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicles - UAV) là phương pháp hiệu quả, đặc biệt áp dụng cho các khu vực nhỏ với độ chính xác và độ phân giải đạt được ở mức cm. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã sử dụng công

nghệ này để xây dựng mô hình DSM. Một phương pháp mới để tạo ra DSM đáng tin cậy dựa trên ảnh UAV có độ phân giải cao đã được trình bày trong nghiên cứu của tác giả Li và cộng sự (2014) [11]. Công nghệ UAV tiết kiệm chi phí, tự động và có tiềm năng để tạo ra DSM có độ phân giải cao đã được chứng minh trong nghiên cứu của tác giả Hassan và cộng sự [10].

Tác giả Ruzgiene và cộng sự (2015) đã đánh giá chất lượng của DSM tạo bằng ảnh UAV dựa vào số lượng điểm không chế [12]. Bhandari và cộng sự (2018) đã chứng minh tính khả thi của việc tạo ra DSM có độ phân giải cao từ các ảnh chụp từ UAV [9]. Ngoài ra, Uysal và cộng sự đã sử dụng máy bay UAV giả rẻ trong bay chụp thành lập mô hình số độ cao cho một khu vực có diện tích rộng 5 ha, kết quả thu được so sánh với mô hình làm từ dữ liệu đo RTK là tương đối giống nhau, từ đó cho tác giả khẳng định có thể sử dụng dữ liệu UAV trong công tác khảo sát, thành lập DSM, mô hình số độ cao, bản đồ và một số ứng dụng kỹ thuật khác với lợi thế của chi phí thấp, giảm thời gian và công sức lao động [14]. Gần đây, một thiết bị UAV tự chế giả rẻ có trang bị camera chủ động để tăng góc chụp ảnh khi máy bay ở độ cao thấp đã được sử dụng trong thành lập mô hình 3D mô lộ thiên. Khối lượng khai thác mô tính từ mô hình 3D này được so sánh với khối lượng tính từ số liệu đo GNSS/RTK cho độ lệch dưới 1 % [15].

Những năm gần đây, việc sử dụng ảnh chụp từ UAV để tạo ra DSM, DEM (Digital Elevation Model) và một số dạng bản đồ khác trở nên phổ biến ở Việt Nam. Các quy trình bay chụp và thành lập các sản phẩm trên đã được đề xuất và tiến hành thực nghiệm ở các địa điểm khác nhau [13]. Với mục tiêu tổng quát hóa quy trình thành lập DSM và bình đồ ảnh, tác giả Làn và cộng sự (2022) đã tiến hành bay thử nghiệm và đánh giá độ chính xác DSM được xây dựng bằng công nghệ UAV của thành phố Hạ Long, Quảng Ninh. Kết quả thu được cho thấy sản phẩm đáp ứng được yêu cầu của việc thành lập bản đồ tỷ lệ 1/500 [2]. Kết luận

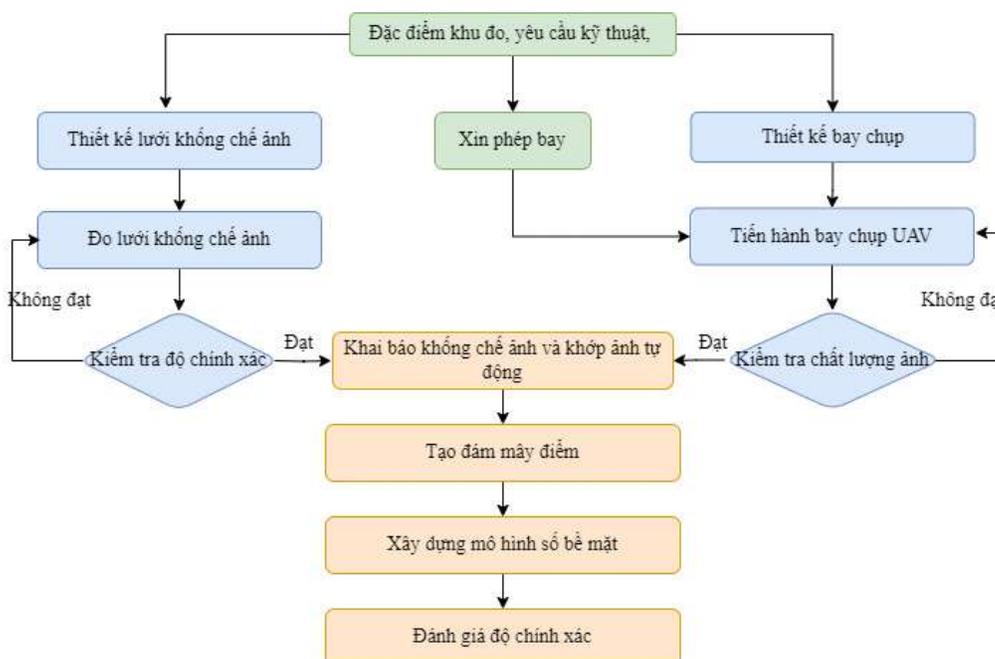
này cũng phù hợp với đánh giá của tác giả Thảo và cộng sự (2017) trong nghiên cứu đánh giá độ chính xác DSM thành lập từ ảnh UAV của khu vực Bắc Từ Liêm, Hà Nội [8]. Bên cạnh đó, công nghệ UAV cũng đã được chứng minh tính hiệu quả và đáp ứng được độ chính xác thành lập các mô hình 3D và bản đồ tỷ lệ lớn ở các khu vực khai thác mỏ ở Việt Nam. Nhóm tác giả Bùi Ngọc Quý và Phạm Văn Hiệp cũng đã công bố kết quả thành lập bản đồ 3D bằng công nghệ UAV khu vực đồng bằng [6]. Ngoài ra, để tạo mô hình bề mặt kỹ thuật số cho khu vực mỏ than lộ thiên và đánh giá độ chính xác của nó, tác giả Diệu và cộng sự đã sử dụng phương tiện bay không người lái hạng nhẹ và kỹ thuật Structure from Motion (SfM) cho nghiên cứu của họ [13]. Cùng mục đích như trên, nhóm tác giả Long và Cường (2019) cũng đã ứng dụng công nghệ UAV để xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ mô lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng [3]. Ngoài ra, tính hiệu quả cũng như độ chính xác của DSM tạo ra từ ảnh chụp UAV/RTK với phương thức định vị tâm chụp ảnh xử lý sau GNSS/PPK (Post-Processing Kinematic) đã được đánh giá trong nghiên cứu của tác giả Long (2021) [4]. Trong một nghiên cứu năm 2016, tác giả Bùi Tiến Diệu và cộng sự đã xây dựng thành công quy trình công nghệ sử dụng ảnh UAV để thành lập các sản phẩm bản đồ như mô hình số bề mặt, mô hình số độ cao, bản đồ trực ảnh, bản đồ 3D [1]. Gần đây (2019), Công ty TNHH Một thành viên Trắc địa Bản đồ - Cục Bản đồ (Bộ Tổng tham mưu - Bộ Quốc phòng Việt Nam) đã nghiên cứu thực hiện thành công ứng dụng công nghệ bay chụp ảnh bằng thiết bị UAV vào dự án “Khảo sát tuyến

## Nghiên cứu

đường dây 500 KV Quảng Trạch (Quảng Bình) - Dốc Sỏi (Quảng Ngãi). Kết quả thu được cho thấy, các sản phẩm DSM, DEM,... đã đáp ứng công tác thiết kế công trình tuyến đường dây tải điện. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu này chỉ áp dụng cho các khu vực có địa hình bằng phẳng, ít phức tạp. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm khẳng định hiệu quả của việc thành lập DSM từ ảnh chụp UAV cho khu vực có địa hình phức tạp.

## 2. Dữ liệu và phương pháp

Hình 1 là sơ đồ thể hiện phương pháp sử dụng trong nghiên cứu để thành lập DSM dựa vào ảnh chụp UAV. Quy trình thực hiện bao gồm hai bước chính: (1) Thu thập dữ liệu ở thực địa bằng thiết bị bay không người lái và hệ thống GNSS và (2) Xử lý dữ liệu trong phòng bằng phần mềm để xây dựng DSM.



**Hình 1: Quy trình xây dựng mô hình số bề mặt**

### 2.1. Thu thập dữ liệu

#### 2.1.1. Thiết bị UAV và camera

Dữ liệu thực hiện cho nghiên cứu được thu thập bằng thiết bị GNSS và máy bay không người lái DJI Inspire 2. Hình 2 là hình ảnh của một bộ thiết bị bay không người lái hoàn chỉnh được sử dụng cho nghiên cứu này. Các bộ phận chính gắn trên thân máy bao gồm: 4 mô tơ, 4 cánh quạt có thể tháo rời, cảm biến tránh va đập theo 5 hướng và chân hạ cánh cố định phía bên dưới. Ngoài ra, máy bay được điều khiển bằng các nút bấm của bộ điều khiển từ xa có tích hợp 2

ăng ten và có cổng kết nối với máy tính bằng hoặc điện thoại thông minh, giúp người dùng thiết lập các thông số cho việc chụp ảnh hoặc hiển thị trực tiếp hình ảnh từ máy bay. Thiết bị tích hợp với camera có khả năng quay video với độ phân giải 4K và chụp ảnh tĩnh với độ phân giải 24 MP ở định dạng JPEG hoặc DNG RAW. Ống kính của camera được thiết kế đặc biệt để chống méo ở vùng rìa ảnh và có khẩu độ lớn nhất F/2.8 đồng thời cho góc nhìn rộng 94 độ (Hình 3). Một số tính năng chính của máy bay không người lái DJI Inspire 2 và camera thể hiện ở Bảng 1.



**Hình 2: Bộ thiết bị bay Inspire 2**

Nguồn: <https://www.dji.com/global/inspire-2/features>

**Bảng 1. Thông số kỹ thuật**

Thiết bị bay không người lái DJI Inspire 2	
Trọng lượng 4.250 g	
Tốc độ tối đa	58 dặm/ giờ
Thời gian bay lớn nhất	27 phút
Tần số ăng ten	2,4 và 5,8 GHz
Độ chính xác khi di chuyển (P-mode với GPS)	Dọc: $\pm 0,5$ m; ngang: $\pm 1,5$ m
Tần số hoạt động	2.400 - 2.483 GHz, 5.725 - 5.850 GHz
Dung lượng pin, điện áp, công suất, nguồn điện	Model TB50, 4.280 mAh, 22,8 V, 97,58 Wh, 180 W
Loại Camera	Zenmuse X4S và Zenmuse X5S
Độ phân giải	24 MP
Định dạng dữ liệu	JPEG hoặc DNG RAW
Góc chụp (FoV)	94 độ

Nguồn: <https://www.dji.com/global/inspire-2/features>



**Hình 3: Camera của thiết bị bay không người lái Inspire 2**

Nguồn: <https://www.dji.com/global/inspire-2/features>

### 2.1.2 Xác định điểm khống chế ảnh

Trước khi tiến hành bay chụp cần phải chọn điểm khống chế ảnh, một số điểm này dùng để xây dựng mô hình DSM và các điểm còn lại dùng để đánh giá độ chính xác của mô hình DSM. Số lượng điểm khống chế của khu vực nghiên cứu

bao gồm 62 điểm khống chế rải đều trong khu đo, các điểm này được đo truyền từ 02 điểm gốc tọa độ Nhà nước trong hệ tọa độ VN2000. Tuy nhiên, sau khi kiểm tra có 01 điểm không đạt độ chính xác yêu cầu nên đã được loại bỏ, do đó chỉ còn lại 61 điểm GCPs (dùng để nắn ảnh và kiểm

## Nghiên cứu

tra). Nghiên cứu đã sử dụng máy thu RTK ComNav T300 và phương pháp đo tĩnh để đo lưới khống chế ảnh. Các điểm khống chế được đánh dấu bằng vật liệu có độ phản chiếu cao để tăng độ tương phản. Vị trí các điểm được phân bố đều trên toàn bộ khu đo và bố trí tại các khu vực có độ cao khác nhau. Hình 4 là sơ đồ các điểm khống chế ảnh của khu vực nghiên cứu. Bảng 2 là tọa độ đo được của các điểm khống chế trong hệ tọa độ VN2000, múi 48.

### *2.1.3. Thu thập dữ liệu*

Nghiên cứu sử dụng phần mềm chuyên dụng Map Pilot để thiết kế tuyến bay tích hợp với nền bản đồ Google map. Quá trình bay chụp được tiến hành với chế độ bay an toàn (safe mode), do đó UAV có thể tự động di chuyển theo chương trình đã thiết kế. Tùy

thuộc vào mức độ an toàn của thiết bị bay như tình trạng của pin, nguy cơ va chạm với chướng ngại vật trên không, người điều khiển có thể quyết định dừng quá trình bay tự động để UAV hạ cánh [8]. Các thông số liên quan đến quá trình bay chụp được tính toán phù hợp với địa hình nghiên cứu với 10 dải bay, độ phủ của ảnh là 75 - 80 %, độ cao bay chụp 100 m và tốc độ bay khoảng 5 m/s. Ngoài ra, hệ thống UAV và không gian xung quanh vị trí cất, hạ cánh như nhà cao tầng, đường dây điện, cây, cột ăng ten, các trạm thu phát sóng,... được kiểm tra trước khi tiến hành bay chụp để đảm bảo an toàn và thu được tín hiệu GNSS tốt nhất. Kết quả là tổng cộng 411 ảnh đã được chụp bao phủ khu vực có diện tích 0,191 km<sup>2</sup>, các ảnh này được sử dụng để xây dựng DSM.

**Bảng 2. Tọa độ các điểm khống chế ảnh của khu vực nghiên cứu**

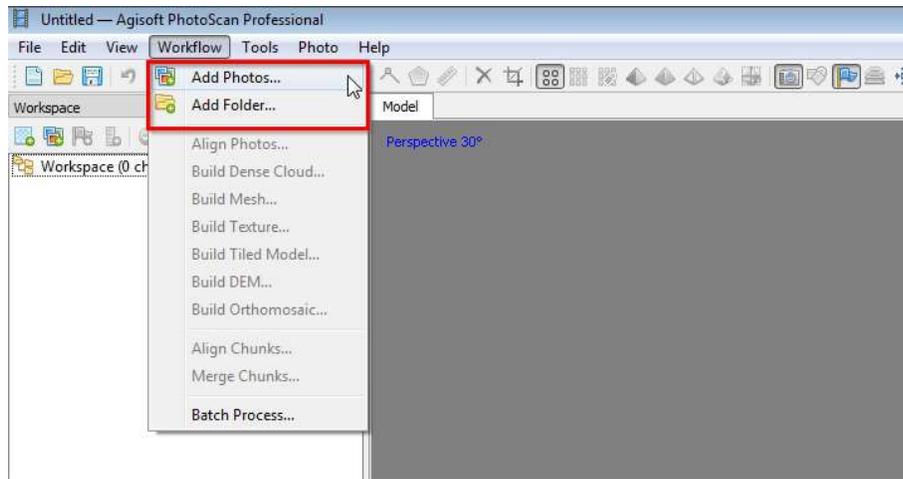
STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)	STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	GCP2	2392731	504184,7	121,863	32	GCP33	2392814	504397,6	113,806
2	GCP3	2392814	504328,7	115,799	33	GCP34	2392792	504377	120,643
3	GCP4	2392848	504436,5	121,255	34	GCP35	2392795	504416,7	125,033
4	GCP5	2392819	504469,7	107,365	35	GCP36	2392867	504625,5	117,968
5	GCP6	2392783	504298,5	108,914	36	GCP37	2392875	504561,7	119,292
6	GCP7	2392752	504242,1	109,008	37	GCP38	2392868	504513,4	119,308
7	GCP8	2392772	504520,4	102,346	38	GCP39	2392886	504465,2	121,075
8	GCP9	2392846	504405	121,29	39	GCP40	2392903	504436,6	123,348
9	GCP10	2392881	504414	123,716	40	GCP41	2392898	504341,4	129,93
10	GCP11	2392727	504599,5	93,876	41	GCP42	2392920	504302,2	142,566
11	GCP12	2392757	504607,9	93,81	42	GCP43	2392915	504248,8	147,621
12	GCP13	2392793	504589,1	93,938	43	GCP44	2392869	504207,4	140,417
13	GCP14	2392803	504549,1	94,608	44	GCP45	2392829	504194,9	124,947
14	GCP15	2392814	504512,3	99,419	45	GCP46	2392849	504207	134,861
15	GCP16	2392666	504316,2	137,099	46	GCP47	2392826	504241,7	129,474
16	GCP17	2392624	504541,7	90,42	47	GCP48	2392799	504244,6	117,191
17	GCP18	2392632	504432,7	106,294	49	GCP50	2392794	504157,8	108,346
18	GCP19	2392831	504546,6	105,345	50	GCP51	2392768	504653,6	78,705
19	GCP20	2392688	504232,3	142,342	51	GCP52	2392698	504637,5	82,054
20	GCP21	2392960	504349,7	114,589	52	GCP53	2392711	504609,9	85,326
21	GCP22	2392779	504398,6	121,067	53	GCP54	2392701	504580	92,781
22	GCP23	2392808	504349,1	110,241	54	GCP55	2392698	504545,1	93,238
23	GCP24	2392779	504333	110,611	55	GCP56	2392730	504523,1	102,096
24	GCP25	2392755	504339,5	110,238	56	GCP57	2392716	504497,1	103,295

STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)	STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)
25	GCP26	2392753	504364,6	111,105	57	GCP58	2392725	504465,6	104,459
26	GCP27	2392752	504400,7	109,595	58	GCP59	2392742	504436,1	106,283
27	GCP28	2392759	504431,4	109,491	59	GCP60	2392734	504390,7	111,191
28	GCP29	2392779	504449,5	111,318	60	GCP61	2392676	504350,3	120,293
29	GCP30	2392806	504457,7	110,827	61	GCP62	2392706	504305,7	111,994
30	GCP31	2392819	504434	112,926	62	GCP63	2392711	504259,2	123,172
31	GCP32	2392727	504599,5	93,876					

### 2.2. Xử lý dữ liệu

Có nhiều phần mềm xử lý ảnh UAV như Agisoft PhotoScan, PIX4D, Trimble Business Center, Erdas Leica Photogrammetry suite,... Nghiên cứu này sử dụng phần mềm Agisoft PhotoScan phiên bản 1.2 (Hình 4) để thực hiện khớp ảnh, tạo đám mây điểm, xây dựng DSM và thành

lập bình đồ ảnh. Phần mềm này với công nghệ Multi-View tái cấu trúc 3D là một trong những giải pháp hữu ích trong việc tạo ra ảnh 3D chất lượng cao từ ảnh tĩnh, hoạt động hiệu quả trong cả hai điều kiện có và không có kiểm soát. Quá trình căn chỉnh hình ảnh và tái tạo mô hình 3D đều hoàn toàn tự động trong phần mềm này [5].



Hình 4: Giao diện phần mềm Agisoft PhotoScan phiên bản 1.2

### 2.3. Đánh giá độ chính xác

Đây là bước cần thiết và quan trọng khi thành lập DSM từ ảnh UAV. Trong nghiên cứu này, độ chính xác của DSM được đánh giá bằng cách so sánh các điểm trên mô hình DSM với các điểm khống chế tương ứng ngoài mặt đất. Các điểm khống chế này không tham gia vào quá trình xử lý ảnh và đã được xác định tọa độ, độ cao. Các công thức sau đây được sử dụng trong quá trình đánh giá độ chính xác của DSM [4]:

$$\Delta X_i = X_{DSMi} - X_{GCPi} \quad (1)$$

$$\Delta Y_i = Y_{DSMi} - Y_{GCPi} \quad (2)$$

$$\Delta Z_i = Z_{DSMi} - Z_{GCPi} \quad (3)$$

$$RMSE_x = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i^2 \right]} \quad (4)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2 \right]} \quad (5)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2 \right]} \quad (6)$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2) \right]} \quad (7)$$

$$RMSE_{xyz} = \sqrt{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2) \right]} \quad (8)$$

## Nghiên cứu

trong đó:

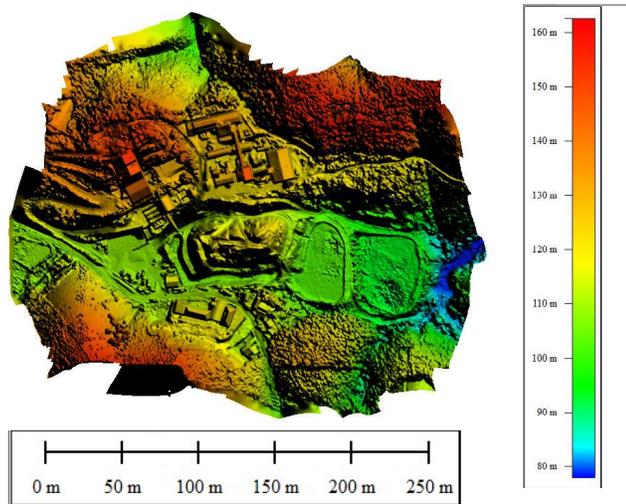
$X_{DSM_i}$  và  $X_{GCP_i}$ ;  $Y_{DSM_i}$  và  $Y_{GCP_i}$ ;  $Z_{DSM_i}$  và  $Z_{GCP_i}$ : Các thành phần tọa độ tương ứng của X, Y, Z của các điểm khống chế ảnh trên mô hình DSM và đo ngoài thực địa.

$\Delta X_p$ ,  $\Delta Y_p$ ,  $\Delta Z_p$ : Các giá trị chênh lệch thành phần tọa độ.

$RMSE_{X_p}$ ,  $RMSE_{Y_p}$ ,  $RMSE_{X_{YZ}}$ ,  $RMSE_{Z_p}$ ,  $RMSE_{XYZ}$ : Sai số trung phương tương ứng theo các hướng trục tọa độ X, Y, mặt bằng, độ cao và tổng hợp.



**Hình 5: Khu vực nghiên cứu**



**Hình 6: Mô hình số độ cao khu vực nghiên cứu**

### **3.2. Kết quả nghiên cứu và thảo luận**

Nghiên cứu sử dụng 30 điểm khống chế ảnh (GCPs - điểm tiêu màu vàng) để nắn ảnh và 31 điểm kiểm tra (CPs - điểm tiêu màu đỏ) để kiểm tra mô hình (Hình 7). Kết quả xử lý cho thấy các điểm khống chế ảnh được tính toán dựa vào bình sai khối ảnh đạt độ chính xác cao. Chênh lệch tọa độ của các GCPs đo thực tế và lấy trên mô hình DSM thể hiện trên Bảng 3. Theo đó, các sai số các điểm khống chế lớn nhất: Theo trục X là 6,892 cm, theo trục Y

n: Tổng số điểm khống chế ảnh.

## **3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận**

### **3.1. Khu vực thực nghiệm**

Địa điểm tiến hành thực nghiệm là khu chế biến và khai thác khoáng sản quặng sắt thuộc quản lý của Công ty TNHH Tân Tiến, tỉnh Yên Bái (Hình 5). Diện tích của khu vực này tuy không lớn (khoảng 0,191 km<sup>2</sup>) nhưng khá phức tạp với nhiều địa vật và chênh cao tương đối lớn (khoảng 86 m) (Hình 6).

là 5,535 cm, sai số độ cao là 8,490 cm, sai số tổng hợp vị trí điểm (mặt bằng và độ cao) là 12,228 cm. Ngoài ra, DSM được kiểm tra và đánh giá độ chính xác dựa vào 31 điểm CPs. Kết quả đánh giá cho thấy, sai số thành phần trục X lớn nhất là 8,101 cm tại điểm GCP 10; Trục Y là 7,110 cm tại điểm CP 43; Độ cao là 12,865 cm tại điểm CP 62 và sai số tổng hợp là 14,819 cm tại điểm CP62. Hình 8 thể hiện sai số vị trí các điểm GCPs và CPs sử dụng cho nắn ảnh và kiểm tra mô hình.



**Hình 7: Sơ đồ các điểm khống chế ảnh (màu vàng) và điểm kiểm tra (màu đỏ)**

Sau khi bình sai khối ảnh chính xác, điểm của khu vực thực nghiệm với tổng mô hình đám mây điểm được xây dựng số điểm là 317.789 điểm. Dựa vào đám với chất lượng chạy mô hình ở mức độ mây điểm 3D, mô hình số bề mặt được cao (high). Kết quả thu được đám mây thành lập (Hình 9).

**Bảng 3. Sai số của các điểm khống chế ảnh và điểm kiểm tra mô hình**

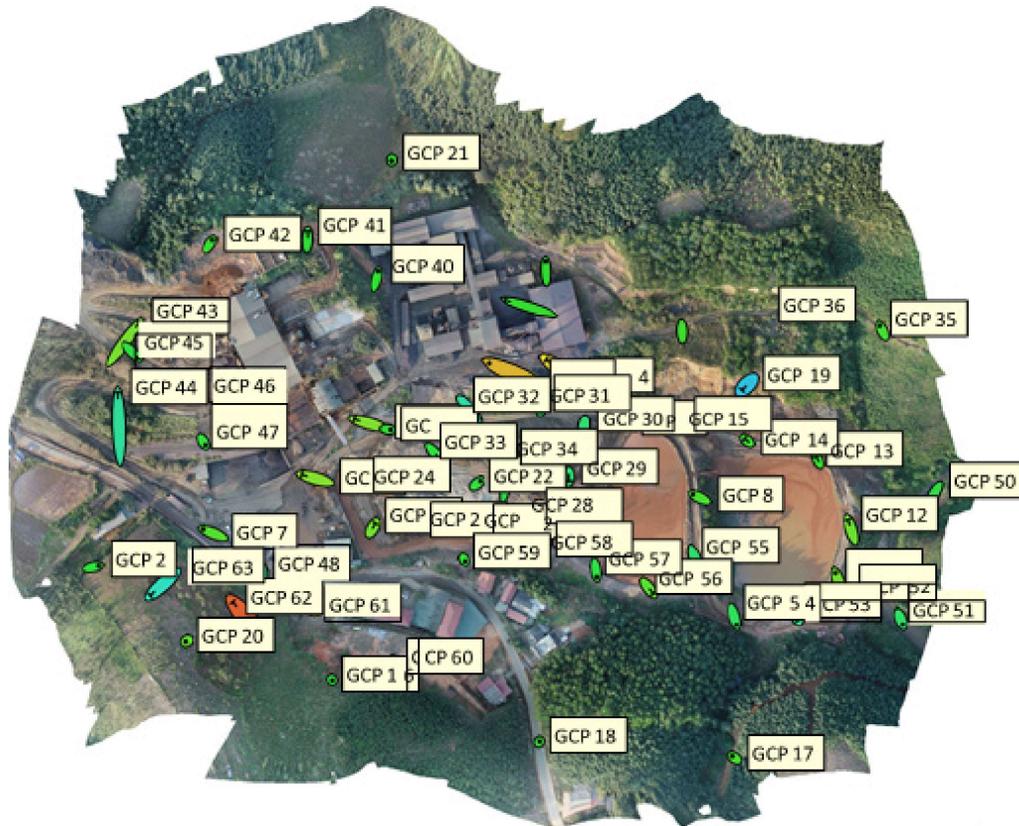
Điểm khống chế ảnh						Điểm kiểm tra mô hình					
Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Sai số Z (cm)	$m_{xy}$	$m_{xyz}$	Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Sai số Z (cm)	$m_{xy}$	$m_{xyz}$
GCP 2	3,177	0,713	-5,829	3,256	6,677	GCP 3	-7,918	2,342	7,047	8,257	10,856
GCP 7	-5,546	2,278	3,143	5,995	6,769	GCP 4	-5,605	5,013	10,136	7,520	12,621
GCP 8	-3,732	1,809	1,982	4,148	4,597	GCP 5	-7,307	3,716	5,938	8,197	10,122
GCP 9	6,892	5,471	8,490	8,800	12,228	GCP 6	-7,617	2,150	7,384	7,914	10,824
GCP 11	-1,850	5,535	5,629	5,836	8,108	GCP 10	-8,101	4,061	0,609	9,062	9,082
GCP 15	-1,170	0,469	-1,547	1,261	1,996	GCP 12	-1,848	5,692	5,052	5,985	7,832
GCP 16	0,170	-0,237	-1,101	0,292	1,139	GCP 13	-0,989	2,180	0,184	2,394	2,401
GCP 17	-1,312	1,002	1,768	1,651	2,419	GCP 14	-1,486	1,188	1,196	1,903	2,248
GCP 18	0,256	0,278	5,715	0,378	5,727	GCP 19	-2,725	-2,841	-10,576	3,937	11,285
GCP 20	-0,642	-0,380	3,609	0,746	3,685	GCP 25	1,473	2,658	5,662	3,039	6,426
GCP 21	-5,027	-0,480	5,256	5,050	7,289	GCP 26	2,236	-1,298	3,574	2,586	4,411
GCP 22	1,803	1,327	-1,202	2,239	2,541	GCP 27	1,205	-0,630	-0,181	1,360	1,372
GCP 23	1,644	-0,225	-0,220	1,660	1,674	GCP 28	0,279	-0,994	-0,792	1,032	1,301
GCP 24	1,826	1,385	-5,191	2,292	5,674	GCP 29	-0,095	-2,417	-5,324	2,419	5,848
GCP 31	-0,206	-3,652	-4,232	3,658	5,593	GCP 30	-0,486	-3,259	-5,806	3,295	6,676
GCP 35	-1,419	2,866	1,465	3,198	3,517	GCP 32	4,276	-5,257	-7,426	6,777	10,053
GCP 37	-0,162	3,953	1,340	3,957	4,177	GCP 33	2,950	-3,233	-1,346	4,377	4,579
GCP 39	-5,226	5,606	-5,230	7,664	9,278	GCP 34	2,085	6,086	-2,543	6,433	6,918

***Nghiên cứu***

Điểm khống chế ảnh						Điểm kiểm tra mô hình					
Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Sai số Z (cm)	$m_{xy}$	$m_{xyz}$	Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Sai số Z (cm)	$m_{xy}$	$m_{xyz}$
GCP 40	1,104	4,486	-4,138	4,620	6,202	GCP 36	0,157	4,161	3,311	4,164	5,320
GCP 42	1,622	2,495	5,375	2,975	6,143	GCP 38	-2,420	7,237	5,146	7,631	9,204
GCP 45	3,346	-3,368	-1,446	4,747	4,962	GCP 41	0,204	4,715	-0,765	4,720	4,781
GCP 46	5,019	-2,165	-3,638	5,466	6,566	GCP 43	7,171	7,110	6,195	10,098	11,847
GCP 47	1,193	-1,935	-1,081	2,273	2,517	GCP 44	-0,622	6,228	-5,277	6,259	8,187
GCP 48	-3,230	-3,240	-7,256	4,575	8,578	GCP 52	1,436	-4,065	-7,452	4,311	8,609
GCP 50	-2,575	-4,193	-5,870	4,920	7,660	GCP 53	1,926	-3,652	-7,273	4,129	8,363
GCP 51	1,131	-2,980	-4,597	3,187	5,594	GCP 56	2,490	-3,161	3,433	4,024	5,290
GCP 54	1,341	-4,680	-3,790	4,869	6,170	GCP 58	0,267	0,134	4,812	0,298	4,821
GCP 55	1,910	-4,821	-5,272	5,186	7,395	GCP 60	-0,025	1,590	15,941	1,590	16,020
GCP 57	3,012	-3,962	-4,317	4,977	6,588	GCP 61	1,001	-0,298	6,675	1,044	6,756
GCP 59	5,001	-1,048	-4,149	5,109	6,581	GCP 62	-5,154	5,247	12,865	7,355	14,819
						GCP 63	-6,029	-4,206	-12,245	7,351	14,282

**Bảng 4. Sai số trung phương của các điểm khống chế và điểm kiểm tra**

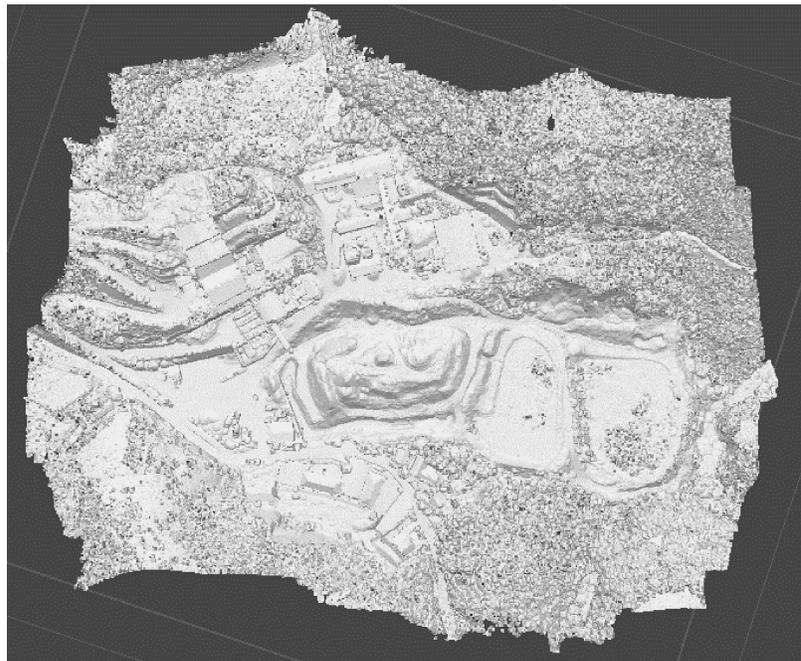
Số điểm	Sai số trung phương RMSE (cm)					Ghi chú
	$m_x$	$m_y$	$m_z$	$m_{xy}$	$m_{xyz}$	
30	3,015	3,102	4,313	4,326	6,108	Điểm khống chế nền ảnh
31	3,848	3,947	6,754	5,512	8,718	Điểm kiểm tra mô hình



**Hình 8: Sai số vị trí các điểm GCP và CP**

Bên cạnh việc đánh giá mô hình dựa vào các điểm khống chế GCPs và điểm kiểm tra CPs, độ chính xác tổng thể của DSM còn được đánh giá bằng sai số trung phương RMSE theo các công thức từ (4) đến (8) (Bảng 4). Với sai số trung phương tổng thể là 6,108 cm cho các điểm GCPs và 8,718 cm cho các điểm kiểm tra mô hình cho thấy, các kết quả này đều đáp ứng yêu cầu về độ chính xác để thành lập bản đồ 1:1.000 cho các dự án về khai thác

mỏ. Ngoài ra, các sai số thu được chỉ ra rằng mô hình DSM tạo ra từ ảnh UAV có độ trùng khớp cao so với địa hình thực tế của khu vực thực nghiệm. Kết quả kiểm tra khẳng định phương pháp sử dụng UAV để thành lập mô hình số bề mặt là hoàn toàn khả thi và đảm bảo được độ chính xác yêu cầu. Công nghệ này có thể áp dụng ở những khu vực có diện tích và địa hình tương tự như khu vực thực nghiệm của nghiên cứu này.



***Hình 9: DSM khu vực thực nghiệm***

#### **4. Kết luận**

Nghiên cứu đã sử dụng ảnh chụp từ thiết bị bay không người lái DJI Inspire 2 và phần mềm xử lý ảnh Agisoft để xây dựng mô hình số bề mặt khu vực mỏ khai thác khoáng sản Yên Bái. Độ chính xác được đánh giá bằng cách so sánh với các điểm khống chế trên mô hình DSM và ngoài thực tế. Kết quả thực nghiệm cho thấy tiềm năng của công nghệ UAV trong việc thu thập dữ liệu địa hình phục vụ việc tạo ra các mô hình 3D có độ chính xác cao, tỷ lệ lớn cho những khu vực có diện tích nhỏ. Phương pháp đề xuất có thể được áp

dụng cho các khu vực có đặc điểm và địa hình tương tự như khu vực nghiên cứu. Mặc dù còn tồn tại một số hạn chế như thời gian bay chụp không dài do dung lượng của pin thấp, phụ thuộc vào điều kiện thời tiết,... nhưng hệ thống UAV có thể thực hiện công tác thu thập dữ liệu trên mọi địa hình khác nhau, đặc biệt là những khu vực khó tiếp cận hoặc không an toàn. Ngoài ra, khi sử dụng thiết bị bay UAV giá thành thấp để chụp ảnh các khu vực khai thác khoáng sản cần phải quan tâm đến độ cao bay chụp, máy bay phải bay cao hơn đỉnh cao nhất của khu vực đó để tránh va chạm.

## Nghiên cứu

Trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ tập trung nghiên cứu sâu hơn về các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của DSM.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành dựa vào kết quả của đề tài cấp cơ sở “Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của số lượng và phân bố điểm không chế ảnh đến độ chính xác xây dựng mô hình số bề mặt từ dữ liệu ảnh UAV (thực nghiệm tại một mỏ khai thác khoáng sản lộ thiên)”. Trường Đại học Thủy lợi, mã số: CS2024-06.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Tiến Diệu và nnk (2016). *Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái (UAV)*. Hội nghị khoa học: Đo đạc bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu, Hà Nội.
- [2]. Phạm Thị Làn và nnk (2022). *Ứng dụng công nghệ UAV xây dựng mô hình số bề mặt và bình đồ ảnh; Thực nghiệm tại phường Hùng Thắng, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh*. Tạp chí Tài nguyên và Môi trường, 6(380).
- [3]. 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 mỏ lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng*. Tạp chí Công nghiệp mỏ, 1, tr. 21 - 29.
- [4]. Nguyễn Quốc Long (2021). *Đánh giá độ chính xác mô hình số bề mặt mỏ lộ thiên thành lập từ dữ liệu máy bay không người lái có định vị tâm chụp ảnh bằng công nghệ đo động xử lý sau*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất 62(4), tr. 38 - 47.
- [5]. Nguyễn Việt Nghĩa (2020). *Xây dựng mô hình số độ cao cho mỏ lộ thiên có độ sâu lớn từ dữ liệu ảnh chụp bằng thiết bị bay Inspire 2*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, 61(1), tr. 1 - 10.
- [6]. Bùi Ngọc Quý, Phạm Văn Hiệp (2017). *Nghiên cứu xây dựng mô hình 3D từ dữ liệu ảnh máy bay không người lái (UAV)*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, 4(58), tr. 1 - 11.
- [7]. Tống Sĩ Sơn và nnk (2018). *Nghiên cứu đề xuất quy trình bay chụp và thử nghiệm thành lập mô hình số bề mặt địa hình và bình đồ ảnh từ máy bay không người lái*. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, 36, tr. 44 - 51.
- [8]. Ngô Thị Phương Thảo và nnk (2017). *Đánh giá độ chính xác mô hình số bề mặt và bản đồ ảnh trực giao thành lập từ phương pháp ảnh máy bay không người lái (UAV)*. 58, tr. 18 - 27.
- [9]. Bhandari, B., U. Oli, U. Pudasaini, N. Panta (2015). *Generation of high resolution DSM using UAV images*. FIG working week.
- [10]. Hassan, H. A., S. A. Mahmood, S. Batool, A. Amer, M. Khurshid, H. Yaqub and S. A. J. I. J. Gill (2020). *Generation of Digital Surface Model (DSM) using UAV/Quadcopter*. 2(3): 89 - 107.
- [11]. Li, J., M. Ai, Q. Hu and D. Fu (2014). *A novel approach to generating DSM from high-resolution UAV images*. 22<sup>nd</sup> International Conference on Geoinformatics, IEEE.
- [12]. Ruzgienė, B., T. Berteška, S. Gečyte, E. Jakubauskienė and V. Č. J. M. Aksamitauskas (2015). *The surface modeling is based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation*. 73: 619 - 627.
- [13]. Tien Bui, D., N. Q. Long et. al., (2018). *Lightweight unmanned aerial vehicle and structure-from-motion photogrammetry for generating digital surface model for open-pit coal mine area and its accuracy assessment*. Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources: Proceedings of the International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources 2017, Springer.
- [14]. Uysal, M., A. Toprak and N. Polat (2015). *DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill*. Measurement, 73, tr. 539 - 543.
- [15]. Wierzbicki, D., M. Nienaltowski (2019). *Accuracy analysis of a 3D Model of excavation, created from images acquired with an action camera from low altitudes*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(2), tr. 83.

BBT nhận bài: 18/3/2024; Phản biện xong: 25/3/2024; Chấp nhận đăng: 28/3/2024