

# NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ BAY UAV TRONG KHẢO SÁT ĐỊA HÌNH CÔNG TRÌNH DẠNG TUYẾN - ỨNG DỤNG CHO ĐOẠN ĐƯỜNG ĐÊ XUÂN QUAN, HÀ NỘI

Lương Ngọc Dũng<sup>a,\*</sup>, Trần Đình Trọng<sup>a</sup>, Vũ Đình Chiều<sup>a</sup>, Bùi Duy Quỳnh<sup>a</sup>,

Hà Thị Hằng<sup>a</sup>, Dương Công Hiếu<sup>b</sup>, Nguyễn Đình Huy<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>b</sup>Viện Công nghệ Trắc địa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 13/9/2021, Sửa xong 12/10/2021, Chấp nhận đăng 27/10/2021

---

## Tóm tắt

Giải pháp thành lập bản đồ địa hình bằng thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) đang ngày càng phổ biến ở Việt Nam. Đã có nhiều nghiên cứu chứng minh thiết bị UAV đảm bảo độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn, tuy nhiên chưa có các giải pháp cụ thể cho công trình đặc thù dạng tuyến. Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là các chế độ bay phù hợp cho công tác khảo sát địa hình các công trình dạng tuyến. Đối tượng thực nghiệm, một đoạn đường bộ thuộc địa phận đê Xuân Quan, Hà Nội, được khảo sát bằng thiết bị UAV Phantom 4 Pro với các chế độ khác nhau trên các phần mềm điều khiển bay có sẵn. Kết quả thực nghiệm các chế độ bay được so sánh với kết quả đo định vị động thời gian thực (Global Navigation Satellite System/Real Time Kinematic - GNSS/RTK) để đánh giá độ chính xác. Nghiên cứu chỉ ra kiểu bay dải phủ trùm, đối với công trình dạng tuyến, thích hợp ở các giai đoạn thiết kế kỹ thuật và thiết kế thi công. Trong khi kiểu bay 2 dải đơn phù hợp và hiệu quả cho các quá trình quy hoạch, đánh giá sơ bộ công trình dạng tuyến.

*Từ khoá:* UAV; chế độ bay; khảo sát địa hình; công trình dạng tuyến; độ chính xác.

STUDYING OF UAV FLIGHT MODE FOR THE LINE CONSTRUCTIONS TOPOGRAPHIC SURVEYING – A CASE STUDY ON XUAN QUANG DIKE ROAD, HANOI

## Abstract

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) has become a commonly used solution for topographic surveying application in Vietnam. There have been many studies proving that UAV ensures the accuracy of large-scale topographic mapping, but there are no specific solutions for the line construction. This study aims to suitable flight mode was carried out with a dike road section in Xuan Quan, Hanoi by Phantom 4 Pro UAV. Experimentally, we use different modes on available flight autonomy software, results could compare the UAV data with the GNSS/RTK data to evaluate accuracy of topographic surveying. The study shows that the grid flight mode, for line construction, is suitable for the engineering design and the construction design. While the single 2-strip flight mode is suitable and effective for the planning processes, the preliminary evaluation of the line construction.

*Keywords:* UAV; flight modes; topographic surveying; line construction; accuracy.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(7V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-12) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

---

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [dungln@nuce.edu.vn](mailto:dungln@nuce.edu.vn) (Dũng, L. N.)

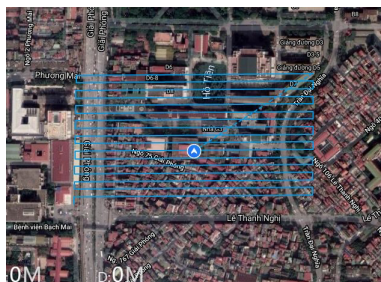
## 1. Giới thiệu

Tài liệu khảo sát địa hình cơ bản bao gồm bản đồ và mặt cắt địa hình tỷ lệ lớn. Bản đồ địa hình lại được chia thành hai dạng chủ yếu, phụ thuộc vào đặc điểm khu vực khảo sát, là dạng vùng và dạng tuyến. Phương pháp khảo sát địa hình công trình hiện nay thường dùng các phương pháp trực tiếp như toàn đạc điện tử hoặc công nghệ định vị vệ tinh (GNSS) và gián tiếp như bay chụp ảnh bằng thiết bị bay không người lái (UAV).

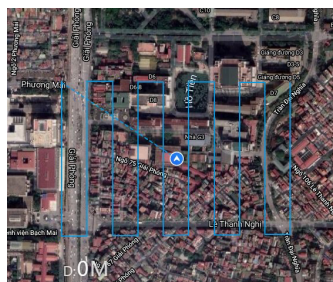
Công nghệ viễn thám, ảnh hàng không là một trong các giải pháp thành lập bản đồ địa hình đã được phát triển từ lâu với nhiều ưu thế về thời gian, nhân lực so với các phương pháp đo vẽ trực tiếp. Phát huy ưu điểm phương pháp bay chụp với mục đích thành lập tài liệu khảo sát địa hình công trình tỷ lệ lớn, UAV được ứng dụng ngày càng rộng rãi. Khái niệm UAV ở đây dùng để chỉ thiết bị bay có kích thước nhỏ và không có phi công điều khiển. Các bộ phận cơ bản của UAV bao gồm một máy bay không người lái nhỏ, một hệ thống điều khiển bay trên mặt đất và một hệ thống truyền tín hiệu giữa máy bay và bộ điều khiển.

Tác giả [1] trình bày về quy trình công nghệ sử dụng UAV để xây dựng các sản phẩm bản đồ địa hình. Trong quy trình thành lập bản đồ địa hình bằng UAV có hai công đoạn chính là quy trình thiết kế bay chụp và xử lý ảnh chụp từ UAV. Nhiệm vụ cơ bản của quy trình thiết kế bay chụp bao gồm tính toán độ cao bay chụp, tổng số đường bay, tổng số ảnh và tốc độ chụp ảnh [2]. Độ chính xác các sản phẩm bản đồ của công nghệ UAV sẽ phụ thuộc vào chất lượng ảnh thu thập và thuật toán xử lý ảnh. Hiện nay có rất nhiều các sản phẩm phần mềm miễn phí và thương mại được sử dụng rộng rãi để xử lý ảnh UAV [1, 3].

Đã có rất nhiều ứng dụng UAV thu thập và thành lập tài liệu khảo sát địa hình nhằm xây dựng mô hình hiện trạng trong công tác thiết kế, quản lý, giám sát hạ tầng, giao thông [4–6]; nghiên cứu hình thái bề mặt đất và biến đổi nhiệt độ môi trường vùng bờ biển [7–9]; nghiên cứu về sự thay đổi địa mạo của các dòng chảy nhỏ trên bề mặt trái đất cùng sự xói mòn đất [10]. Ngoài ra cũng có nhiều nghiên cứu sử dụng công nghệ UAV ứng dụng trong việc mô phỏng lại bề mặt địa hình [1, 11, 12].



(a) Dải bay ngang



(b) Dải bay dọc



(c) Dải bay dọc và ngang

Hình 1. Ví dụ một số chế độ bay kiểu dải phủ trùm

Trong các ứng dụng UAV ở trên có chung đặc điểm là chế độ bay được thực hiện kiểu dải phủ trùm (với các dải bay dọc, ngang hoặc cả hai) khu vực khảo sát, Hình 1. Với rất nhiều đối tượng dạng tuyến (bề rộng hẹp trên một tuyến kéo dài), kiểu bay này không bám sát được tuyến khảo sát và làm mất hiệu quả công việc trong các trường hợp cần khảo sát nhanh để đánh giá sơ bộ tuyến khảo sát.

Mục tiêu bài báo trình bày về giải pháp bay phù hợp để thành lập tài liệu khảo sát địa hình cho các đối tượng công trình dạng tuyến. Nội dung chính bao gồm (i) Nguyên lý bay chụp UAV và các yếu tố độ chính xác; (ii) Phân tích thực nghiệm chế độ bay một đoạn đường bộ thuộc địa phận đê Xuân

Quan, Long Biên, Hà Nội với thiết bị Phantom 4 Pro và (iii) Đánh giá độ chính xác thành lập tài liệu khảo sát địa hình phương pháp bay chụp UAV khi so sánh với các trị đo trực tiếp mặt đất bằng công nghệ định vị vệ tinh GNSS theo nguyên lý đo động thời gian thực RTK.

## 2. Nguyên lý bay chụp và độ chính xác

Mục đích phương pháp bay chụp UAV là việc thu thập các tấm ảnh chồng xếp (có độ phủ dọc và ngang) để từ đó xây dựng các sản phẩm mô phỏng bề mặt địa hình như ảnh trực giao, mô hình số địa hình, mô hình khối 3D. Độ chính xác sản phẩm được đánh giá dựa trên sai số vị trí và độ cao điểm ảnh so với các tiêu chuẩn kỹ thuật thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

### 2.1. Các yếu tố bay chụp

Phụ thuộc vào đặc điểm về diện tích khu vực bay và độ chính xác sản phẩm mô phỏng bề mặt địa hình, quá trình thiết kế bay chụp sẽ xác định các yếu tố độ cao bay chụp, tổng số đường bay, tổng số ảnh chụp và tốc độ chụp ảnh. Chất lượng ảnh được đánh giá bởi độ phân giải điểm ảnh hay nói cách khác là các kích thước pixel ảnh được thể hiện. Với việc thông số kỹ thuật của máy ảnh đặt trên thiết bị UAV đã được xác định cụ thể, chất lượng ảnh bay chụp sẽ phụ thuộc chính vào độ cao bay chụp [11]. Việc lựa chọn độ cao bay chụp [1] được xác định theo công thức (1).

$$H = W.K.F/S.100 \quad (1)$$

trong đó,  $H$  là chiều cao bay chụp;  $W$  là kích thước độ rộng tấm ảnh chụp;  $K$  là kích cỡ điểm ảnh mong muốn;  $F$  là độ dài tiêu cự máy chụp ảnh và  $S$  là chiều rộng cảm biến thu nhận ảnh.

Độ phủ ảnh là một trong các yếu tố liên quan tới chất lượng sản phẩm mô phỏng bề mặt địa hình. Độ phủ ảnh sẽ quyết định tới số lượng ảnh chụp, điều này ảnh hưởng tới dung lượng dữ liệu trong quá trình bay chụp cũng như khả năng xử lý số liệu ảnh. Các yếu tố về số dải bay, tổng số ảnh và tốc độ chụp ảnh được tính toán trên cơ sở độ phủ ảnh (dọc và ngang), chi tiết bạn đọc có thể tìm hiểu trong các tài liệu [1, 2].

### 2.2. Độ chính xác của phương pháp

Ở khía cạnh độ chính xác, trong nghiên cứu của mình, các tác giả [12] đã chứng minh chất lượng mô hình số địa hình bề mặt đất tự nhiên phụ thuộc vào thông số kỹ thuật máy chụp ảnh và giải pháp xử lý dữ liệu của các phần mềm. Hiện nay các phần mềm được đánh giá tối ưu xử lý ảnh nhờ thuật toán SfM (Structure-from-Motion) [13].

Như vậy chúng ta có thể thấy với cùng thiết bị UAV, độ cao bay chụp sẽ là một yếu tố chính tác động tới các sản phẩm bay chụp. Trong nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng độ cao bay chụp tới an toàn thiết bị bay và độ chính xác mô hình số độ cao (DEM) ở khu vực khảo sát có độ cao địa hình từ 20 m đến 100 m so với mặt nước biển. Các tác giả [14] đã chọn điểm cất cánh tại vị trí có độ cao 80 m và thực nghiệm ở năm độ cao bay chụp UAV Phantom 4 Pro tương ứng là 50 m, 100 m, 150 m, 200 m và 250 m. Địa hình khu vực thực nghiệm là một vùng mỏ đá có địa hình phức tạp, độ chính xác của mô hình DEM được so sánh với các trị đo mặt đất GNSS/RTK (305 điểm) và toàn đạc điện tử (80 điểm). Kết quả độ cao bay chụp ảnh, từ 50 m đến 250 m ảnh hưởng đến độ chính xác mô hình DEM trong khoảng 8,5 cm - 12,5 cm đối với sai số độ cao và 7,9 cm - 12,2 cm đối với sai số mặt bằng.

Thực nghiệm trong một khu vực nhỏ, với địa hình tương đối bằng phẳng, các tác giả [1] sử dụng UAV Phantom 3 Pro bay ở độ cao 120 m để xây dựng mô hình DEM. So sánh giá trị độ cao 06 điểm khống chế ảnh và 03 điểm kiểm tra trích xuất từ mô hình DEM và giá trị đo GPS/RTK (có độ chính

xác đo cao 5 cm), tác giả thu được sai số trung phương (RMSE) tương ứng là 6,57 cm và 10,76 cm. Sử dụng UAV cánh liền C-Astral Bramor để bay chụp khu vực địa hình với đặc điểm thực phủ lớn, nhiều khối nhà cao tầng, tác giả [15] chỉ ra khả năng thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1/200 với sai số trung phương điểm mặt bằng là 41 mm và độ cao là 68 mm. Ở một nghiên cứu khác, sau khi thực nghiệm thành lập các tài liệu khảo sát địa hình ở tỷ lệ 1/1000, tác giả [16] cũng khẳng định việc sử dụng UAV hoàn toàn đáp ứng công tác khảo sát địa hình trong quá trình thiết kế các công trình giao thông.

Chất lượng của tài liệu khảo sát địa hình phụ thuộc vào hai yếu tố cơ bản là mức độ chi tiết biểu diễn bề mặt địa hình và độ chính xác điểm chi tiết biểu diễn. Như vậy để đánh giá chất lượng tài liệu khảo sát địa hình được xây dựng từ UAV, phương pháp hiệu quả nhất là so sánh giá trị cao tọa độ các điểm đo trực tiếp trên mặt đất (bằng GNSS/RTK hoặc toàn đạc điện tử) với các điểm tương ứng trên các sản phẩm mô phỏng bề mặt đất. Các nghiên cứu trên đã chỉ ra khả năng thành lập các loại tài liệu khảo sát địa hình ở tỷ lệ lớn đảm bảo độ chính xác của UAV.

Một trong các nhược điểm lớn nhất của công nghệ UAV hiện nay là thời gian bay nhỏ (khoảng 15 – 25 phút/lượt bay) [1]. Với các công trình dạng tuyến có bề rộng không lớn, nếu thực hiện việc bay chụp theo dạng dải bay đơn (1 hoặc 2 dải bay bám sát dọc theo tuyến) sẽ tiết kiệm thời gian và tổng dung lượng ảnh trong quá trình ngoại nghiệp cũng như hiệu quả trong quá trình xử lý ảnh. Tuy nhiên với kiểu bay này, các sản phẩm mô phỏng bề mặt địa hình sẽ kém chất lượng hơn. Do đó câu hỏi đặt ra là các sản phẩm này có đảm bảo chất lượng xây dựng tài liệu khảo sát địa hình dạng tuyến ở tỷ lệ lớn.

### 3. Khu vực nghiên cứu, phương pháp và kết quả nghiên cứu

#### 3.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm được chọn là một đoạn đường đê Xuân Quan, Long Biên, Hà Nội có độ dài khoảng 0,6 km. Khu vực khảo sát có diện tích khoảng 4 ha với địa hình quang đàng, ít địa vật và chênh lệch độ cao địa hình khoảng 10 m (Hình 2). Thiết bị UAV thực hiện bay chụp là Phantom 4 Pro và lựa chọn phần mềm Agisoft Megashape dùng để xử lý số liệu bay chụp UAV vì đây là một phần mềm được đánh giá có giải pháp xử lý ảnh và hiệu chỉnh ảnh tự động hiệu quả [3].



Hình 2. Khu vực thực nghiệm bay chụp UAV cùng vị trí phân bố các điểm khống chế mặt đất và điểm kiểm tra được đánh dấu bằng các ảnh lộ tiêu (ảnh nhỏ, góc dưới bên phải)

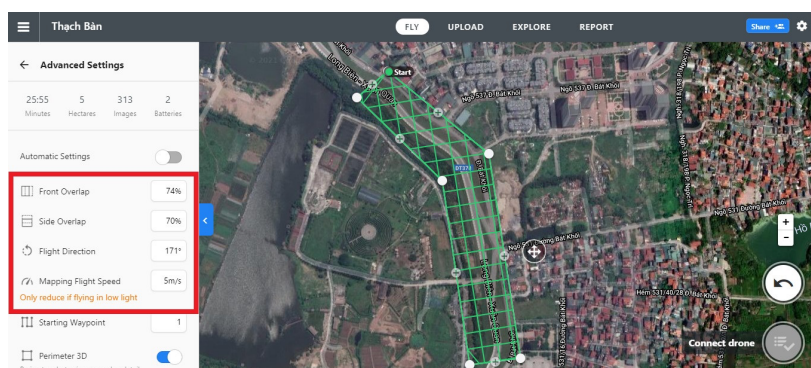
#### 3.2. Phương pháp nghiên cứu

Các điểm lộ tiêu LT3, LT6 và LT10 khống chế mặt đất được phân bố đều trên toàn tuyến dùng để nắn ảnh còn 7 điểm khác được dùng để kiểm tra độ chính xác mặt bằng.



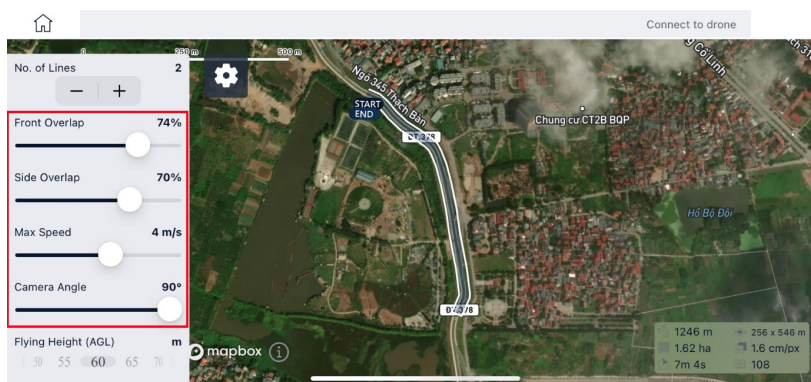
Bên cạnh đó chúng tôi cũng xác định mở rộng thêm 47 điểm chi tiết trên khu vực thực nghiệm để đánh giá độ chính xác độ cao. Hệ thống điểm khống chế mặt đất và các điểm chi tiết đo theo công nghệ GNSS/RTK với thiết bị Trimble R8S trong hệ tọa độ VN 2000, múi chiếu 3 độ, kinh tuyến trực 1050, hệ độ cao Nhà nước.

Với phần mềm điều khiển bay DroneDeploy chúng tôi thực hiện bay theo kiểu dải phủ trùm ở độ cao 80 m (sau đây còn gọi là kiểu bay 1). Kết quả trong khoảng thời gian bay chụp hơn 25 phút (với một lần hạ cánh thay pin) thu nhận được 313 tấm ảnh có độ phủ dọc 74% và độ phủ ngang 70% (Hình 3).



Hình 3. Kiểu bay dải phủ trùm ở độ cao 80 m

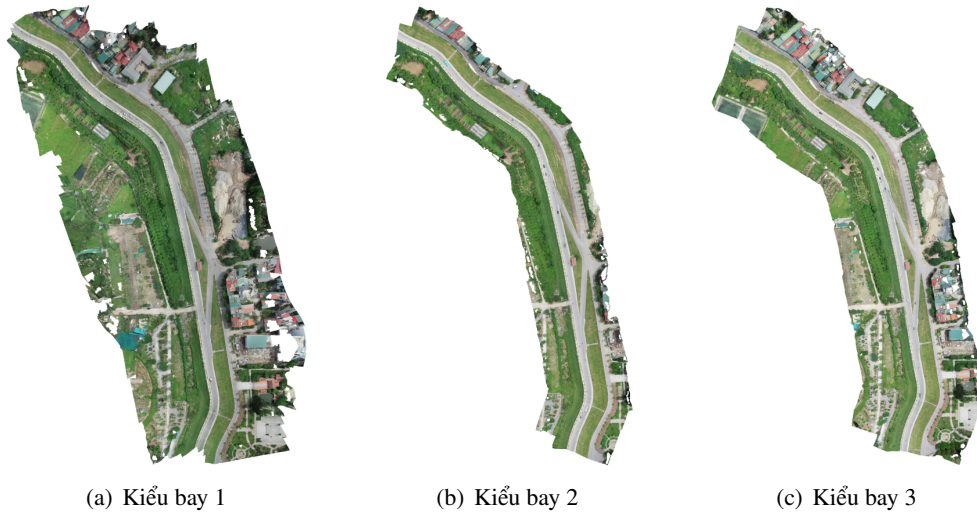
Do DroneDeploy không hỗ trợ chế độ bay dạng dải đơn bám sát theo tuyến khảo sát nên chúng tôi sử dụng phần mềm điều khiển bay 3Dsurance thực hiện kiểu bay dạng 2 dải đơn ở các độ cao 60 m và 80 m (sau đây còn gọi là các kiểu bay 2 và 3). Cài đặt thông số độ phủ dọc và ngang tương tự kiểu bay 1, sau khoảng thời gian bay xấp xỉ 7 phút/mỗi trường hợp chúng tôi lần lượt thu được 108 và 81 tấm ảnh (Hình 4).



Hình 4. Kiểu bay 2 dải đơn ở độ cao 60 m

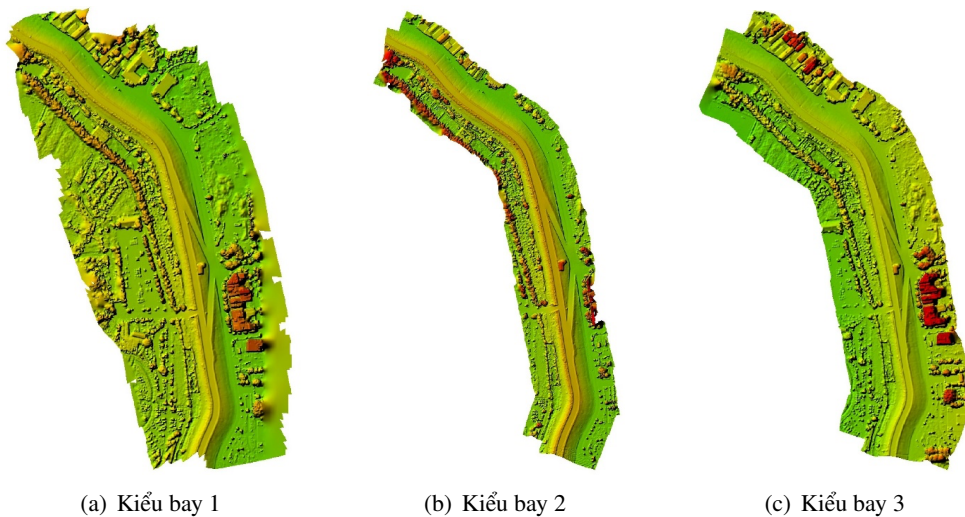
### 3.3. Kết quả và thảo luận

Quá trình xử lý với phần mềm Agisoft Megashape cho thấy thời gian xử lý đối với kiểu bay dải phủ trùm mất thời gian gấp 6 lần bay dạng dải đơn. Kết quả thu được gồm có ảnh trực giao (Hình 5) và mô hình độ cao khu vực thực nghiệm (Hình 6).



Hình 5. Ảnh trực giao khu vực khảo sát địa hình

Rõ ràng chế độ bay theo kiểu bay 1, Hình 5(a), sẽ cho độ phủ ngang khu vực khảo sát tốt hơn kiểu bay 2 và 3, Hình 5(b), (c). Tuy nhiên với việc mất nhiều thời gian bay và xử lý hình ảnh điều này là không cần thiết đối với các công trình có dạng tuyến.



Hình 6. Mô hình số độ cao khu vực khảo sát địa hình

Trong Hình 6 mô hình số độ cao của các trường hợp bay chụp đều biểu diễn tốt kiểu dáng tổng thể địa hình khu vực khảo sát, chúng ta đều dễ nhận biết được tuyến khảo sát (đoạn đường đê Xuân Quan) có độ cao lớn hơn khu vực hai bên. Tuy nhiên cần đánh giá chi tiết thêm về chất lượng mô hình độ cao có đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật tài liệu khảo sát địa hình tỷ lệ lớn.

Đánh giá chất lượng sản phẩm bay chụp UAV, tiêu chí sai số trung phương (RMS) được sử dụng khi so sánh tọa độ điểm trích xuất trên ảnh trực giao và mô hình số độ cao với các trị đo trực tiếp mặt đất bằng GNSS/RTK, công thức (2).

$$\begin{aligned} E_i^X &= X_i^{UAV} - X_i^{RTK} \\ E_i^Y &= Y_i^{UAV} - Y_i^{RTK} \\ E_i^H &= H_i^{UAV} - H_i^{RTK} \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó,  $X_i^{UAV}, Y_i^{UAV}, H_i^{UAV}$  là tọa độ và cao các điểm xác định trên mô hình bay chụp UAV;  $X_i^{RTK}, Y_i^{RTK}, H_i^{RTK}$  là giá trị tọa độ và độ cao các điểm xác định trực tiếp bằng GNSS/RTK;  $E_i^X, E_i^Y, E_i^H$  là chênh lệch tọa độ và cao độ các điểm.

Sai số trung phương vị trí điểm mặt bằng và độ cao được xác định lần lượt theo các công thức (3), (4).

$$\begin{aligned} RMS_X &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(E_i^X)^2}{n}} \\ RMS_Y &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(E_i^Y)^2}{n}} \\ RMS_P &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{[(E_i^X)^2 + (E_i^Y)^2]}{n}} \end{aligned} \quad (3)$$

trong đó,  $RMS_X$  là sai số trung phương mặt bằng theo phương  $X$ ;  $RMS_Y$  là sai số trung phương mặt bằng theo phương  $Y$ ,  $RMS_P$  là sai số trung phương mặt bằng tổng hợp và  $n$  là số điểm được xác định bằng hai phương pháp UAV và GNSS/RTK.

$$RMS_H = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(E_i^H)^2}{n}} \quad (4)$$

trong đó,  $RMS_H$  là sai số trung phương độ cao.

Đánh giá độ chính xác các điểm khống chế mặt đất, trong Bảng 1 chúng ta có sai số trung phương cho các trường hợp bay dải phủ trùm ở độ cao 80 m và bay dạng 2 dải đơn ở độ cao 60 m và 80 m. Sai số trung phương 3 điểm nấn ảnh trong tất cả các trường hợp có giá trị rất nhỏ, cỡ milimet, cho thấy chất lượng xử lý ảnh là rất tốt.

Đối với 7 điểm lộ tiêu (LT1, LT2, TL4, LT5, LT7, LT8 và LT9) dùng kiểm tra độ chính xác mô hình cho thấy tương ứng với các kiểu bay 1, 2 và 3 là sai số trung phương mặt bằng ( $RMS_P$ ) lần lượt có giá trị 3,05 cm, 5,96 cm và 27,99 cm (Bảng 2). Như vậy kiểu bay dải phủ trùm có độ chính xác tốt hơn nhiều so với kiểu bay dạng 2 dải đơn và độ cao bay chụp ở cùng dạng kiểu bay cũng là yếu tố quan trọng quyết định độ chính xác mặt bằng. Theo tiêu chuẩn kỹ thuật thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn [17], sai số trung phương xác định vị trí điểm địa vật không quá 0,3 mm nhân với tỷ lệ bản đồ, có thể thấy sản phẩm bay chụp UAV với kiểu bay 1 và 2 đảm bảo công tác biên tập địa vật bản đồ địa hình tỷ lệ 1/500 trong khi kiểu bay 3 cho phép biên tập bản đồ tỷ lệ 1/1000. Về sự phân bố sai số trung phương mặt bằng, ở kiểu bay 2 và 3 chúng ta có  $RMS_X$  (hướng dọc tuyến) có độ chính xác kém hơn rất nhiều so với  $RMS_Y$  (hướng vuông tuyến) trong khi kiểu bay 1 có sự phân bố tương đối đồng đều.

Về khía cạnh sai số trung phương độ cao ( $RMS_H$ ) của các điểm đặc trưng địa hình khu vực khảo sát trong Bảng 2, tài liệu kỹ thuật [17] cũng nêu rõ không được vượt quá 1/3 giá trị khoảng cao đều đường đồng mức. Nếu lựa chọn khoảng cao đều đường đồng mức 0,5 m, tương đương sai số trung

Bảng 1. Sai số trung phương (RMS) 3 điểm nắn ảnh sử dụng để hiệu chỉnh mô hình

Kiểu bay dải phủ trùm; độ cao bay: 80 m				
Vị trí	$E_i^X$ (cm)	$E_i^Y$ (cm)	$P$ (cm)	$E_i^H$ (cm)
LT3	-0,18	-0,28	0,34	0,00
LT6	-0,39	-0,36	0,53	-0,01
LT10	0,57	0,64	0,85	0,01
RMS	0,41	0,45	0,61	0,01
Kiểu bay 2 dải đơn; độ cao bay: 60 m				
LT3	-0,06	-0,03	0,07	0,00
LT6	-0,11	-0,03	0,12	0,00
LT10	0,18	0,06	0,19	0,00
RMS	0,13	0,04	0,13	0,00
Kiểu bay 2 dải đơn; độ cao bay: 80 m				
LT3	-0,17	-0,02	0,17	0,00
LT6	-0,25	0,03	0,25	-0,01
LT10	0,42	-0,02	0,42	0,02
RMS	0,30	0,03	0,30	0,01

Bảng 2. Sai số trung phương (RMS) 7 điểm kiểm tra mô hình

Kiểu bay, Độ cao bay	Điểm lộ kiểm tra	Chênh lệch theo phương $X$ , $E_i^X$ (cm)	Chênh lệch theo phương $Y$ , $E_i^Y$ (cm)	Chênh lệch độ cao $E_i^H$ (cm)	Sai lệch mặt bằng $P_i$ (cm)
Kiểu bay dải phủ trùm; độ cao bay: 80 m	LT1	-0,02	-0,61	1,78	0,61
	LT2	-3,85	-4,86	-2,45	6,20
	LT4	-0,31	1,06	-5,93	1,10
	LT5	1,96	0,49	-1,96	2,02
	LT7	-0,03	1,74	-4,92	1,74
	LT8	0,66	-3,33	-4,91	3,39
	LT9	-2,32	1,13	-5,34	2,58
	RMS	1,87	2,41	4,23	3,05
Kiểu bay 2 dải đơn; độ cao bay: 60 m	LT1	0,34	-1,05	-3,46	1,10
	LT2	3,77	-4,36	39,50	5,77
	LT4	8,08	4,87	62,83	9,43
	LT5	1,25	0,50	3,14	1,34
	LT7	-0,97	2,09	15,19	2,31
	LT8	7,99	-1,00	44,59	8,05
	LT9	6,49	3,32	47,61	7,29
	RMS	5,18	2,94	37,82	5,96
Kiểu bay 2 dải đơn; độ cao bay: 80 m	LT1	1,14	-1,11	-14,23	1,59
	LT2	34,53	-2,57	157,96	34,63
	LT4	35,15	19,69	261,17	40,29
	LT5	-0,13	0,20	23,36	0,23
	LT7	-5,08	0,80	88,84	5,14
	LT8	36,90	8,01	179,57	37,76
	LT9	33,34	9,67	218,08	34,71
	RMS	26,53	8,89	161,07	27,99



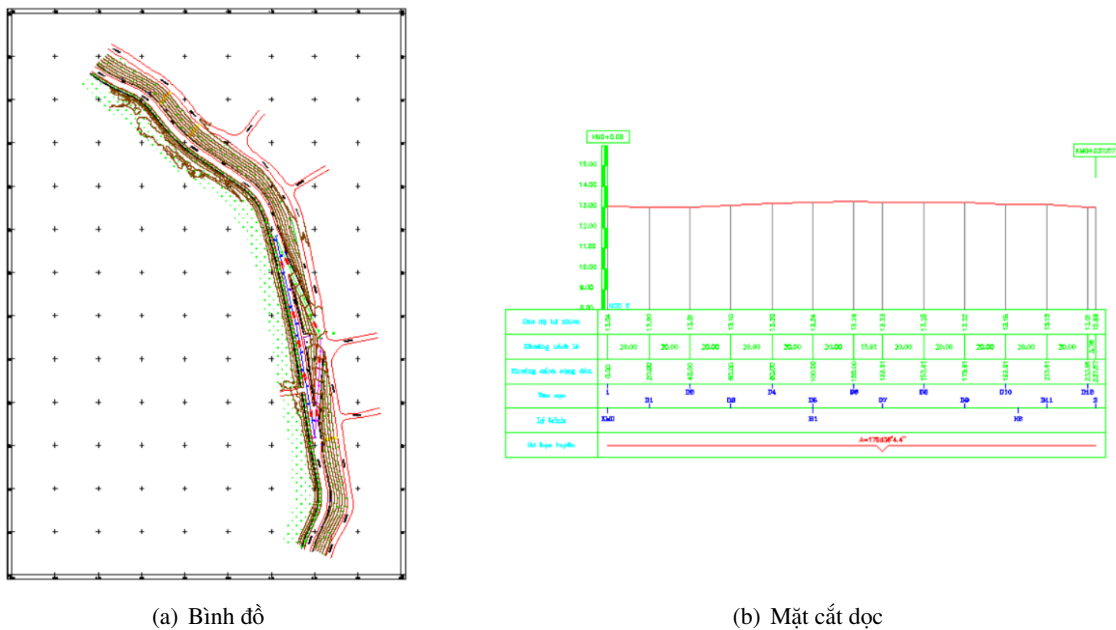
phương độ cao điểm địa hình bằng 16,7 cm, chúng ta thấy rằng chỉ có mô hình số độ cao kiểu bay 1 với  $RMS_H = 4,23$  cm đủ đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Mô hình số độ cao kiểu bay 3 hoàn toàn không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật bản đồ tỷ lệ lớn trong khi kiểu bay 2 đáp ứng được cho khu vực địa hình đồi núi có độ dốc lớn hơn 60 với khoảng cao đều đường đồng mức là 2,5 m [17].

Bảng 3. Sai số trung phương độ cao (RMS) 47 điểm kiểm tra mở rộng

Điểm	$H$ (m)				$E_i^H$ (cm)		
	GNSS RTK	Kiểu bay 1	Kiểu bay 2	Kiểu bay 3	KB1-RTK	KB2-RTK	KB3-RTK
1	13,975	14,026	13,642	12,484	5,1	-33,3	-149,1
2	12,837	12,882	12,543	11,509	4,5	-29,4	-132,8
3	13,080	13,108	12,867	12,166	2,8	-21,3	-91,4
4	13,220	13,235	13,055	12,408	1,5	-16,5	-81,2
5	13,058	13,110	12,828	11,861	5,2	-23,0	-119,7
6	14,012	14,044	13,742	12,704	3,2	-27,0	-130,8
7	12,723	12,678	12,998	14,240	-4,5	27,5	151,7
8	13,963	13,938	14,142	14,934	-2,5	17,9	97,1
9	13,241	13,187	13,493	14,610	-5,4	25,2	136,9
10	13,107	13,093	13,272	13,949	-1,4	16,5	84,2
11	14,006	13,998	14,127	14,630	-0,8	12,1	62,4
12	12,704	12,674	12,916	13,743	-3,0	21,2	103,9
13	13,227	13,217	13,336	13,707	-1,0	10,9	48,0
14	13,488	13,481	13,641	14,174	-0,7	15,3	68,6
15	13,318	13,342	13,382	13,499	2,4	6,4	18,1
16	14,052	14,044	14,061	14,102	-0,8	0,9	5,0
17	13,426	13,430	13,528	13,901	0,4	10,2	47,5
18	13,282	13,288	13,272	13,291	0,6	-1,0	0,9
19	14,013	14,020	13,973	13,839	0,7	-4,0	-17,4
20	13,086	13,094	13,064	13,029	0,8	-2,2	-5,7
21	11,809	11,837	11,667	10,892	2,8	-14,2	-91,7
22	12,749	12,769	12,875	13,311	2,0	12,6	56,2
23	13,041	13,094	13,076	13,093	5,3	3,5	5,2
24	13,991	14,081	13,984	13,888	9,0	-0,7	-10,3
25	12,921	12,939	13,121	13,771	1,8	20,0	85,0
26	13,264	13,295	13,484	14,169	3,1	22,0	90,5
27	13,108	13,140	13,264	13,606	3,2	15,6	49,8
28	14,002	14,050	14,121	14,305	4,8	11,9	30,3
29	13,360	13,384	13,682	14,663	2,4	32,2	130,3
30	13,175	13,235	13,426	13,972	6,0	25,1	79,7
31	14,002	14,049	14,206	14,680	4,7	20,4	67,8
32	6,778	6,780	7,449	9,456	0,2	67,1	267,8
33	11,375	11,377	11,514	12,079	0,2	13,9	70,4
34	8,563	8,568	8,832	9,758	0,5	26,9	119,5
35	7,329	7,304	7,763	9,223	-2,5	43,4	189,4
36	8,322	8,294	8,693	9,804	-2,8	37,1	148,2
37	7,444	7,382	7,924	9,462	-6,2	48,0	201,8
38	6,959	6,849	7,557	9,713	-11,0	59,8	275,4
39	6,704	6,672	7,286	9,020	-3,2	58,2	231,6
40	6,848	6,793	7,385	9,030	-5,5	53,7	218,2
41	6,716	6,623	7,444	9,958	-9,3	72,8	324,2
42	6,533	6,446	7,236	9,577	-8,7	70,3	304,4
43	6,522	6,468	7,185	9,148	-5,4	66,3	262,6
44	6,712	6,654	7,316	9,142	-5,8	60,4	243,0
45	6,350	6,282	7,065	9,505	-6,8	71,5	315,5
46	6,261	6,156	6,916	9,180	-10,5	65,5	291,9
47	6,260	6,207	6,597	7,527	-5,3	33,7	126,7
	$RMS_H$				4,7	35,9	154,4

Mở rộng kiểm tra độ chính xác độ cao, ở Bảng 3 thể hiện độ cao của 47 điểm chi tiết kiểm tra xác định trên mô hình số độ cao các kiểu bay 1, 2, 3 và sự chênh lệch so sánh với độ cao đo bằng công nghệ GNSS/RTK. Sai số trung phương độ cao tương ứng với các kiểu bay 1, 2, 3 cũng cho kết quả tương tự với giá trị  $RMS_H$  lần lượt bằng 4,7 cm, 35,9 cm, 154,4 cm.

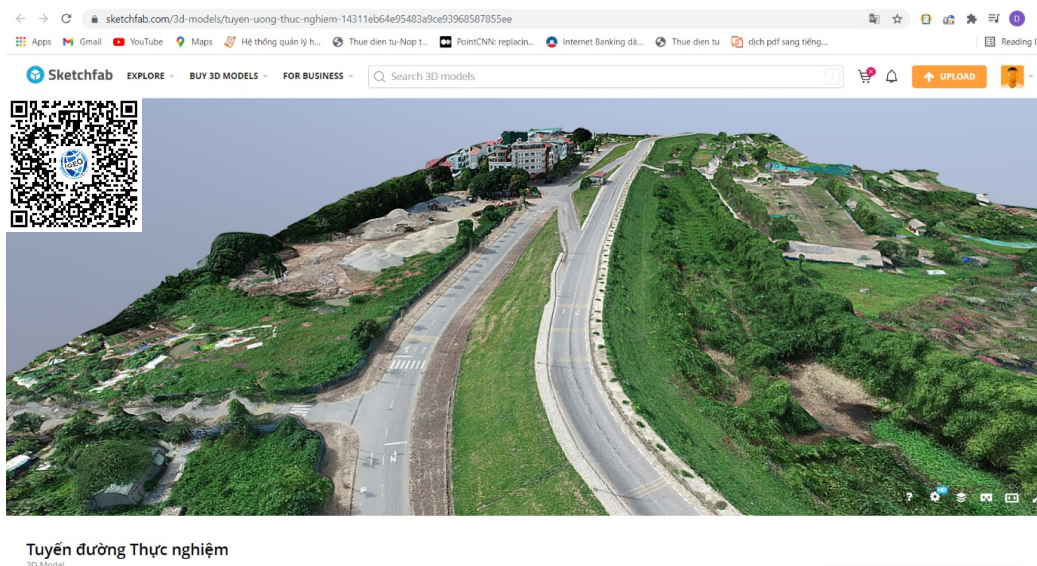
Tổng hợp các kết quả khảo sát độ chính xác mặt bằng và độ cao, có thể thấy các sản phẩm mô hình của kiểu bay 1 có thể đảm bảo thành lập được tài liệu khảo sát địa hình tỷ lệ 1/500, khoảng cao đều đường đồng mức 0,5 m. Trong khi đó kiểu bay 2 cho sản phẩm phù hợp ở tỷ lệ 1/1000, khoảng cao đều đường đồng mức 2,5 m; còn kiểu bay 3 chỉ có thể dùng để biên tập yếu tố địa vật tỷ lệ 1/1000. Trong thực nghiệm các sản phẩm bình đồ địa hình và mặt cắt dọc tuyến với tỷ lệ 1/500 đã được biên tập bằng các sản phẩm mô hình của kiểu bay 1 (Hình 7). Tài liệu khảo sát địa hình này được kiểm tra, đối chiếu với thực địa và hoàn toàn đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật.



Hình 7. Ảnh thu nhỏ bình đồ và mặt cắt dọc địa hình tỷ lệ 1/500 đoạn đường đê Xuân Quan

Bên cạnh các sản phẩm ảnh trực giao và mô hình độ cao phục vụ cho công tác biên tập tài liệu khảo sát địa hình, việc tạo ra mô hình không gian 3D khu vực khảo sát là một ưu điểm nổi bật của công nghệ bay chụp UAV.

Trong lĩnh vực xây dựng công trình, mô hình không gian 3D sẽ giúp cho người thiết kế nắm bắt trực quan toàn cảnh khu vực để đưa ra các kịch bản quy hoạch, giải pháp thiết kế phù hợp. Việc biểu diễn kết quả mô hình 3D hiệu quả nhất hiện nay là thông qua môi trường của bên thứ ba trên các trang web (Hình 8). Tuy nhiên với các công trình có quy mô lớn, tương đương dung lượng mô hình lớn, còn có nhiều khó khăn trong việc chia sẻ sản phẩm mô hình 3D.



Hình 8. Mô hình 3D khu vực khảo sát (xem mô hình 3D theo đường link [18] hoặc mã QR code trên hình)

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu về kiểu bay dải phủ trùm ở độ cao 80 m cùng với kiểu 2 dải đơn ở các độ cao 60 m và 80 m đối với đoạn đường đê Xuân Quan, có thể thấy kiểu bay dải phủ trùm cho kết quả tốt hơn kiểu bay 2 dải đơn và đảm bảo yêu cầu thành lập tài liệu khảo sát địa hình tỷ lệ 1/500, khoảng cao đều đường đồng mức 0,5 m. Tuy nhiên kiểu bay 2 dải đơn cho chúng ta hiệu quả về thời gian bay và xử lý ảnh. Đồng thời kiểu bay 2 dải đơn hoàn toàn đảm bảo độ phủ ngang, đáp ứng tốt cho công tác biên tập địa vật ở tỷ lệ bản đồ 1/1000 và khoảng cao đều đường đồng mức 2,5 m. Những sản phẩm kiểu bay 2 dải đơn phù hợp cho các công tác quy hoạch, đánh giá sơ bộ công trình dạng tuyến.

Mặc dù kiểu bay dải phủ trùm tốt hơn về chất lượng nhưng cũng có những nhược điểm về mặt hiệu quả công việc. Với kiểu bay dải phủ trùm dung lượng ảnh chụp cao hơn từ 3 đến 4 lần kiểu bay dạng dải, tương ứng với đó là thời gian bay chụp cao hơn gần 4 lần và thời gian xử lý ảnh mất nhiều hơn 6 lần. Như vậy đối với công trình dạng tuyến, kiểu bay dải phủ trùm có sai số mặt bằng độ cao đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật bản đồ địa hình tỷ lệ 1/500 đường đồng mức 0,5 m, thích hợp cho việc thành lập tài liệu khảo sát địa hình ở các giai đoạn thiết kế kỹ thuật và thiết kế kỹ thuật thi công.

Nghiên cứu cũng chỉ ra một ưu điểm nổi bật của công nghệ bay UAV khi có thể tạo ra sản phẩm mô hình bề mặt địa hình 3D. Đây là sản phẩm hỗ trợ hiệu quả cao cho các nhiệm vụ quy hoạch, thiết kế và quản lý công trình.

#### Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội cho đề tài “Nghiên cứu thành lập bản đồ hiện trạng 3D bằng các thiết bị khảo sát thông minh”, mã số 68-2021/KHXD-TĐ. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Viện Công nghệ Trắc địa Xây dựng – Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã hỗ trợ kỹ thuật để hoàn thành thực nghiệm và xử lý số liệu bay chụp.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Diêu, B. T., Vân, N. C., Hùng, H. M., Phương, Đ. B., Hà, N. V., Anh, T. T., Minh, N. Q. (2016). Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái. *Kỷ yếu Hội nghị khoa học và công nghệ quốc gia về Đo đạc bản đồ ứng phó với biến đổi khí hậu*.
- [2] Morgan, D., Falkner, E. (2001). *Aerial mapping: methods and applications*. CRC Press.
- [3] Nex, F., Remondino, F. (2013). [UAV for 3D mapping applications: a review](#). *Applied Geomatics*, 6(1): 1–15.
- [4] Hằng, H. T. (2018). Ứng dụng máy bay không người lái (UAV) trong giám sát chất lượng mặt đường bộ, thí điểm tại một số đoạn trên quốc lộ 6 thuộc tỉnh Hòa Bình. *Tạp chí Khoa học*, 15(9):86–94.
- [5] Tùng, K. Đ., Cầm, Đ. N. (2018). [Ứng dụng công nghệ chụp không ảnh cận thám cung cấp thông tin cho mô hình BIM của dự án hạ tầng và giao thông](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 12(1):65–70.
- [6] Long, H. Q., Long, V. P. (2015). Ứng dụng thiết bị bay chụp ảnh không người lái trong khảo sát, thiết kế đường giao thông. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 9(3):104–110.
- [7] Guisado-Pintado, E., Jackson, D. W. T., Rogers, D. (2019). [3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone](#). *Geomorphology*, 328:157–172.
- [8] Specht, C., Dabrowski, P. S., Specht, M. (2020). [3D modelling of beach topography changes caused by the tombolo phenomenon using terrestrial laser scanning \(TLS\) and unmanned aerial vehicle \(UAV\) photogrammetry on the example of the city of Sopot](#). *Geo-Marine Letters*, 40(5):675–685.
- [9] Jeong, E., Park, J.-Y., Hwang, C.-S. (2018). [Assessment of UAV Photogrammetric Mapping Accuracy in the Beach Environment](#). *Journal of Coastal Research*, 85:176–180.
- [10] Eltner, A., Baumgart, P., Maas, H.-G., Faust, D. (2014). [Multi-temporal UAV data for automatic measurement of rill and interrill erosion on loess soil](#). *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(6):741–755.
- [11] Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D., Gini, R. (2014). [Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images](#). *Earth Science Informatics*, 7(2):97–107.
- [12] Eltner, A., Schneider, D. (2015). [Analysis of Different Methods for 3D Reconstruction of Natural Surfaces from Parallel-Axes UAV Images](#). *The Photogrammetric Record*, 30(151):279–299.
- [13] Bemis, S. P., Mickelthwaite, S., Turner, D., James, M. R., Akciz, S., Thiele, S. T., Bangash, H. A. (2014). [Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology](#). *Journal of Structural Geology*, 69:163–178.
- [14] Bui, X. N., Nguyen, Q. L., Le, T. T. H., Bui, N. Q., Goyal, R., Vo, T. H., Pham, V. C., Cao, X. C., Le, V. C., Le, H. V. (2020). Flight Height of UAV and Its Influence on the Precise Digital Elevation Model of Complex Terrain. *Inżynieria Mineralna*.
- [15] Barry, P., Coakley, R. (2013). Accuracy of UAV photogrammetry compared with network RTK GPS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, 2:2731.
- [16] Dũng, C. T., Bình, V. T., Tuấn, P. V. (2016). Ứng dụng công nghệ chụp ảnh hàng không bằng máy bay không người lái (UAV) trong công tác khảo sát địa hình mặt đất. *TEDI*, 2:57–65.
- [17] Thông tư số 68/2015/TT-BTNMT. *Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000*. Bộ Tài Nguyên và Môi trường.
- [18] Sketchfab. [Tuyến đường thực nghiệm](#).