



การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

Maharakham University

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.ศิวา แก้วปลั่ง

สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Heart of
the Northeast



www.msu.ac.th

ผู้สอน ผศ.ดร.ศิวา แก้วปลั่ง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ป.ตรี-โท)

วศ.บ.วิศวกรรมเกษตร-โยธา

วศ.ม.วิศวกรรมทรัพยากรแหล่งน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ป.เอก)

วศ.ด.วิศวกรรมสำรวจ

ใบประกอบวิชาชีพ

สามัญวิศวกรโยธา (สย.10896)

วิศวกรวิชาชีพ สาขาวิศวกรรมสำรวจ (วสร.1-030)

อนุกรรมการวิศวกรรมสำรวจ วสท



Mahasarakham
University
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



มหาวิทยาลัยขอนแก่น
KHON KAEN UNIVERSITY



การติดต่อ (Contact)

ผศ.ดร.ศิวา แก้วปลั่ง

Mobile : 081-5475825

Email : siwakaewplang@gmail.com

Facebook : [siwa kaewplang](#)

Line ID : 0815475825



ขึ้นทะเบียน “โดรน”

อากาศยานไร้คนขับ
กับ สำนักงาน
กสทช.



1. ขึ้นทะเบียน ผู้ครอบครองโดรน

(เสมือนการทำทะเบียนรถยนต์)



- สำนักงาน กสทช. สำนักงาน กสทช. ภาค/เขตทั่วประเทศ
- สถานีตำรวจ ทั่วประเทศ
- สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย



เวลาราชการ 08.30-16.30 น.

nabn. โทรคมนาคม <http://www.nbt.go.th>

เอกสารขึ้นทะเบียนครอบครองโดรน



ขึ้นทะเบียน เป็น “ผู้ครอบครองโดรน” ที่สำนักงาน กสทช. แล้วต้องขึ้นทะเบียน เป็น “ผู้บังคับโดรน” ที่สำนักงานการบินพลเรือนด้วย
 ึ่งจะอนุญาตให้บินได้อย่างถูกต้อง ขึ้นทะเบียนภายใน 90 วัน ตั้งแต่บัดนี้ ถึง 9 ม.ค. 2561
 *ชาวต่างชาติสามารถขึ้นทะเบียนได้ แต่เป็นแบบฟอร์มภาษาไทย สามารถมอบเงินให้คนไทยดำเนินการแทนได้
 *ผู้มีเงินต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 5 ปี ปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

nabn. โทรคมนาคม
 กำกับดูแลเพื่อประชาชน
 Call Center 1200 (InSvS)

สำนักงานอนุญาตและกำกับวิทยุคมนาคม (คท.)
 เผยแพร่ ๑๕ ตุลาคม ๒๕๖๐



กรมท่าอากาศยาน



กฎหมายนำรัฐเกี่ยวกับการใช้

DRONE



1



ไม่ต้องขึ้นทะเบียน

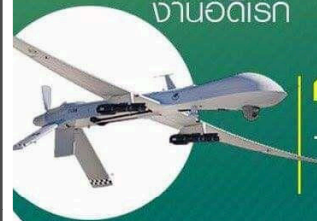
- น้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม
- ไม่ต้องติดกล้องใช้สำหรับงานอดิเรก

2



ต้องขึ้นทะเบียน

- ติดตั้งกล้องต้องขึ้นทะเบียนในทุกกรณี
- ไม่มีกล้องแต่มีน้ำหนักระหว่าง 2 - 25 กก.



กรณีน้ำหนักตั้งแต่ 25 กก. ขึ้นไป

- ต้องได้รับอนุญาตจากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคมลงนามในใบขึ้นทะเบียน

เงื่อนไขการใช้งาน DRONE?

- ก่อนทำการบินต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของพื้นที่ที่จะทำการบิน
- ห้ามทำการบินเข้าไปในบริเวณเขตห้ามรอมทั้ง สถานีราชการ หน่วยงานของรัฐ โรงพยาบาล เว้นแต่จะได้รับอนุญาต
- ห้ามทำการบินภายในระยะ: 9 กิโลเมตร (5 ไมล์ทะเล) จากสนามบิน หรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยานเว้นแต่ได้รับอนุญาต
- ห้ามบังคับอากาศยานเข้าใกล้อากาศยานซึ่งมีนักบิน
- ห้ามทำการบินโดยมีระยะห่างในแนวราบกับบุคคล ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้าง หรืออาคาร น้อยกว่าสามสิบเมตร
- การขึ้นทะเบียน DRONE และติดต่อขอรันรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย



www.airports.go.th



กรมท่าอากาศยาน

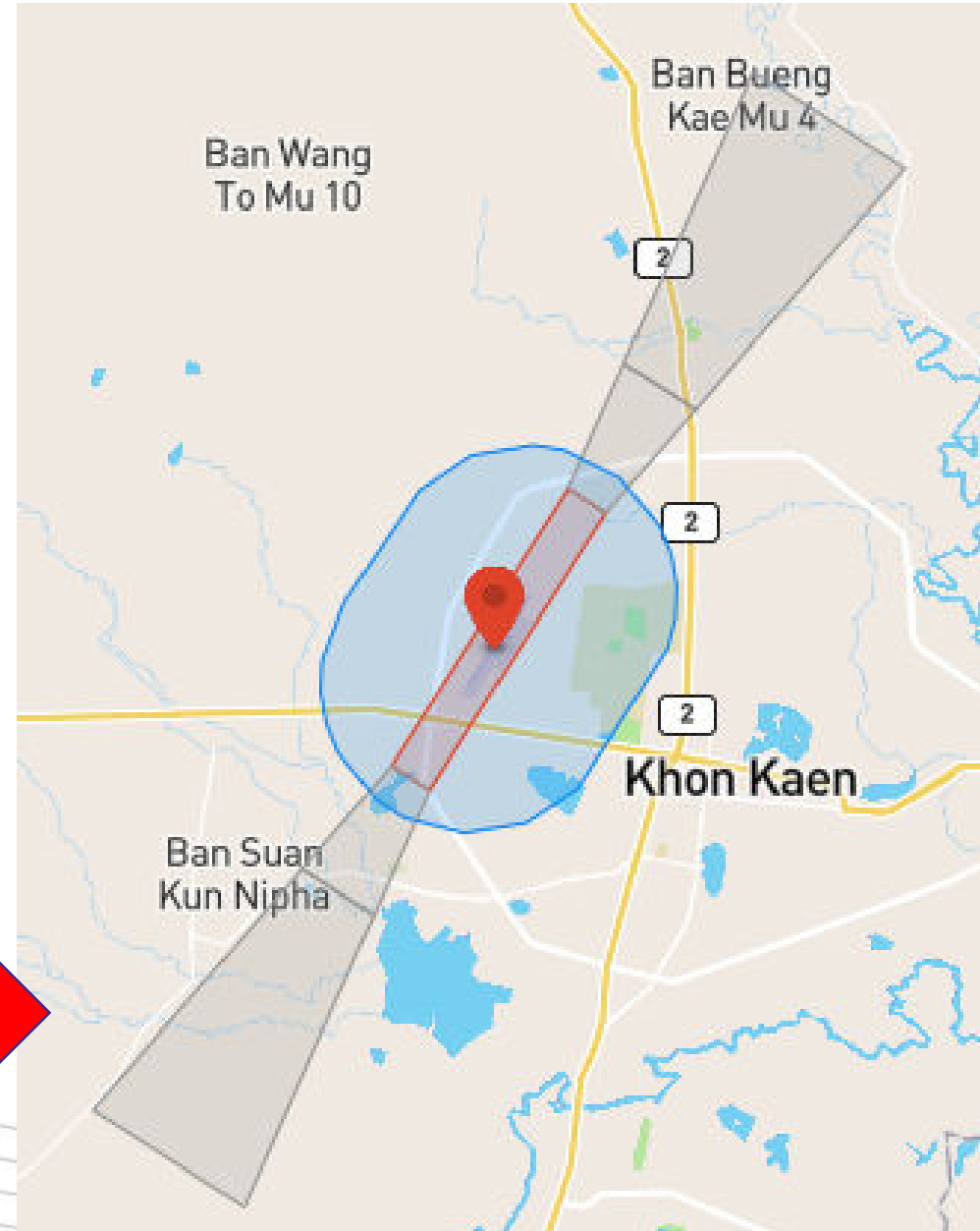
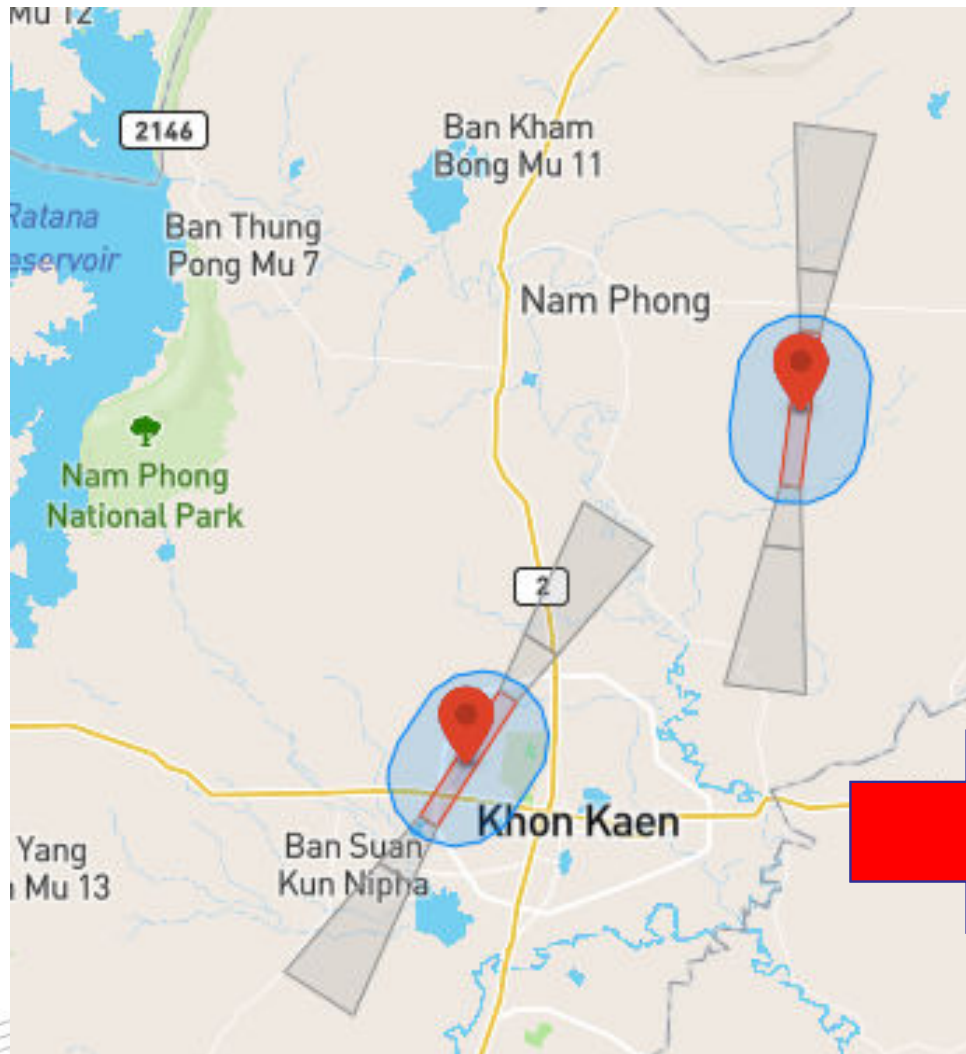
เงื่อนไขในการบินโดรนที่ถูกต้อง

- ห้ามทำการบินในลักษณะที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิต ร่างกาย ทรัพย์สิน และรบกวนความสงบสุขของบุคคลอื่น
- ต้องทำการบินในระหว่างพระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตก ซึ่งสามารถมองเห็นอากาศยานได้อย่างชัดเจน
- ห้ามทำการบินภายในระยะ 9 กิโลเมตร จากสนามบิน หรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยาน โดยไม่ได้รับอนุญาต
- ห้ามทำการบินโดยใช้ความสูงเกิน 90 เมตร (300ฟุต) เหนือพื้นดิน
- ห้ามทำการบินเหนือเมือง หมู่บ้าน ชุมชน หรือพื้นที่ที่มีคนมาชุมนุมอยู่
- ห้ามทำการบินละเมิดสิทธิส่วนบุคคลของผู้อื่น

ข้อมูลจากประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยาน ซึ่งไม่มีนักบินประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558



No fly zone



*ประเภทของ
Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*





Fixed Wing Drone





Multicopter Drone

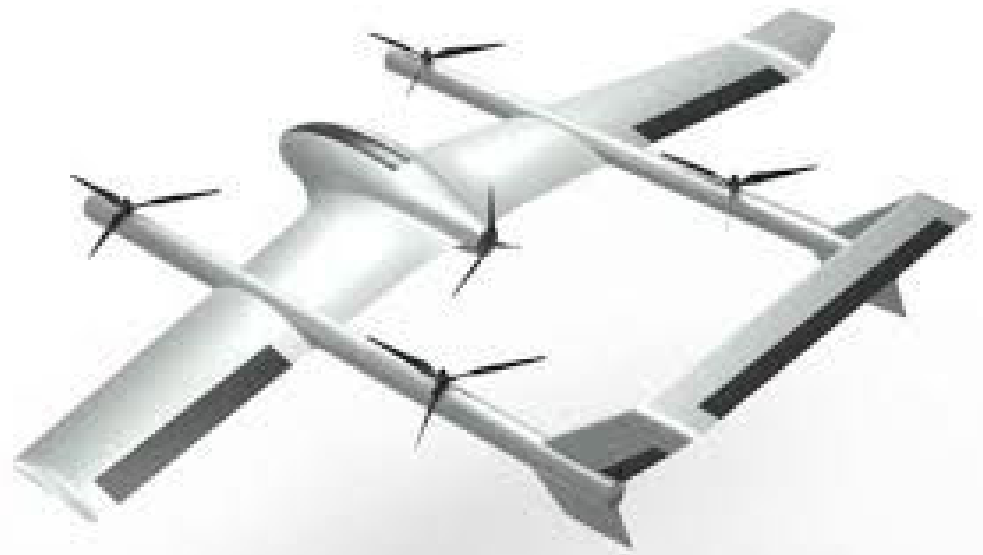
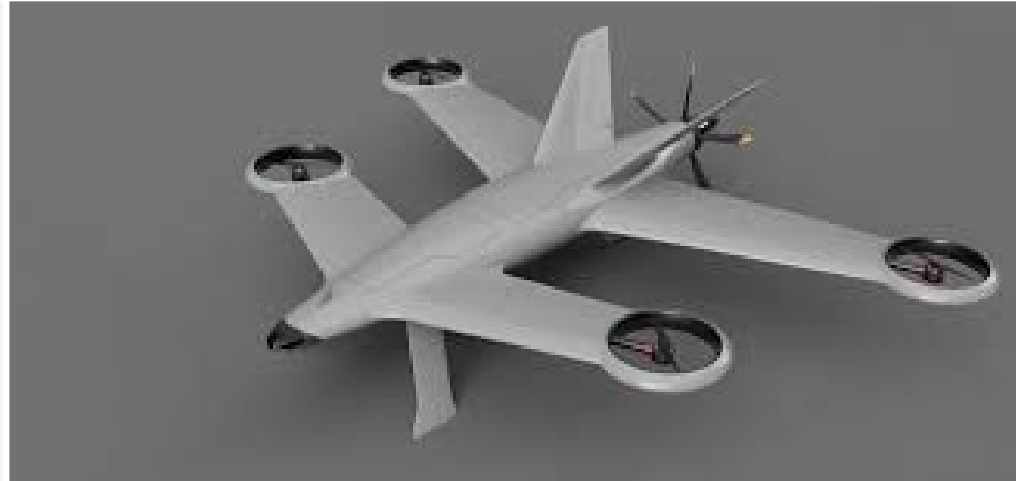


dji
MAVIC AIR

Adventure Unfolds



Hybrid Drone



UAV Photogrammetry

1. ผลลัพธ์ที่ได้หลากหลาย รายละเอียดและความถูกต้องทางตำแหน่งสูง

- แผนที่ภาพถ่ายเชิงเลข (*Digital Orthophoto*)

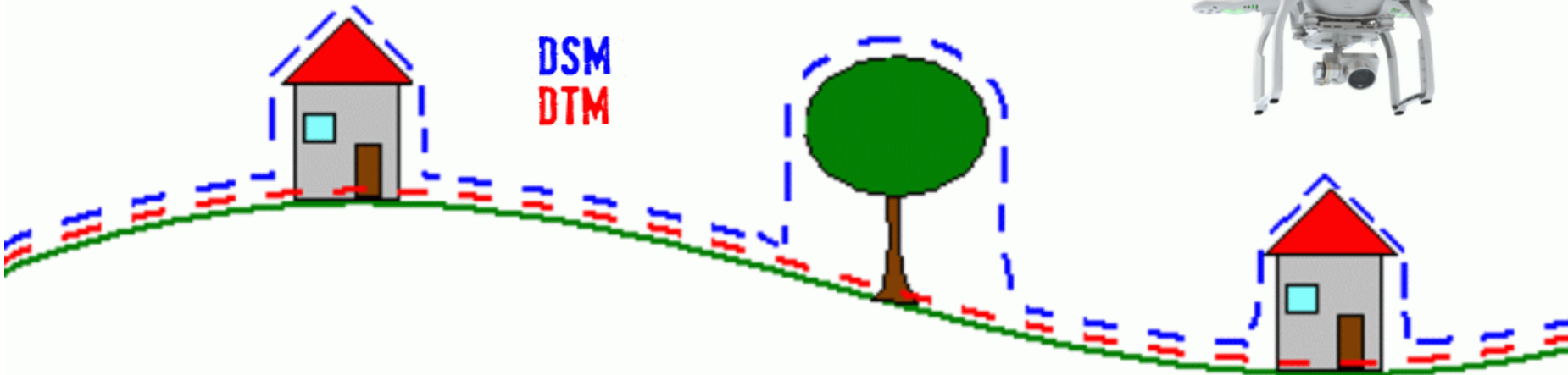
- กลุ่มข้อมูลจุดพิกัดเชิงพื้นผิว

(*Digital Surface Point Cloud Model, DSM*)

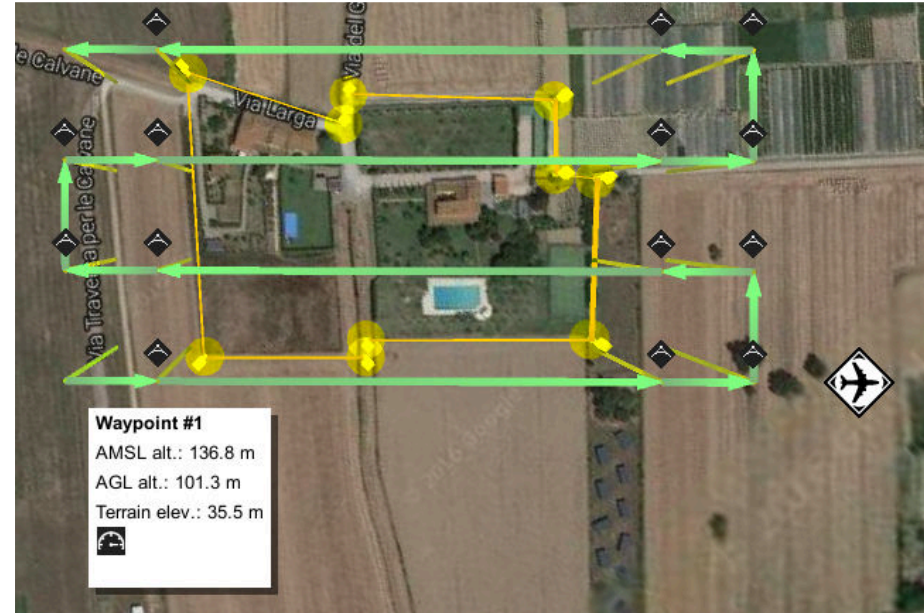
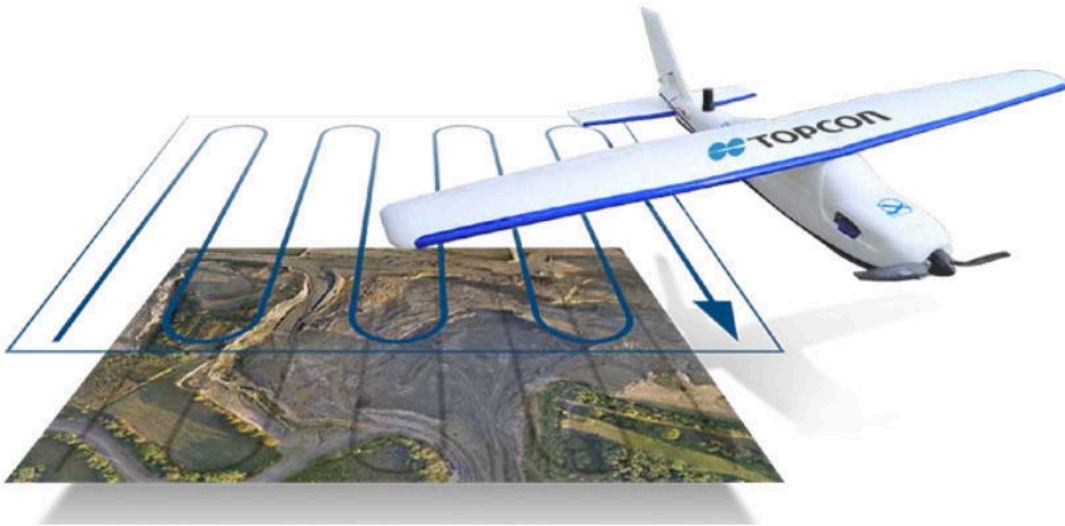
- แบบจำลองสามมิติเหมือนจริง (*3D-Visualisation Model*)

2. ผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน

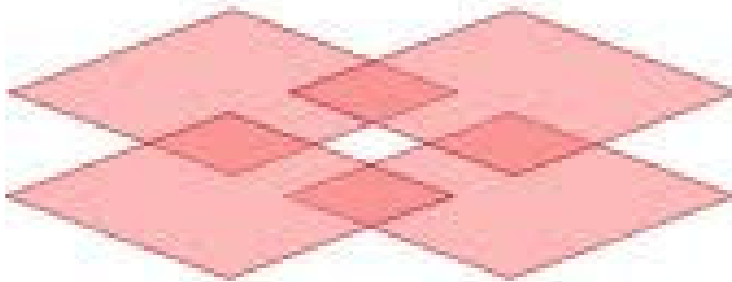
3. ค่าใช้จ่ายต่ำเนื่องจากใช้เวลาและแรงงานน้อย



UAV Photogrammetry



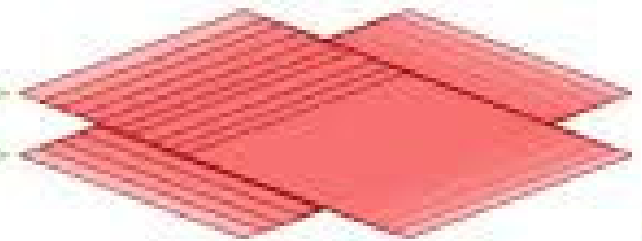
Not enough
overlap



75% - 80%
overlap

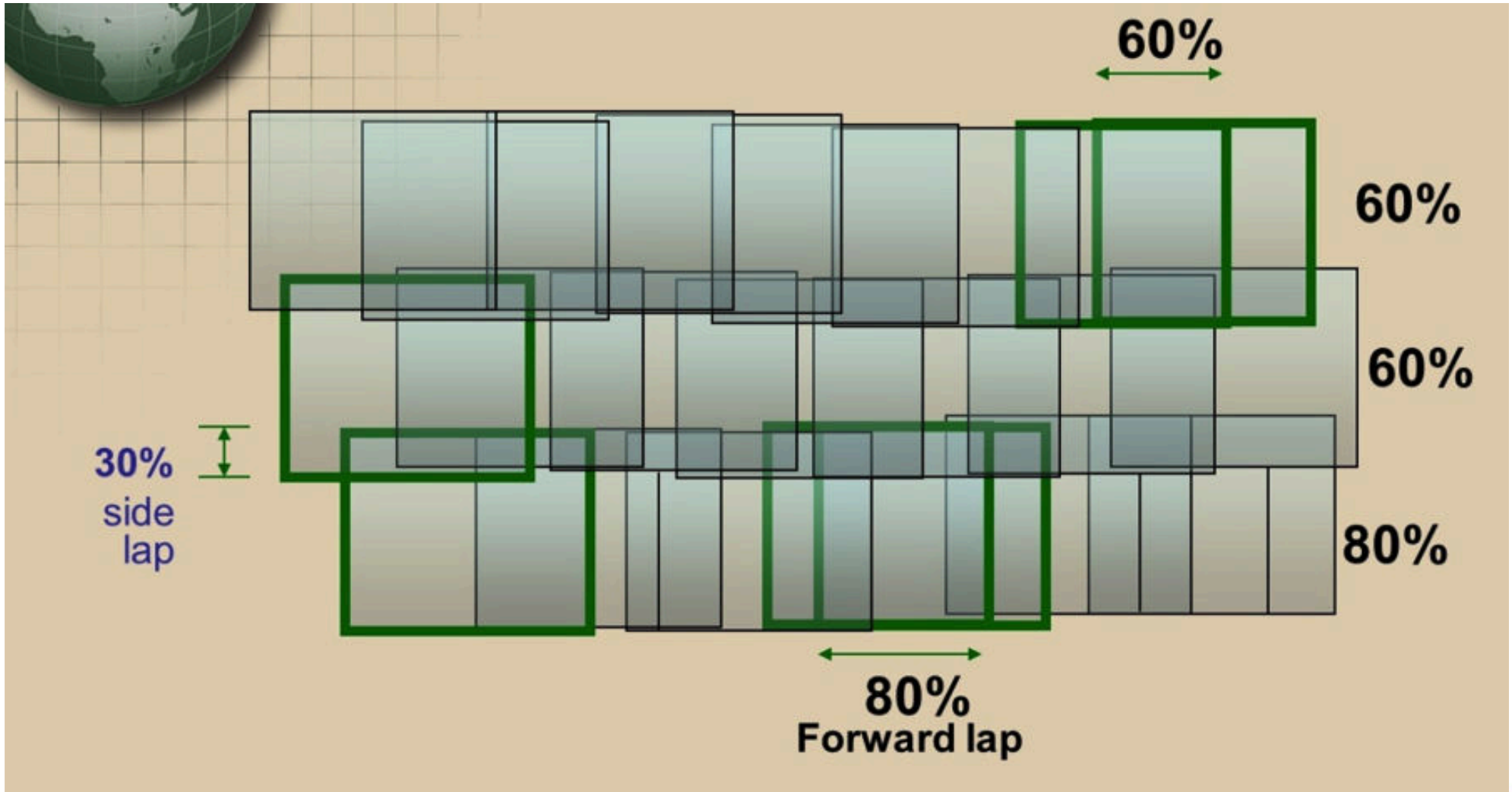


Excessive
overlap





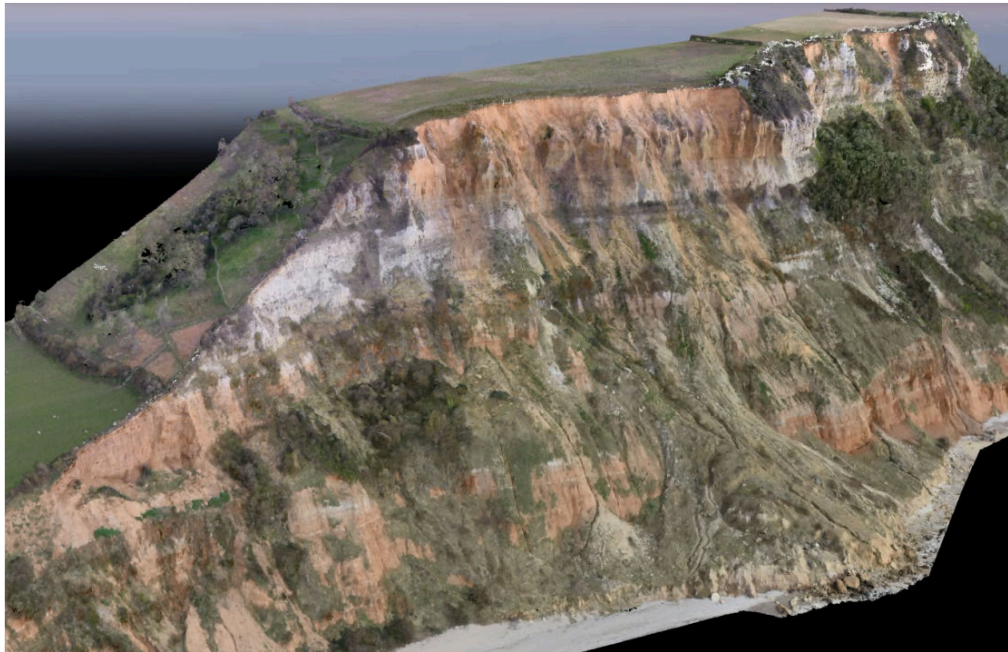
UAV Photogrammetry



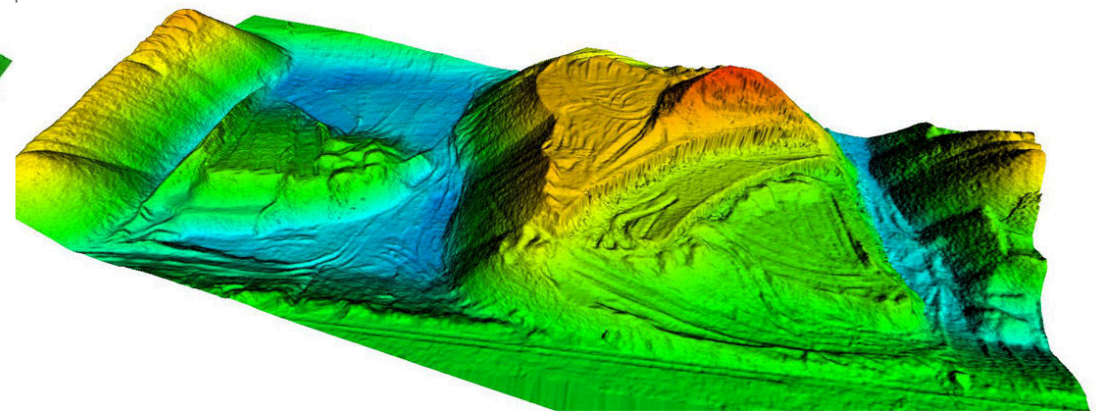
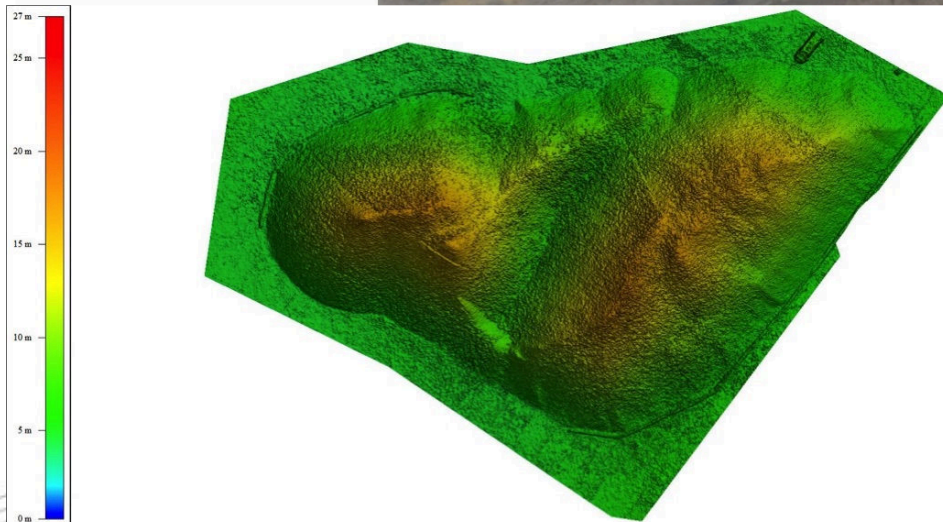
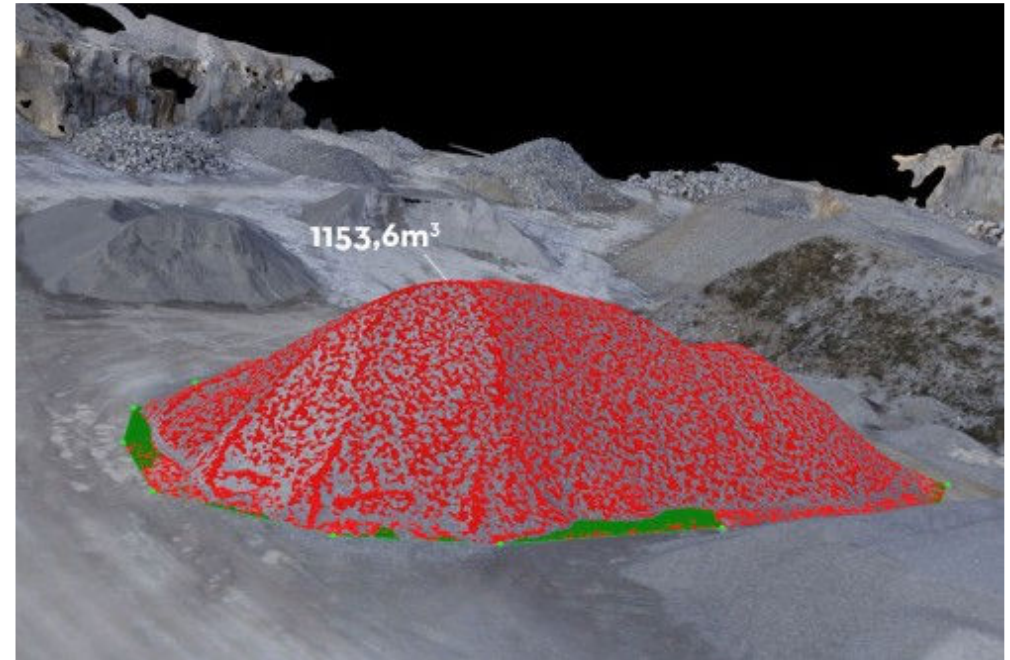
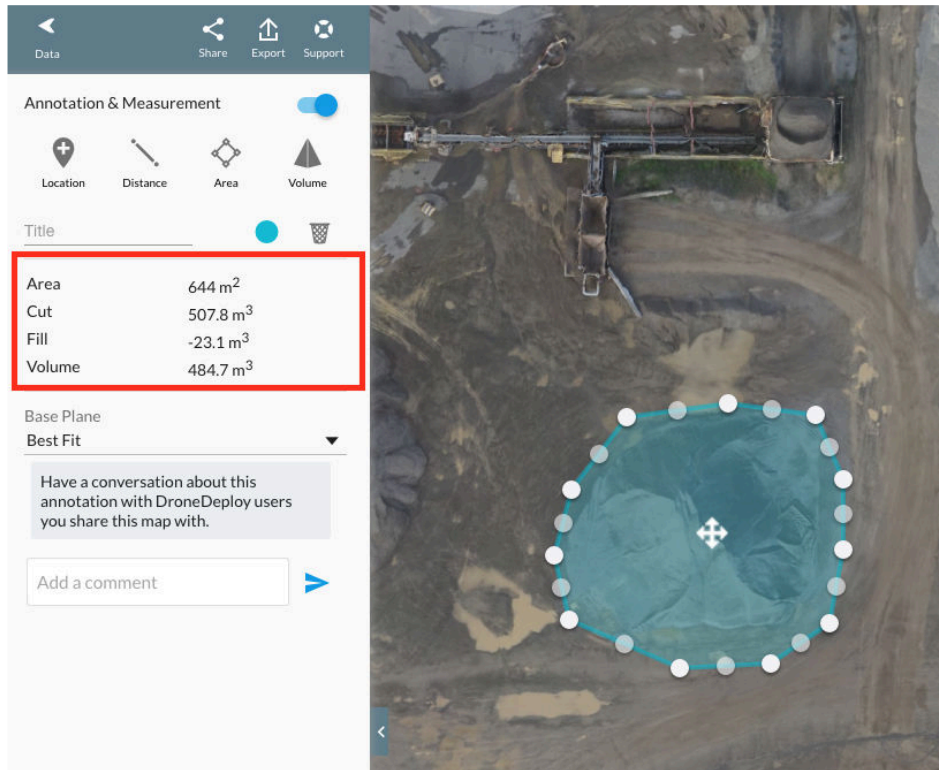
UAV photogrammetry Output



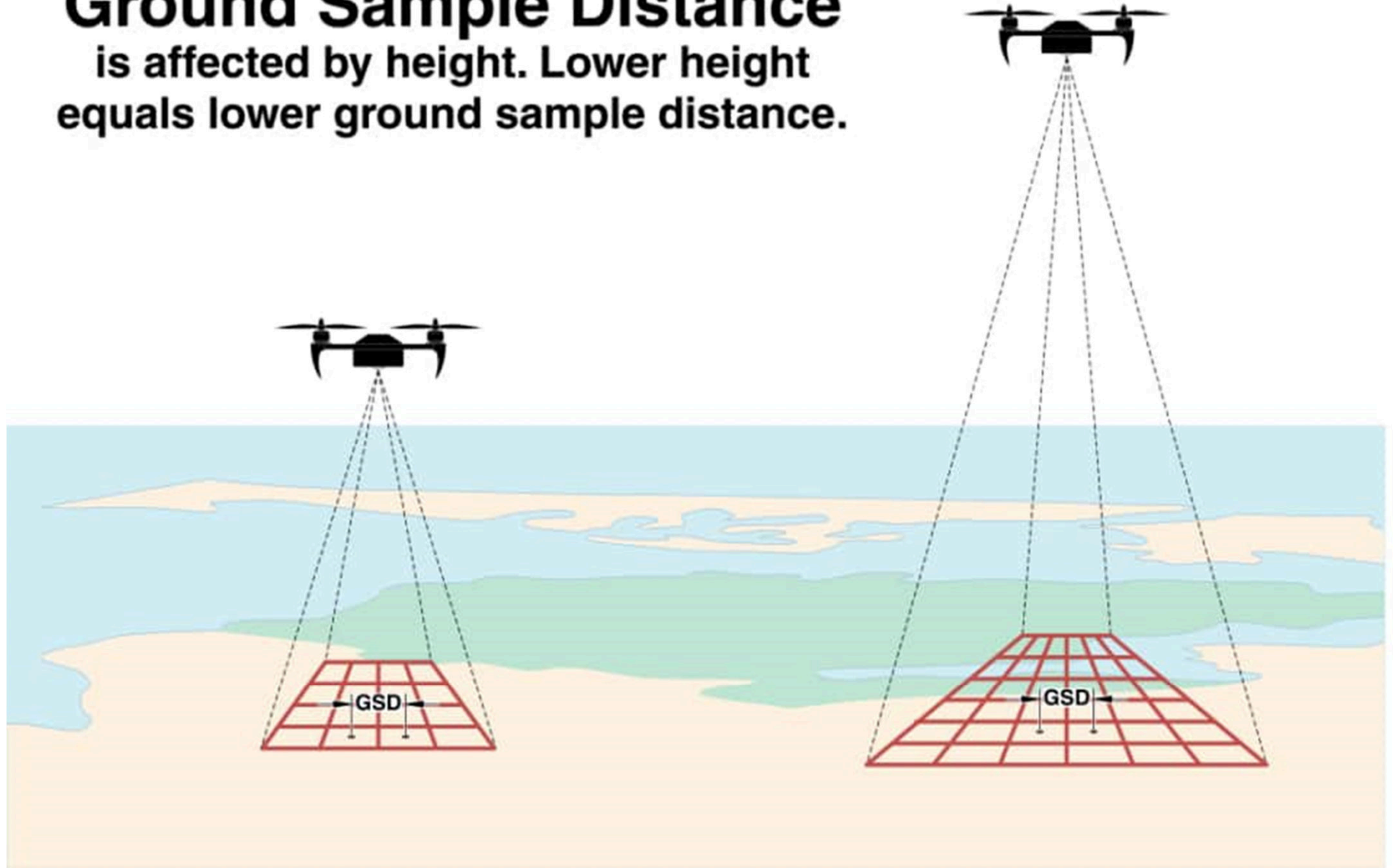
UAV photogrammetry Output



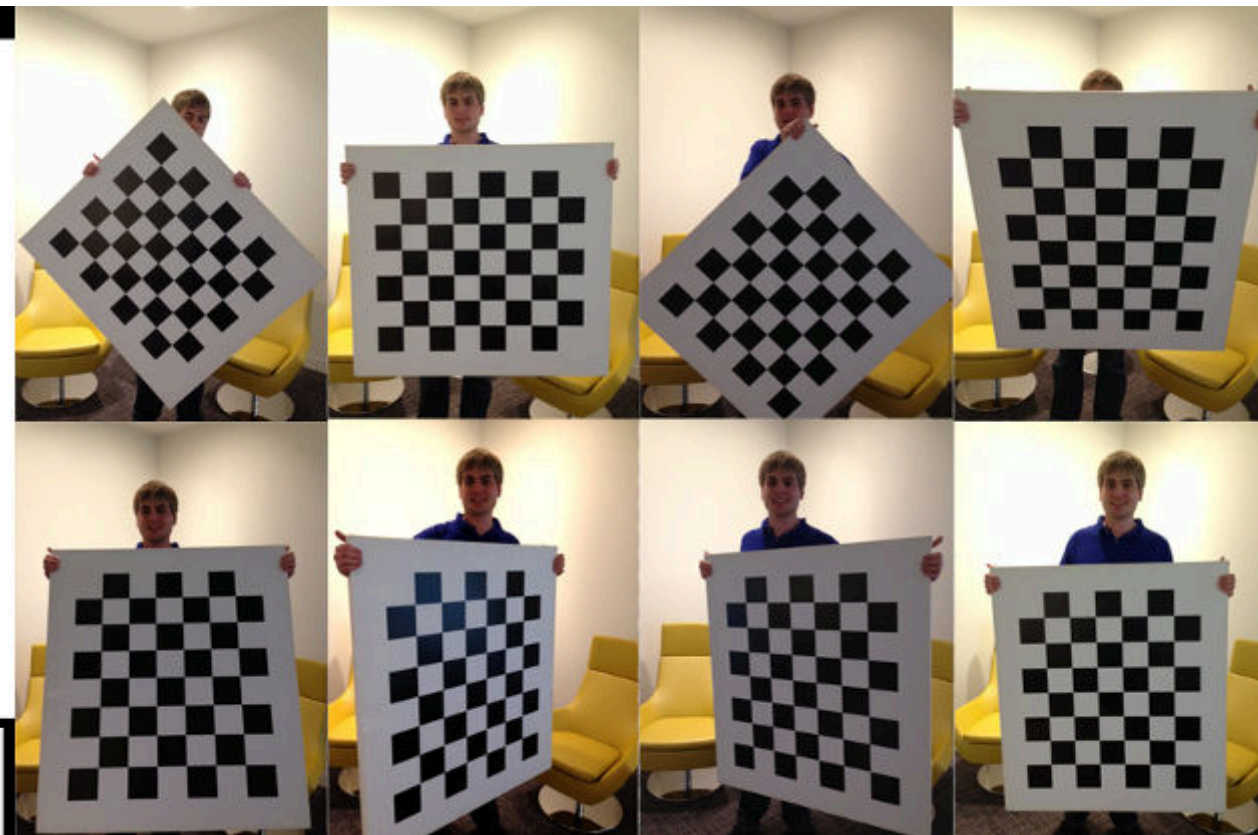
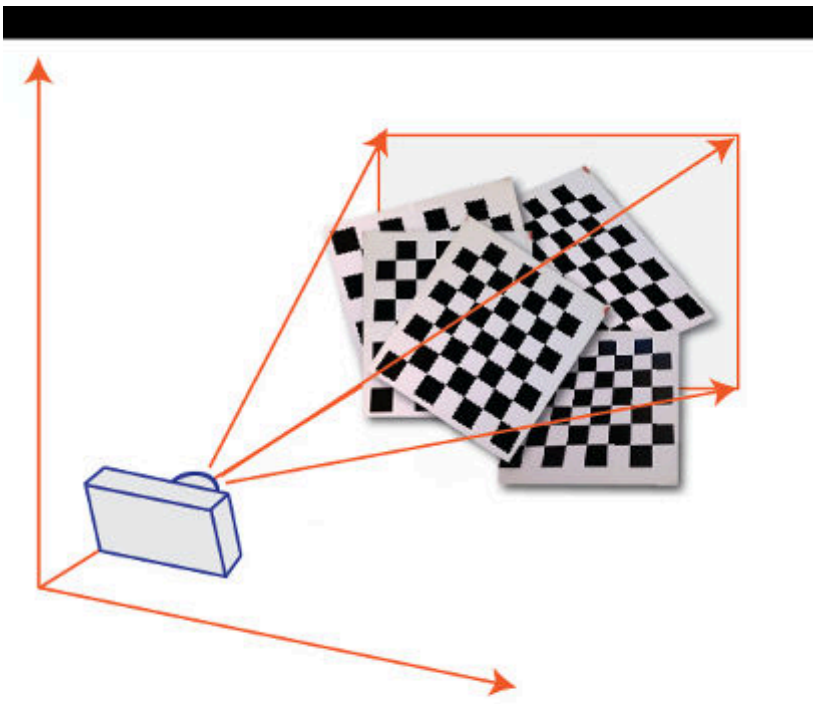
UAV photogrammetry Output



Ground Sample Distance
is affected by height. Lower height equals lower ground sample distance.



ค่าความละเอียดของจุดภาพ (pixel) โดยแสดงเป็นค่าระยะทางบนพื้นดิน

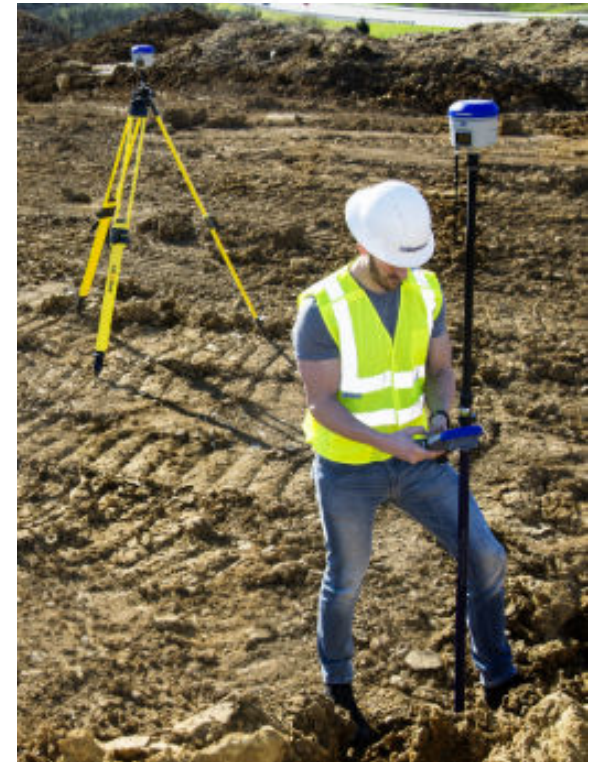


Parameter	Value	Std Error
Image width	4000	
Image height	3000	
Focal length (x)	58922.4	59.2072
Focal length (y)	49936.7	56.3712
Principal point (x)	13041.6	62.0667
Principal point (y)	-9384.72	39.2219
Skew	18479.5	40.9235
Radial K1	36.6326	0.265429
Radial K2	-1398.68	3.52219
Radial K3	15455	9.16772
Radial K4	582.638	3.44096
Tangential P1	1.13998	0.00871106
Tangential P2	-0.737575	0.00829968

Camera calibration



อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน



GRID MISSION
Best for 2D maps

DOUBLE GRID MISSION
Best for 3D models

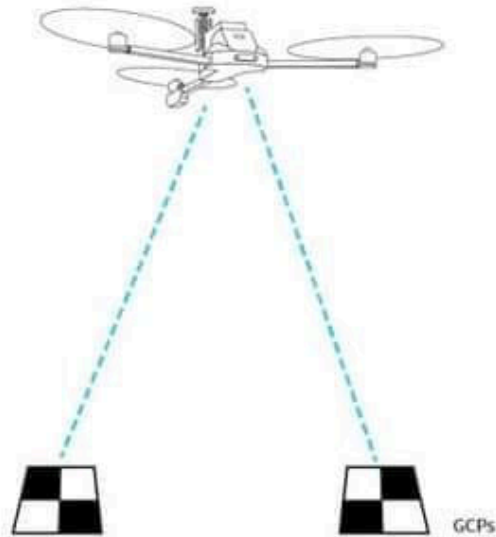
CIRCULAR MISSION
Best for single 3D models

FREE FLIGHT MISSION
For advanced users

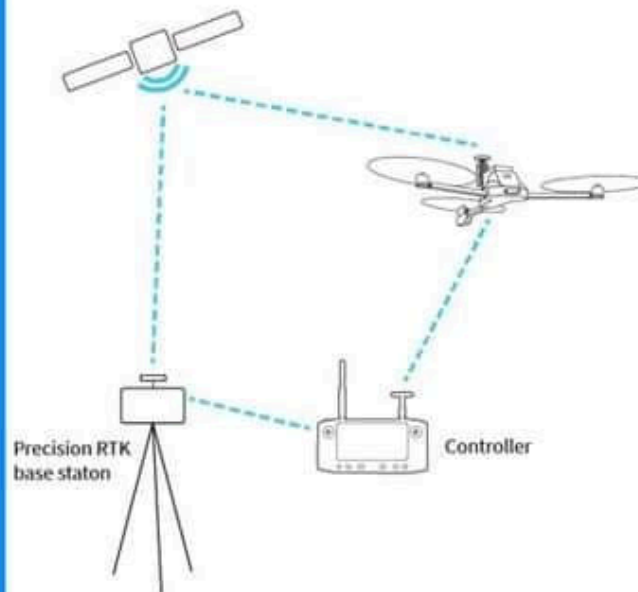


GCPs-RTK-PPK

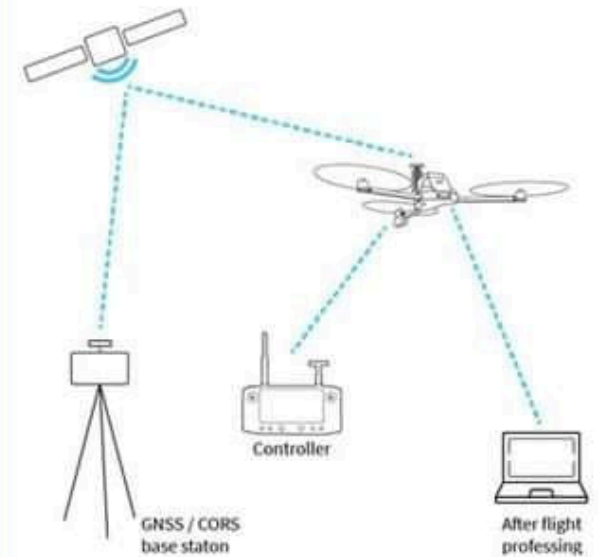
GCPs



RTK



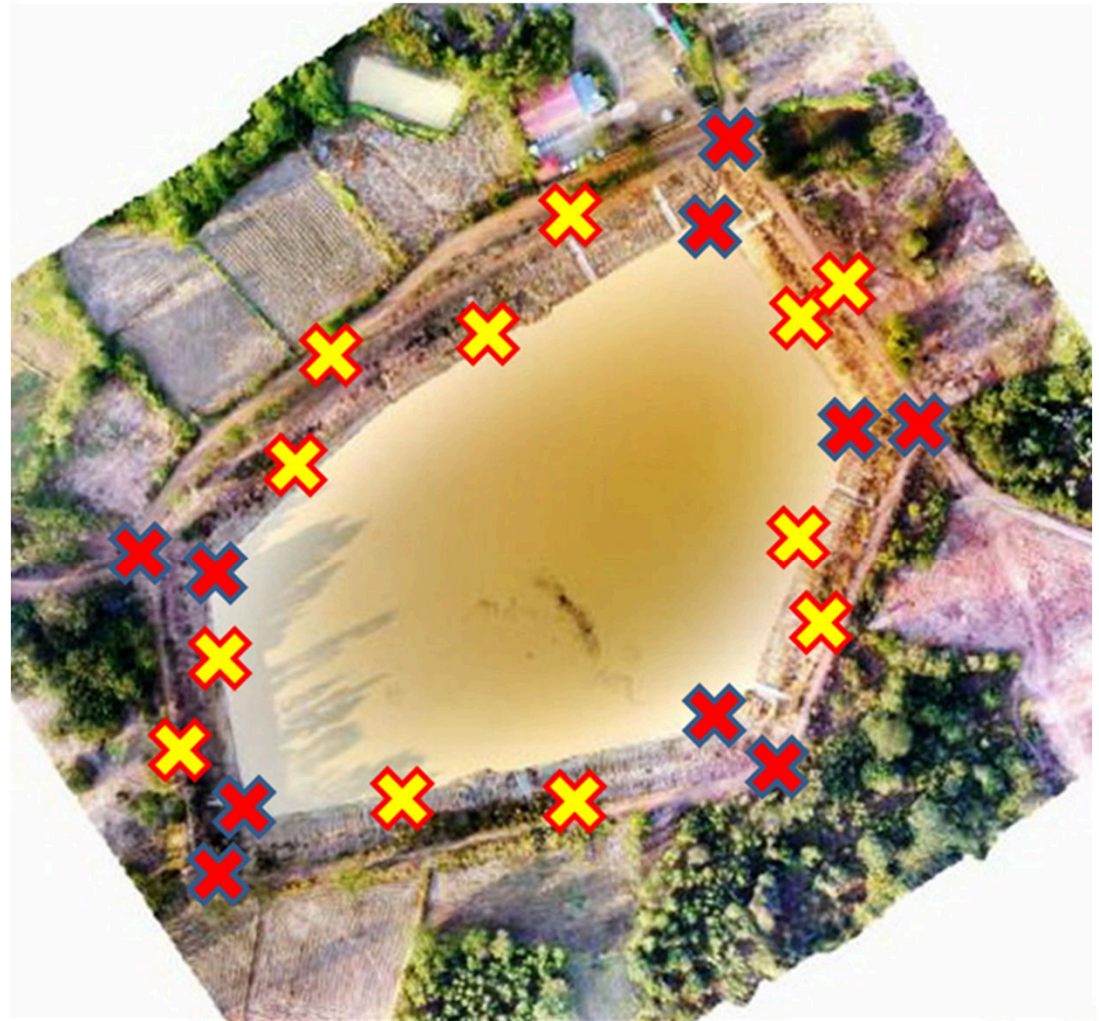
PPK



Which method is right for your application?

GCPs

Control points & Check points



 Control Point  Check Point

ขนาดเป้าที่ใช้ทำ Ground Control Point



SKY HIGH
BULL'S-EYE



อย่างน้อย = 20 เท่า ของ GSD



Mobile Application



Application ที่ใช้ในการบินถ่ายภาพ

Pix4Dcapture

Free drone flight planning app for optimal 3D mapping and modeling



Drones ที่สามารถใช้ถ่ายภาพ

Supported drones



DJI Phantom 4 Pro V2



DJI Phantom 4 Pro



DJI Phantom 4



DJI Phantom 3 Pro



DJI Phantom 3 Adv



DJI Phantom 3 Standard



DJI Spark



DJI Mavic 2 Pro



DJI Mavic Air



DJI Mavic Pro



DJI Inspire 2




DJI Inspire 1

ขั้นตอนการวางแผนการบิน

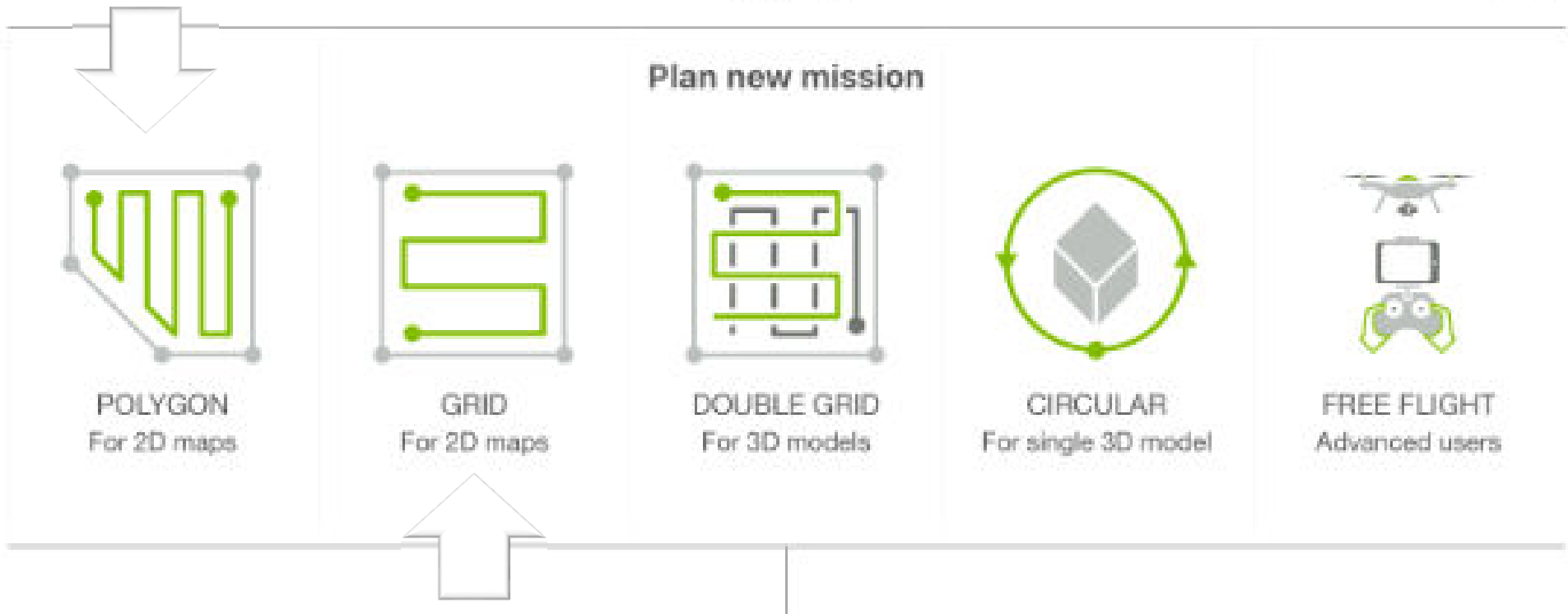
1. เปิด Application Pix4DCapture
2. เลือก Drone ที่เราใช้
3. เลือกชนิดของรูปแบบการบิน

Step 1. Plan the mission

1. Launch Pix4Dcapture.
2. Select your drone.
 - 2.1. Tap **Settings** .
 - 2.2. Tap **Drone** and select your drone.
3. Select a mission. For more information: (Android, iOS) Which type of mission to choose.

การเลือกชนิดของรูปแบบการบิน

เลือก Polygon กรณีรูปแปลงไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก



เลือก Grid กรณีรูปแปลงเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

การตั้งค่าก่อนบิน

Settings

Normal

Advanced



Angle of the camera
90°

0° 90°

มุมกล้อง 90 องศา



Front overlap ⓘ
80%

20% 90%

Front Lap 80%



Side overlap ⓘ
70%

20% 90%

Side Lap 60%



Drone speed
Fast

Slow Fast

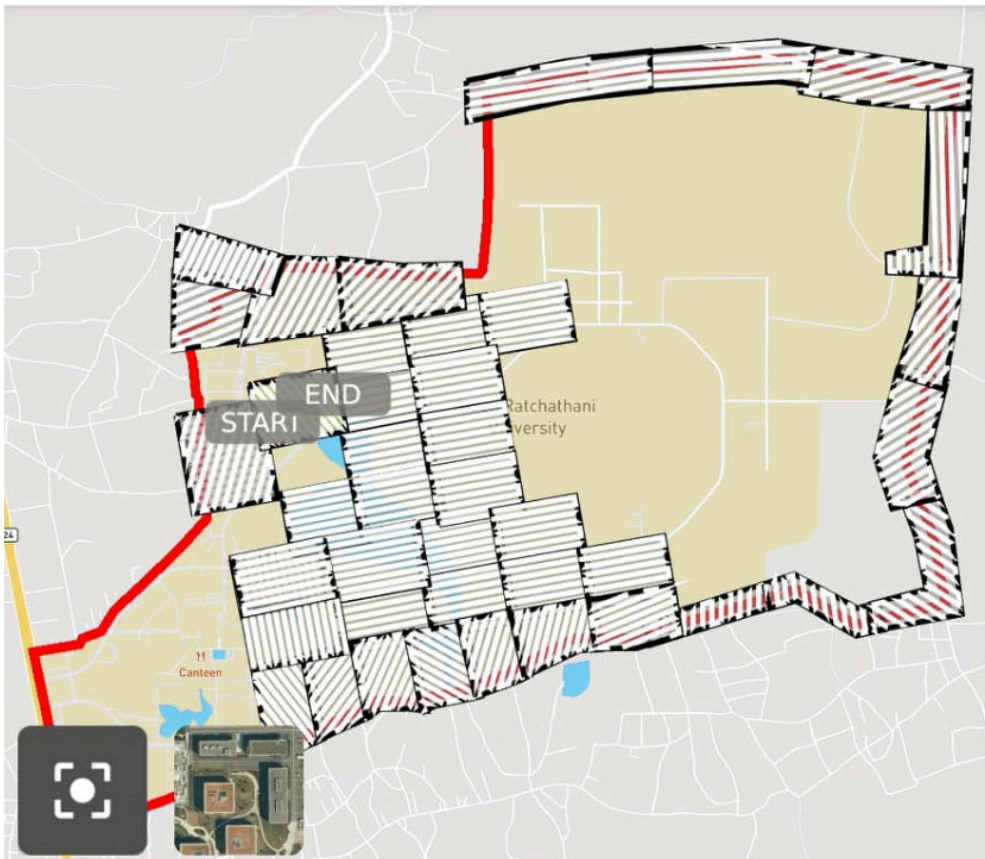
Medium



UBU20201107 (4)



KML



Download images (0 / 0)



Upload images (0 / 0)

3

MISSION 85

MISSION 86

MISSION 87



Open

Delete

Info



การเลือกวางแผนการบินให้ครอบคลุม

The screenshot displays a drone flight planning application interface. The main view is an aerial map of a green field with a planned flight path marked by white lines and green circular waypoints. A 'START' label is at the beginning of the path, and an 'END' label is at the end. A large red arrow points downwards from the top of the field, and another large red arrow points upwards from the bottom-left corner. A semi-transparent grey circle is overlaid on the right side of the field, representing the drone's field of view. The interface includes several UI elements:

- Left Panel:** GSD 2.74 cm/px, a height profile icon, and a vertical scale with values 51, 50 (highlighted), and 49 m.
- Right Panel:** Drone status information: Anafi, Anafi 4K, 91% battery, 87% signal strength, 16 minutes remaining, 11.34 GB storage, Speed: 0.0 m/s, Alt: 0.0 / 50.0 m, and 178.9 m away.
- Bottom Panel:** Map navigation icons, a dimension box showing 232 x 153 m and a duration of 5 min : 16 s, and a large green 'START' button.

กำหนดความสูงการบิน 30 เมตร

GSD
2.74
cm/px
51
50
49
m

Drone take off checklist

✓ Connected	✓ Battery level (drone) sufficient	✓ Drone GPS satellites
✓ Camera ready	✓ Drone firmware version is 1.1.0	✓ Controller firmware version is 1.1.0
✓ Drone storage (11.33 GB Free)	✓ Drone close to grid	✓ Mission uploaded to drone
✓ Geofence	ⓘ Drone calibrated	ⓘ Drone wifi: CH

Cancel Start

Anafi
Anafi 4K
91%
87%
15
11.33 GB
Speed: 0.0 m/s
Alt: 0.0 / 50.0 m
179.2 m away





คลิก **START** เพื่อเริ่มบิน

232 x 153 m
5 min : 16 s

START

การตรวจสอบสถานะโคโรนขณะบินถ่ายภาพ

 91%
 87%
 16
 11.34 GB
Speed: 0.0 m/s
Alt: 0.0 / 50.0 m
178.9 m away

% แบตเตอรี่ของโคโรน

% แบตเตอรี่โมทคอนโทรล

จำนวนดาวเทียมที่โคโรนรับได้

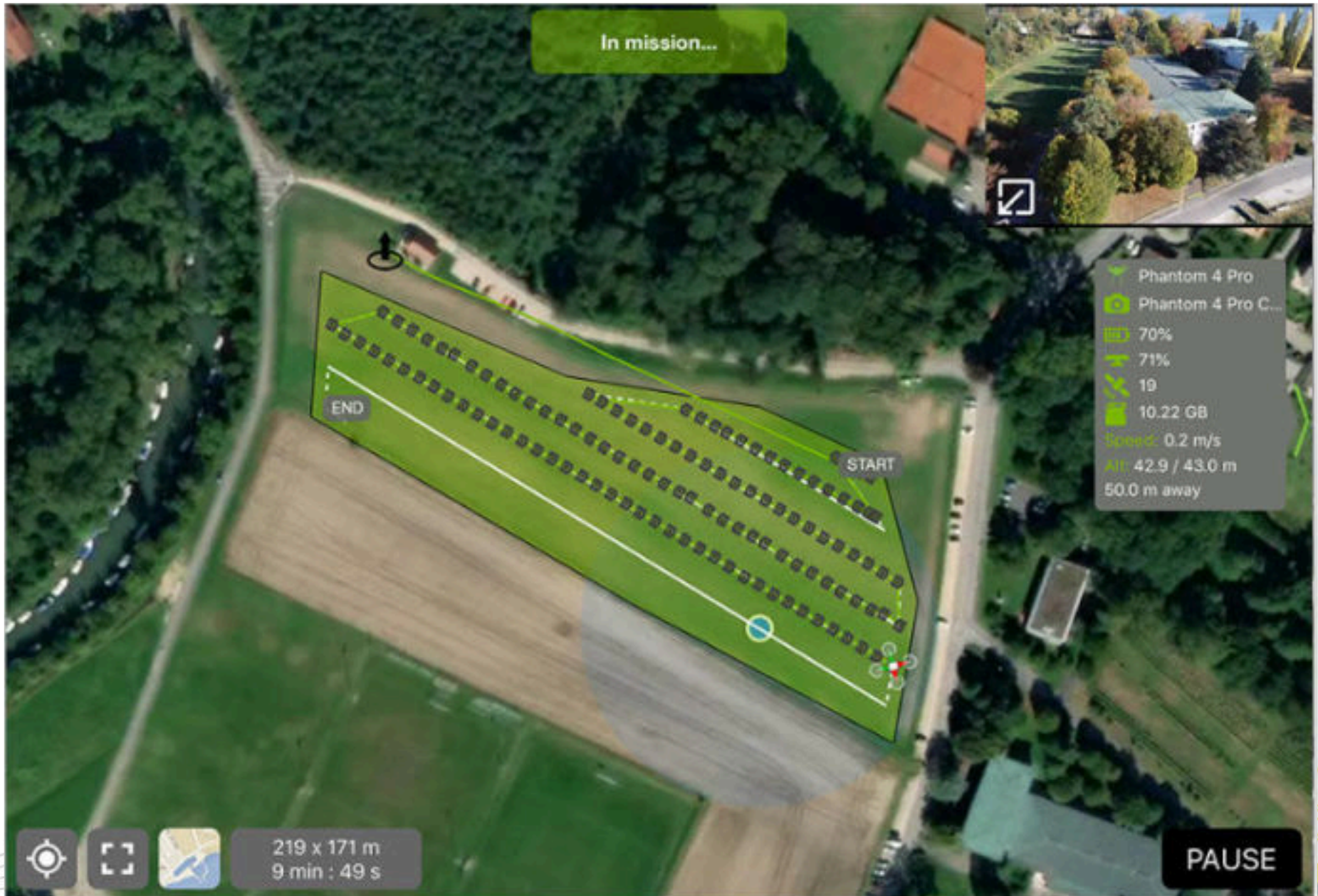
ความจุที่สามารถบันทึกภาพ

ความเร็วของโคโรนขณะบิน

ความสูงของโคโรนขณะบิน

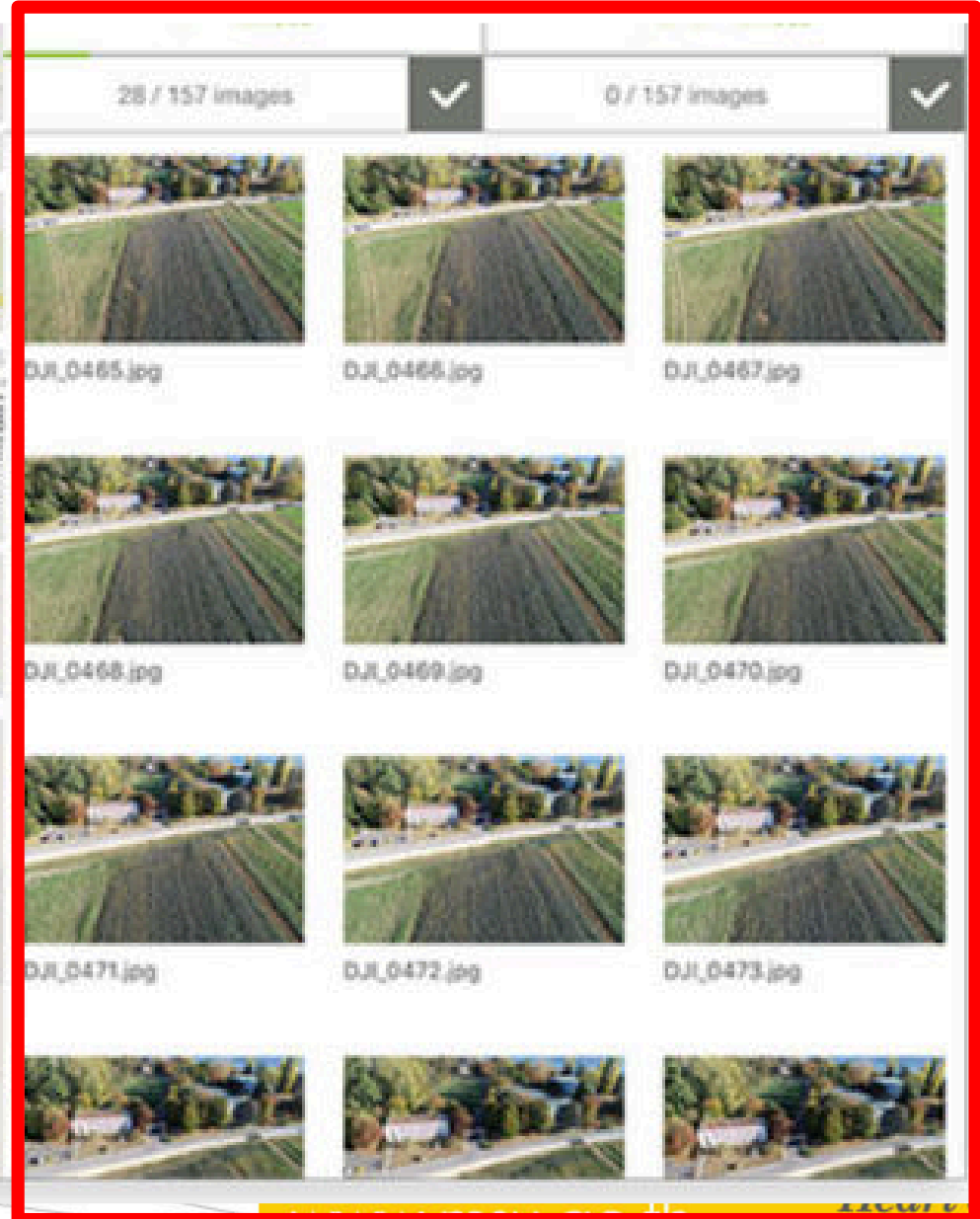
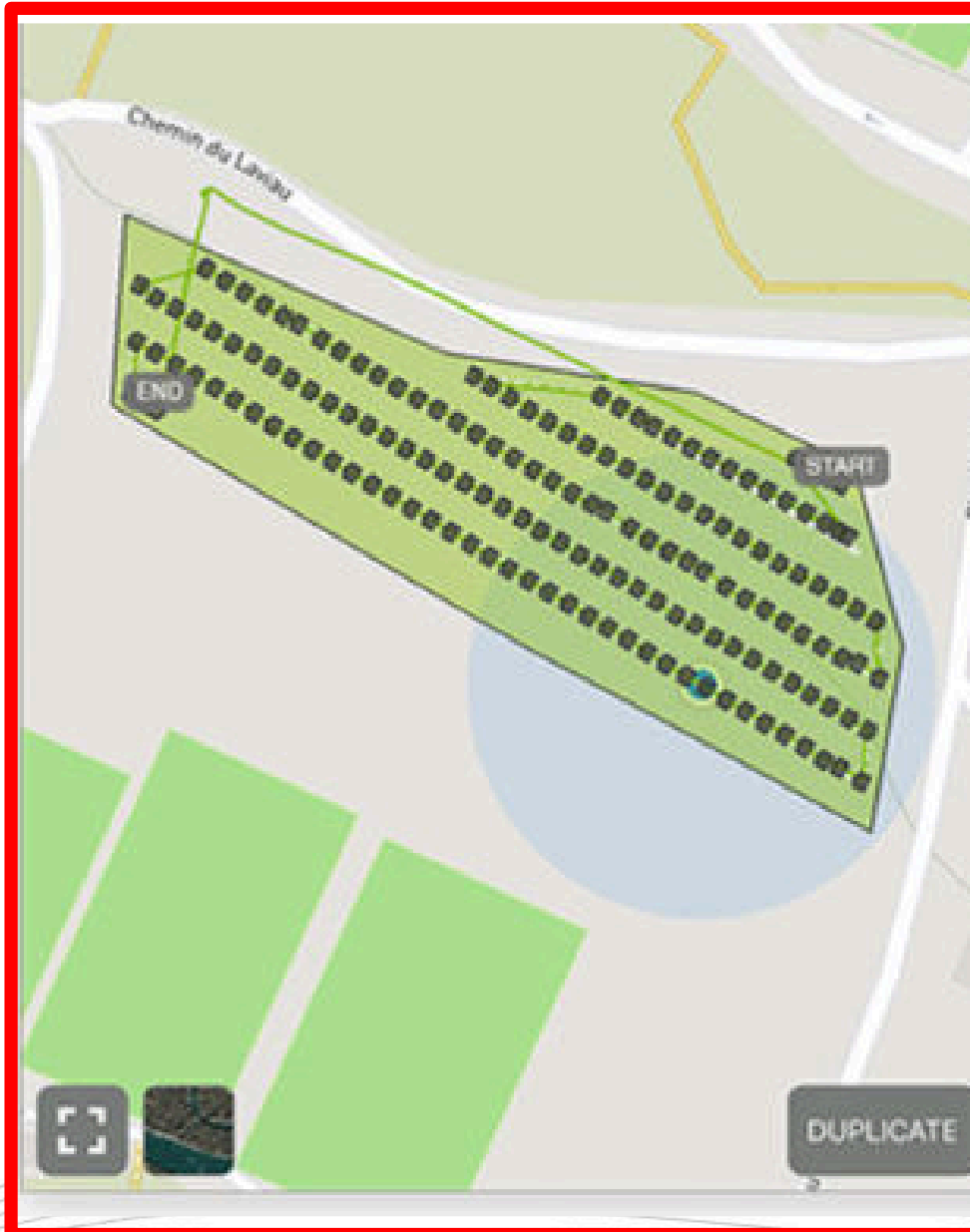
ระยะห่างของโคโรนกับผู้บังคับ

โดรนบินถ่ายภาพตามเส้นทางที่วางแผนการบิน

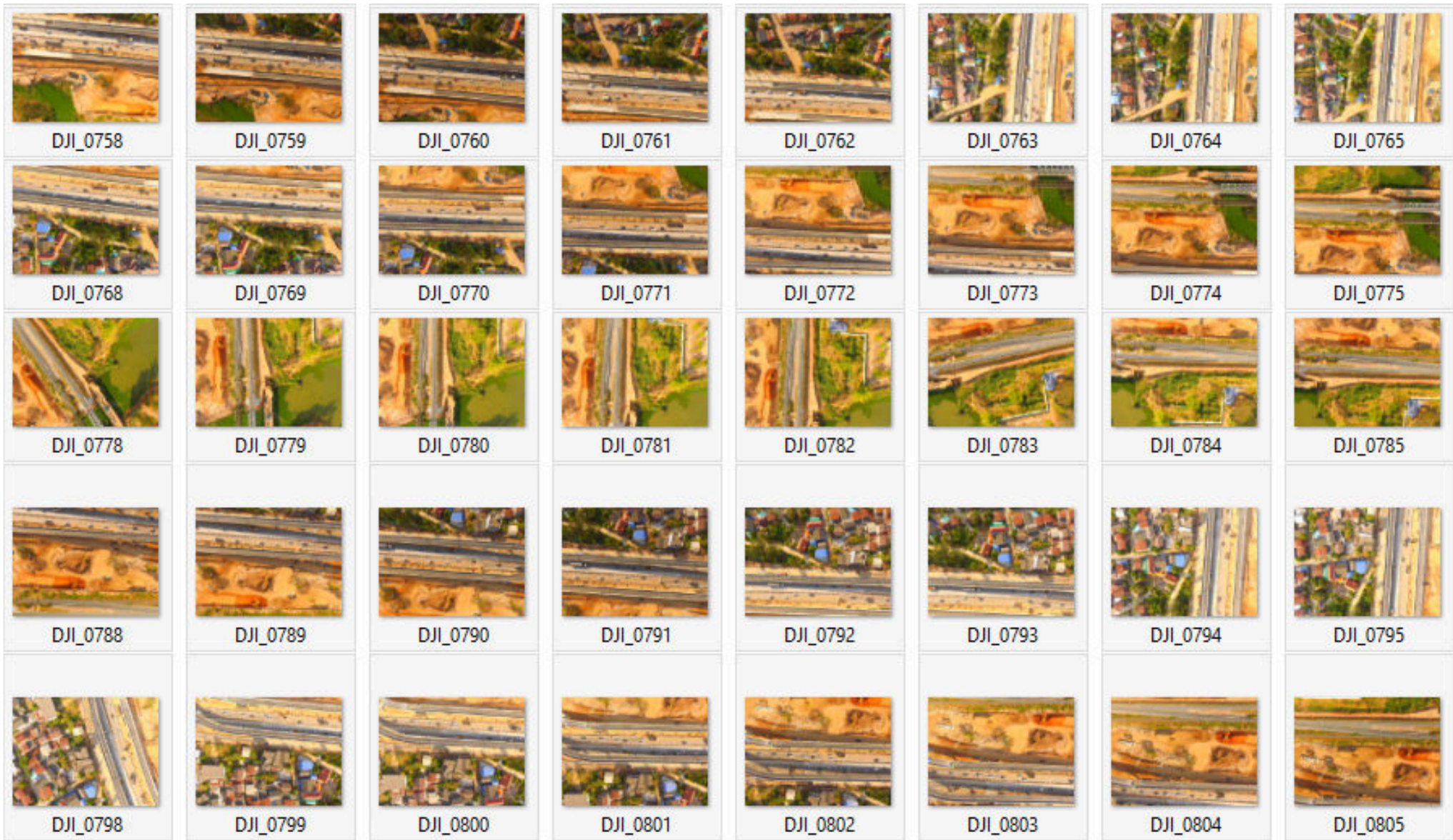


ตำแหน่งที่โคจรถ่ายภาพ

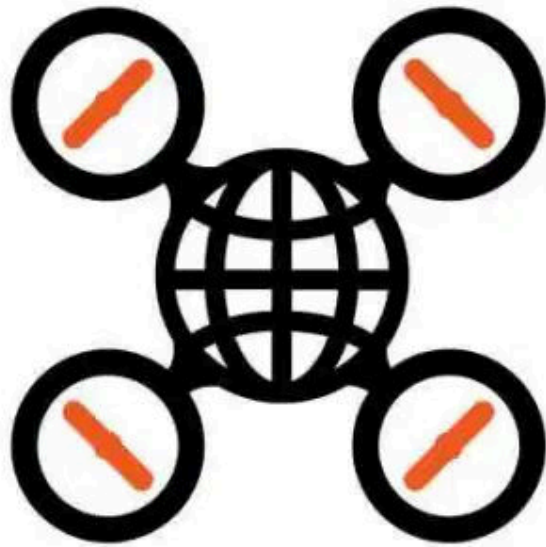
ภาพถ่ายที่ได้



ภาพจากการบินถ่าย



Software



WebODM

VS



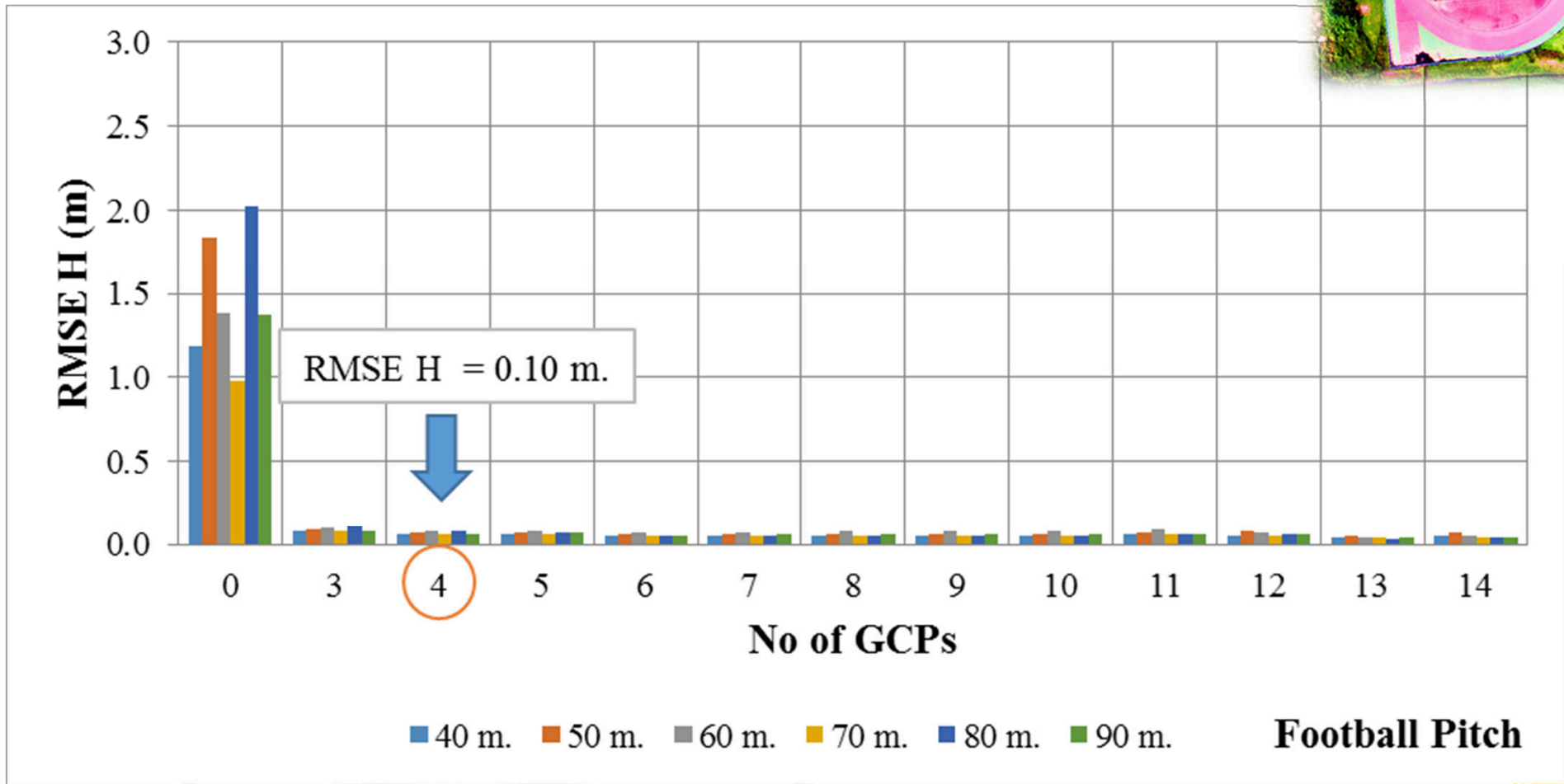
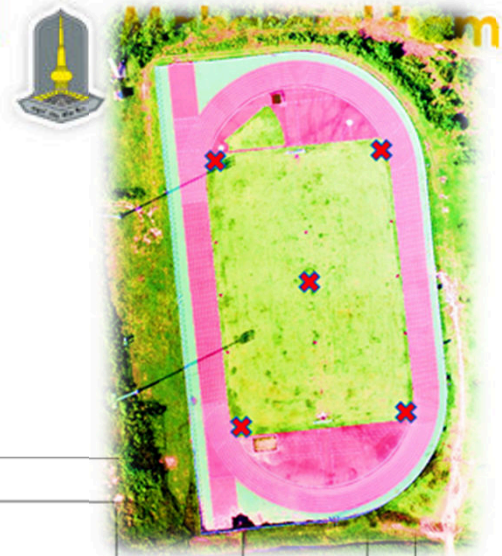

Metashape



DroneDeploy

Results

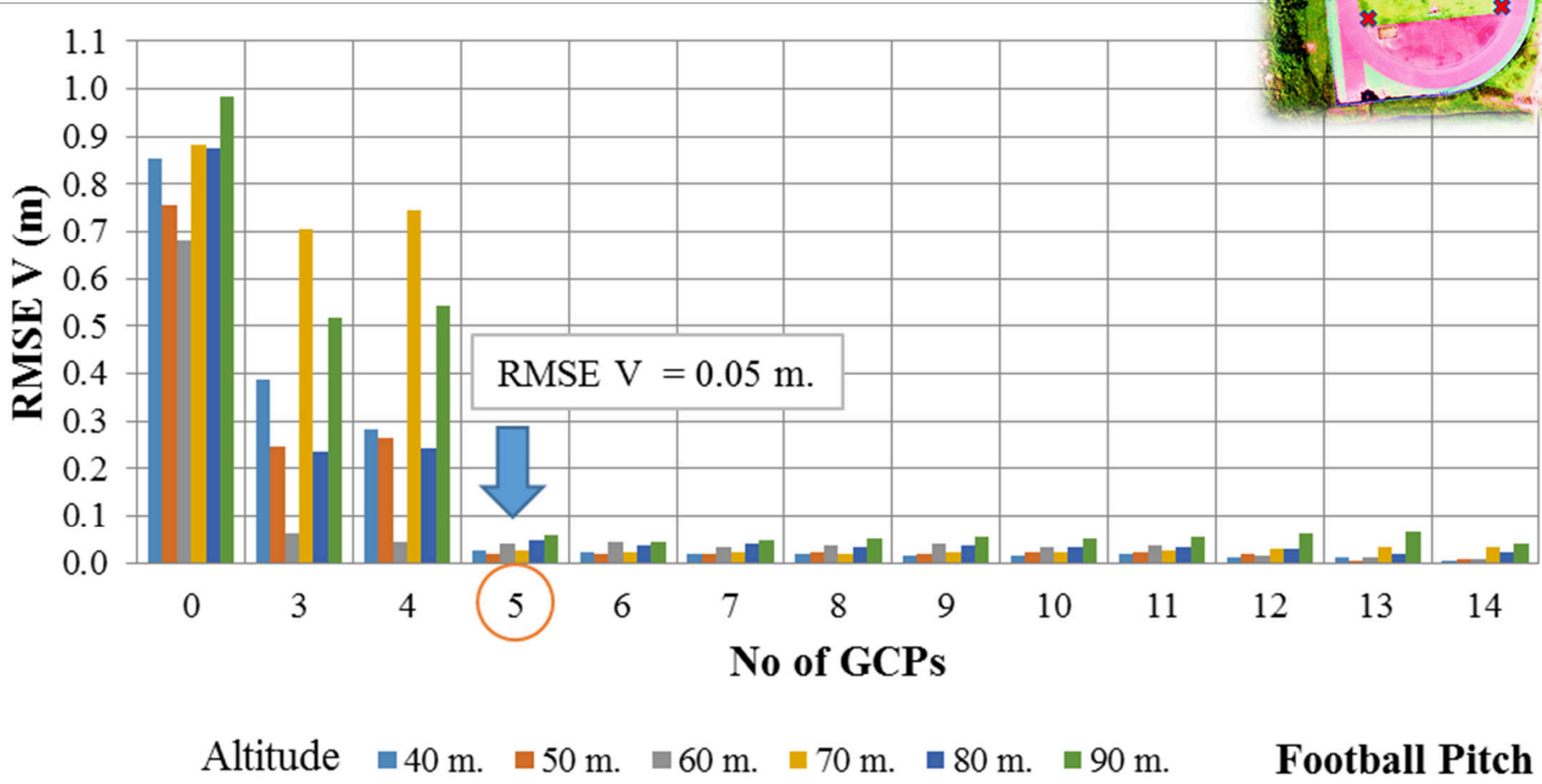
RMSE H สหามฟุตบอล





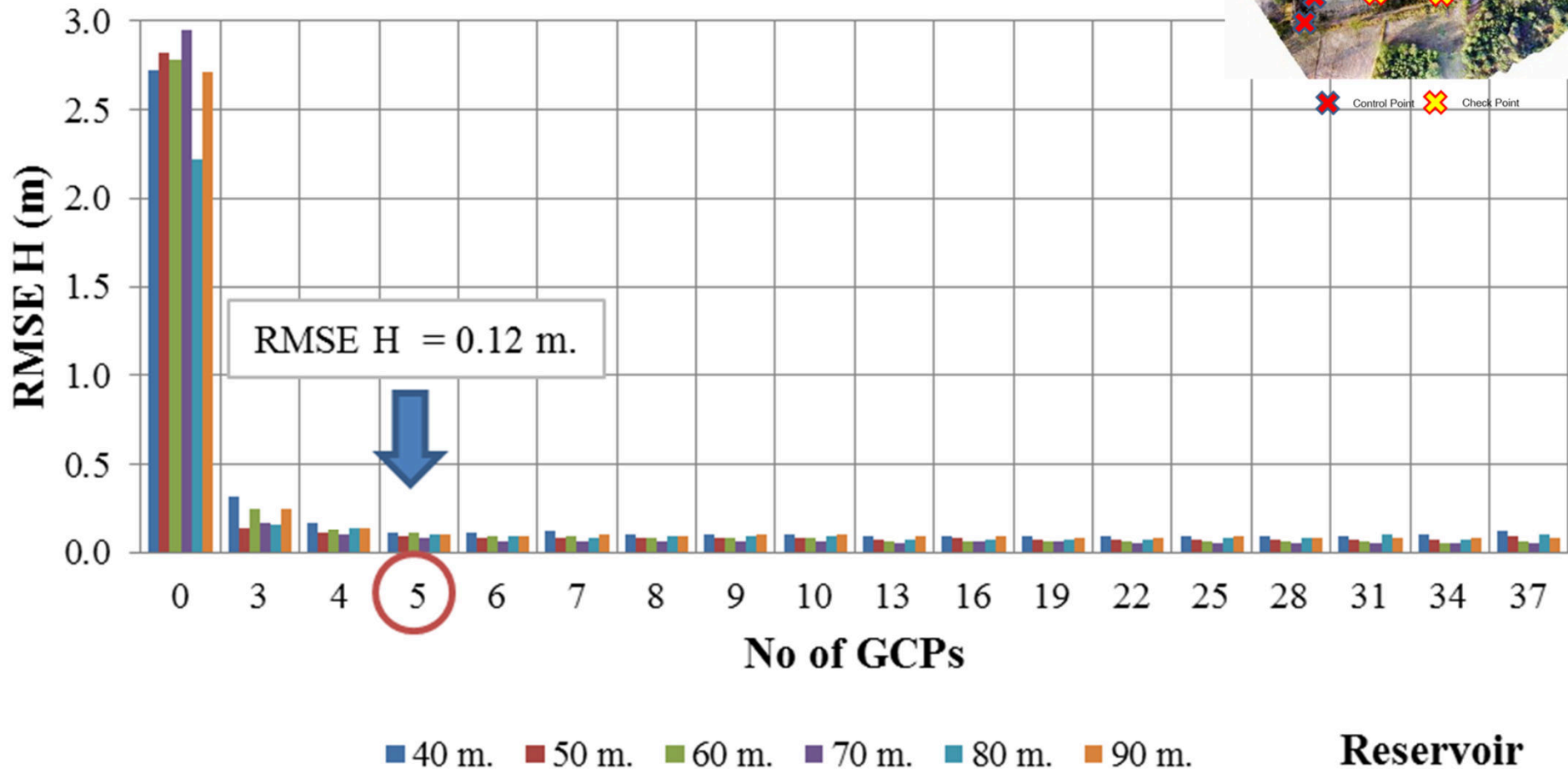
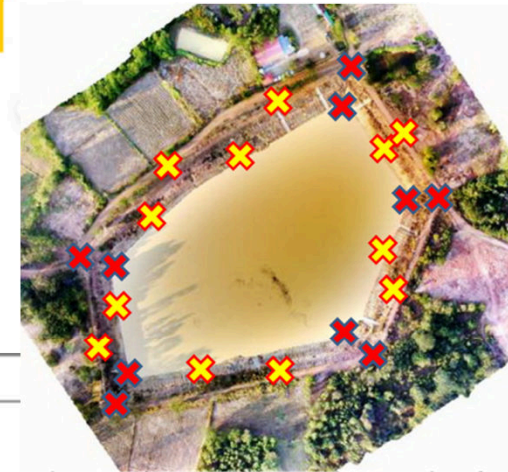
Results

RMSE V สหามฟุตบอล



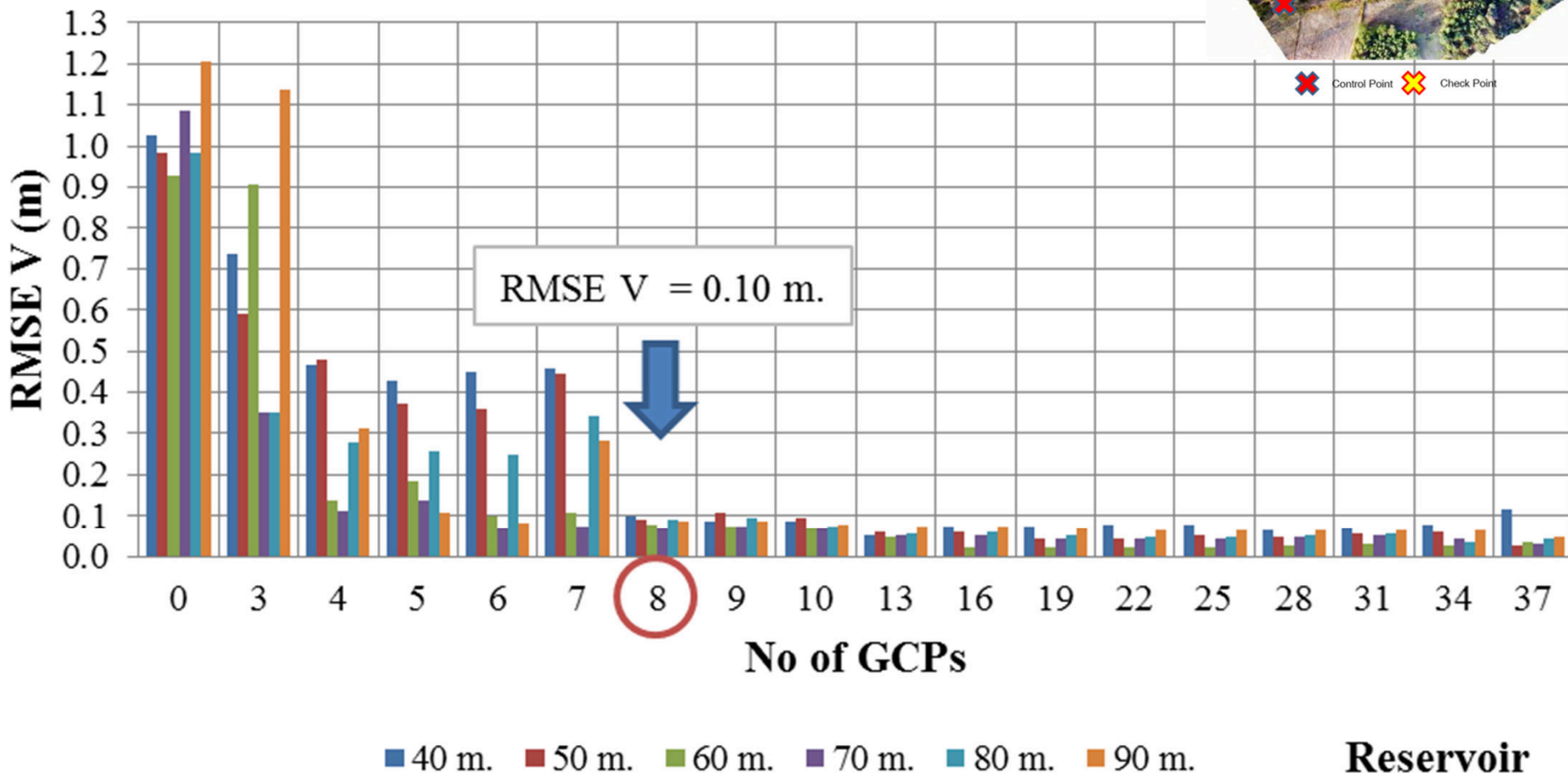
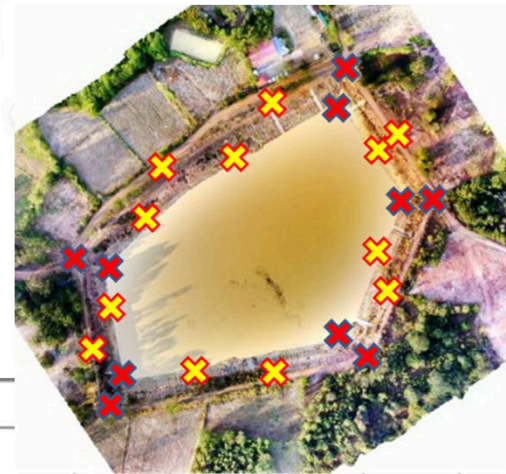
Results

RMSE H สระน้ำ



Results

RMSE V สระน้ำ



ANALYZING THE EFFECT OF DISTRIBUTION PATTERN & NUMBER OF GCPs ON OVERALL ACCURACY OF UAV PHOTOGRAMMETRIC RESULTS

**Basant Awasthi^{1*}, Shashank Karki^{2*}, Pratikshya Regmi^{3*}, Deepak Singh
Dhami^{4*}, Shangharsha Thapa^{5*}, Uma Shankar Panday^{6*}**

*Department of Civil and Geomatics Engineering, Kathmandu University, Dhulikhel, Kavre,
Nepal, P.O. Box – 6250, Email: web@ku.edu.np

¹basantawasthi8@gmail.com, ²shashank.karki480@gmail.com, ³pratiregmi78@gmail.com,

⁴deepakdhami18@gmail.com, ⁵shangharsha.thapa@gmail.com, ⁶uspanday@ku.edu.np



Table 1 Sites used for Study.

Site	Location	Area (m ²)
Site 1: Corridor	Punyamata River, Panauti	108,400
Site 2: Area with Undulating terrain	Kathmandu University, Dhulikhel	368,500

lens used was of FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞ and the image size was 4000x3000. The images were acquired with an overlap of 80/60 for both the sites, height of flight was 40m and 50m for Site 1: Corridor and Site 2: Area with Undulating terrain respectively and Ground Sampling Distance (GSD) of 2.03 cm / 0.8 in for Site 1: Corridor and 4.08 cm / 1.6 in for Site 2: Area with Undulating Terrain.

The Ground-based survey was done by static DGPS survey. The distribution of control points was distributed according to land cover type as following:



Site	Total Ground Stations	Ground Control Points	Check Points
Site 1: Corridor	15	3-9	6
Site 2: Area with Undulating terrain	20	3-9	11

The Ground Control points were distributed in these sites as follows:



a



b

Site 1

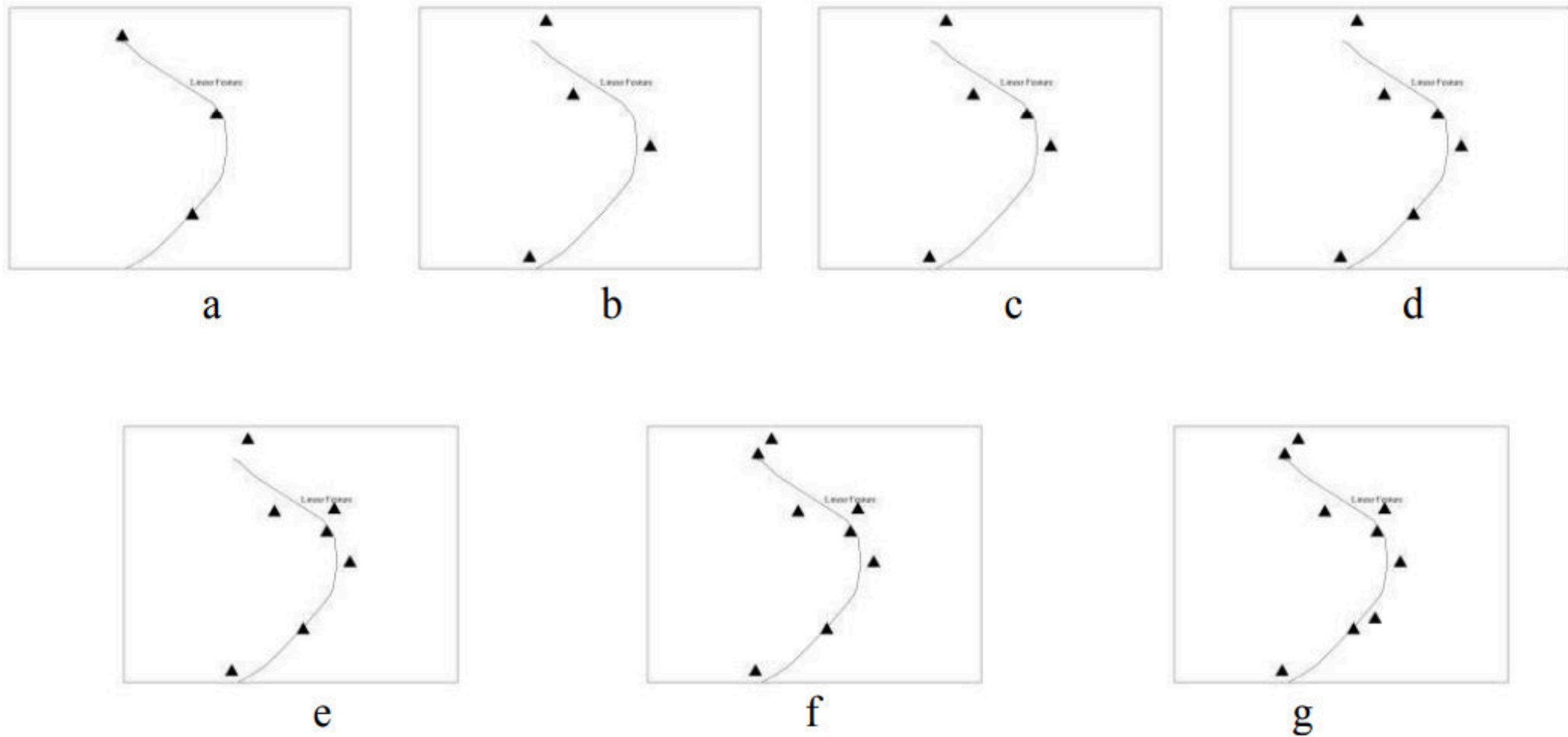


Fig. 4 Set of Different GCP Configurations used for (a) Site 1: Corridor (a) 3 GCP, (b) 4 GCP, (c) 5 GCP, (d) 6 GCP, (e) 7 GCP, (f) 8 GCP, (g) 9 GCP.

Site 2

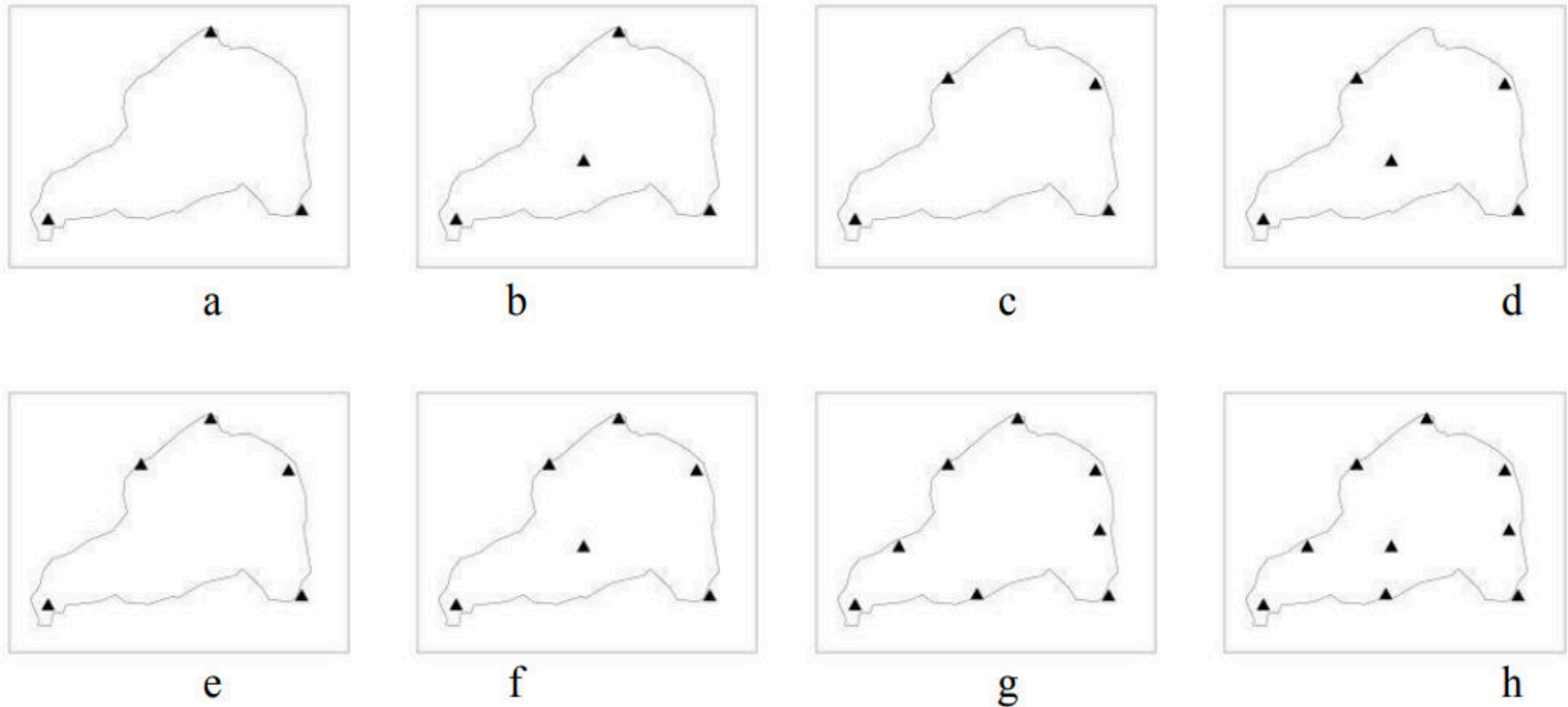


Fig. 5 Set of Different GCP Configurations used for (b) Site 2: Area with Undulating Terrain (a) 3 GCP, (b) 3 GCP with 1 at Center, (c) 4 GCP, (d) 4 GCP with 1 at Center, (e) 5 GCP, (f) 5 GCP with 1 at Center, (g) 8 GCP, (h) 8 GCP with 1 at Center.

Result

Table 3 Root Mean Square Error (RMSE) in X & Y and in X, Y & Z for different GCP configuration in Site 1: Corridor.

GCP Configuration	RMS Error in X & Y (m)	RMS Error in X,Y & Z (m)
3 GCPs	0.111	0.182
4 GCPs	0.109	0.160
5 GCPs	0.109	0.159
6 GCPs	0.082	0.136
7 GCPs	0.116	0.129
8 GCPs	0.112	0.119
9 GCPs	0.113	0.113



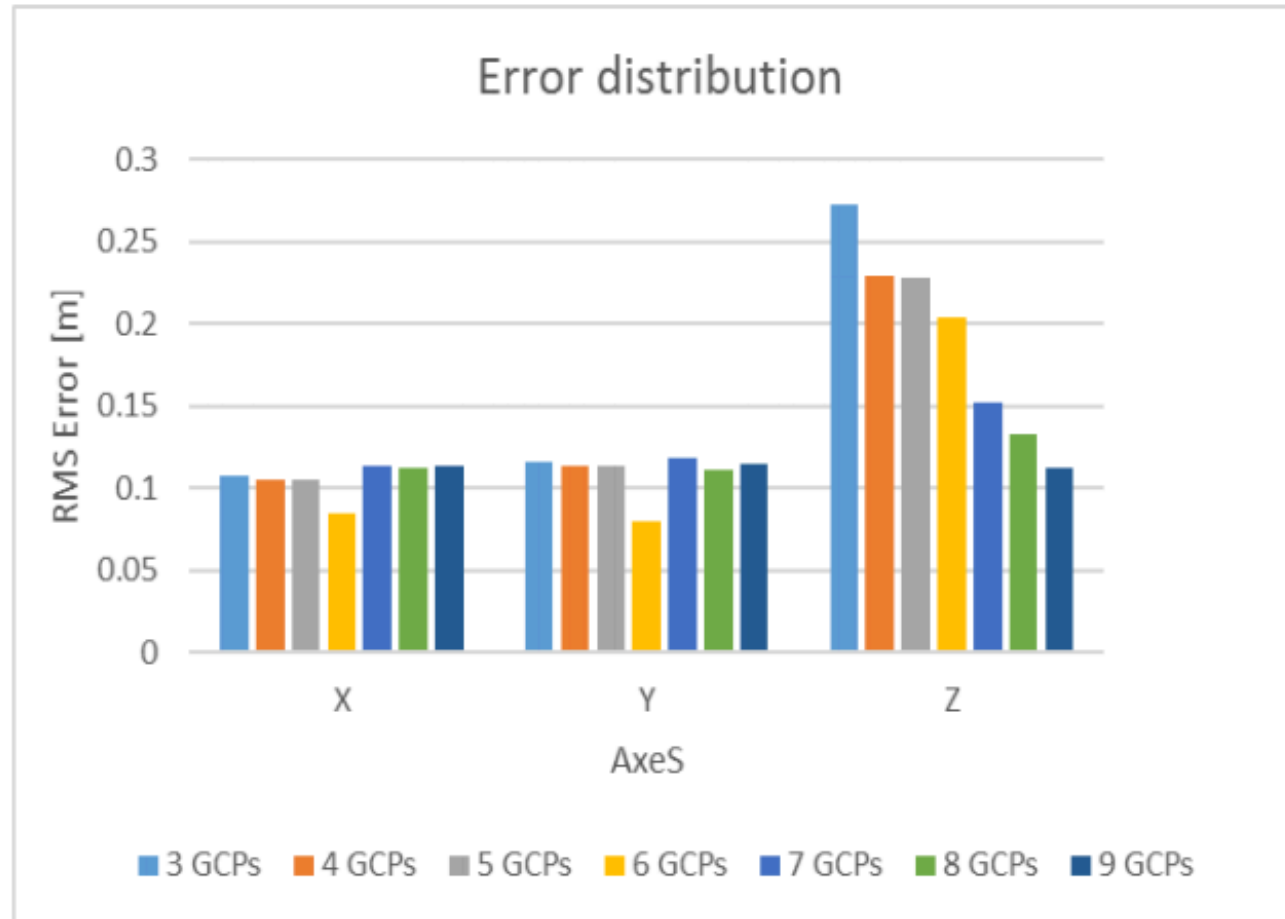


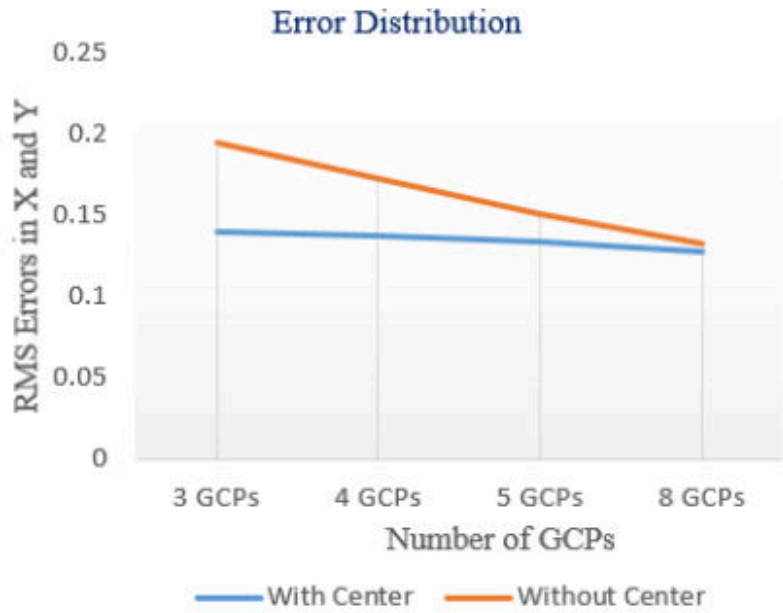
Fig. 8 Error Distribution Graphs generated using RMSE values for different GCP distribution in Site 1: Corridor.

Result

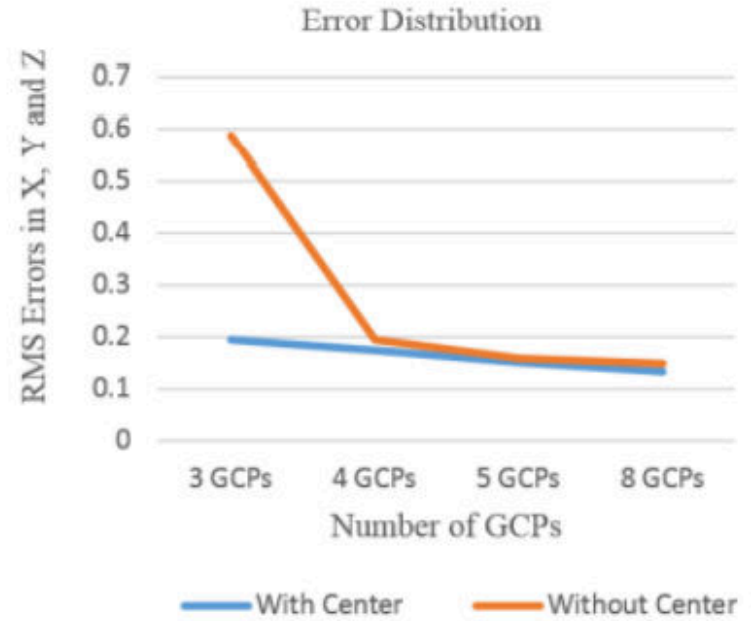
Table 4 Root Mean Square Error (RMSE) in X & Y and in X, Y & Z for different GCP configuration in Site 2: Area with Undulating Terrain.

GCP Configuration	RMS Error in X & Y (m)	RMS Error in X,Y & Z (m)
3 GCPs	0.140	0.586
3 GCPs with a central GCP	0.139	0.194
4 GCPs	0.138	0.195
4 GCPs with a central GCP	0.134	0.156
5 GCPs	0.154	0.173
5 GCPs with a central GCP	0.137	0.151
8 GCPs	0.127	0.148
8 GCPs with a central GCP	0.114	0.132





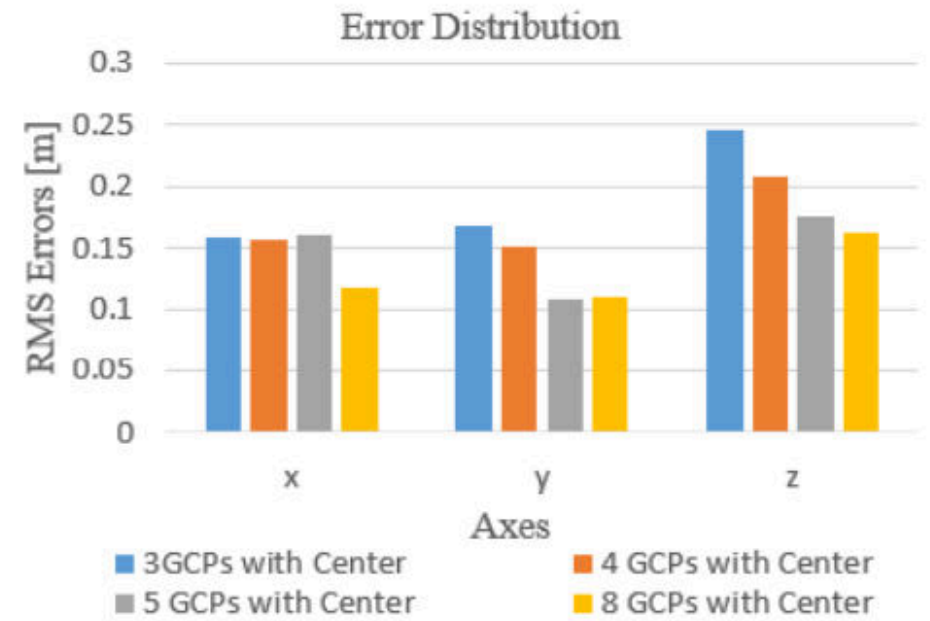
a



b



c



d



Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping of Open Dump Based on Variation of Image Overlaps

Abhisit Bhatsada¹, Sirintornthep Towprayoon^{2*}, Savitri Garivait², Komsilp Wangyao^{3*},

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Centre of Excellence on Energy Technology and Environment, PERDO, Bangkok 10140

Theera Laphitchayangkul⁴,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Tomonori Ishigaki⁵

National Institute for Environmental Studies, Onogawa, Ibaraki, Japan 305-0053

and Chart Chiemchaisri⁶

Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900

* *Corresponding Author: sirin@jgsee.kmutt.ac.th, komsilp@jgsee.kmutt.ac.th*

¹ *Master's Student, The Joint Graduate School of Energy and Environment*

² *Associate Professor, The Joint Graduate School of Energy and Environment*

³ *Research Associate, The Joint Graduate School of Energy and Environment.*

⁴ *Assistant Professor, Faculty of Engineering.*

⁵ *Researcher, Center for Material Cycles and Waste Management Research.*

⁶ *Associate Professor, Faculty of Engineering.*



Table 1 Flight configurations (FC)

Flight configuration code	Frontal overlap (%)	Side overlap (%)	Number of captured images	Number of GCPs	Number of CPs
FC1	80	75	159	10	27
FC2	80	90	249	10	27
FC3	85	75	155	10	27
FC4	85	90	287	10	28
FC5	90	90	307	10	26
FC6	85	85	186	10	28



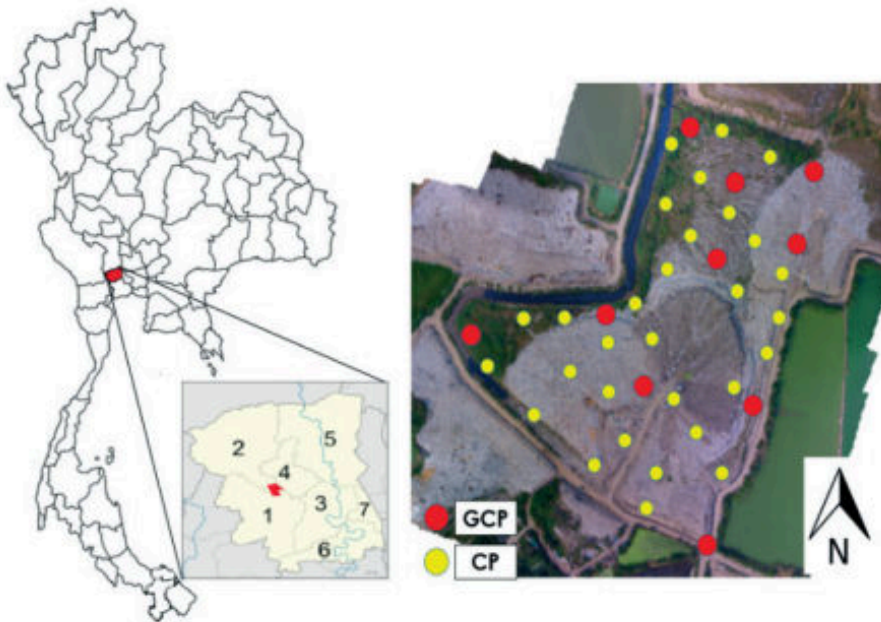


Figure 1 Location of the study area and the position of GCPs and CPs with orthoimage



Figure 3 3D reconstruction from UAV image data

the Dense Point Cloud”, which is estimated camera positions, calculating of several X,Y,Z points in order to accurately create the model of processing. Finally, the inspection of textured model, which is important for a precise marker of GCP and CP placement generating into orthophoto, is conducted in this study, as shown in Fig.3. [18].

2.4 Accuracy assessment

The spatial accuracy of this study was evaluated based on the positions of the CP that were

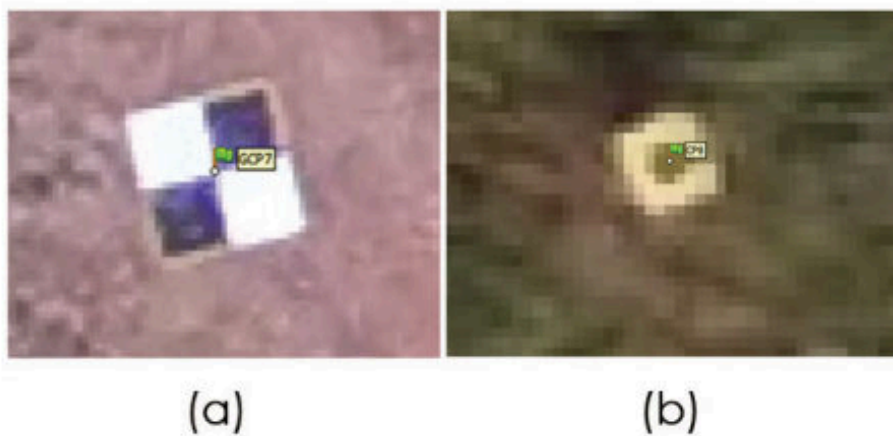


Figure 2 The GCP (a) and CP (b) targets

$$\text{RMSE}_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE}_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{O_i} - X_{GNSS_i})^2 + (Y_{O_i} - Y_{GNSS_i})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$\text{RMSE}_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{O_i} - Z_{GNSS_i})^2}{n}} \quad (4)$$

$$\text{RMSE}_T = \sqrt{(\text{RMSE}_{XY})^2 + (\text{RMSE}_Z)^2} \quad (5)$$



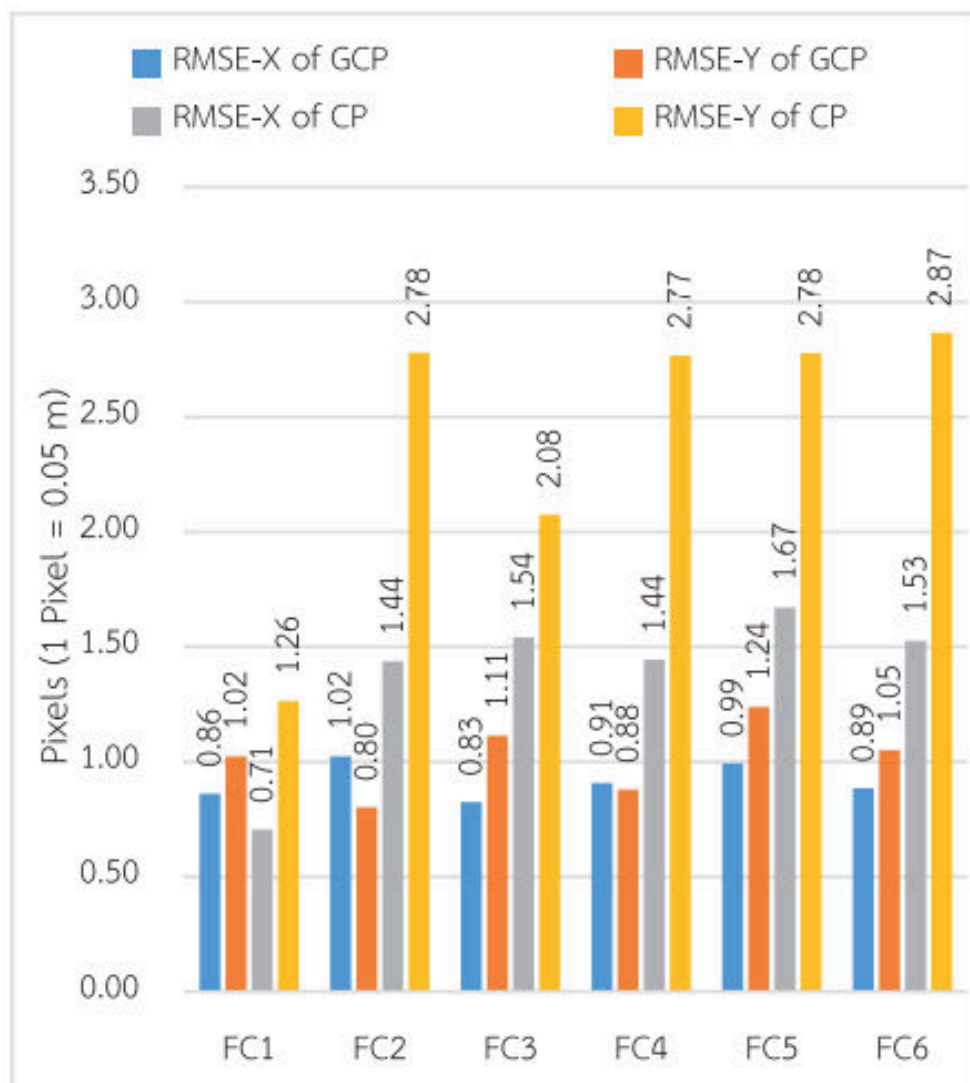


Figure 4 RMSE_x and RMSE_y of GCPs and CPs for each flight configuration

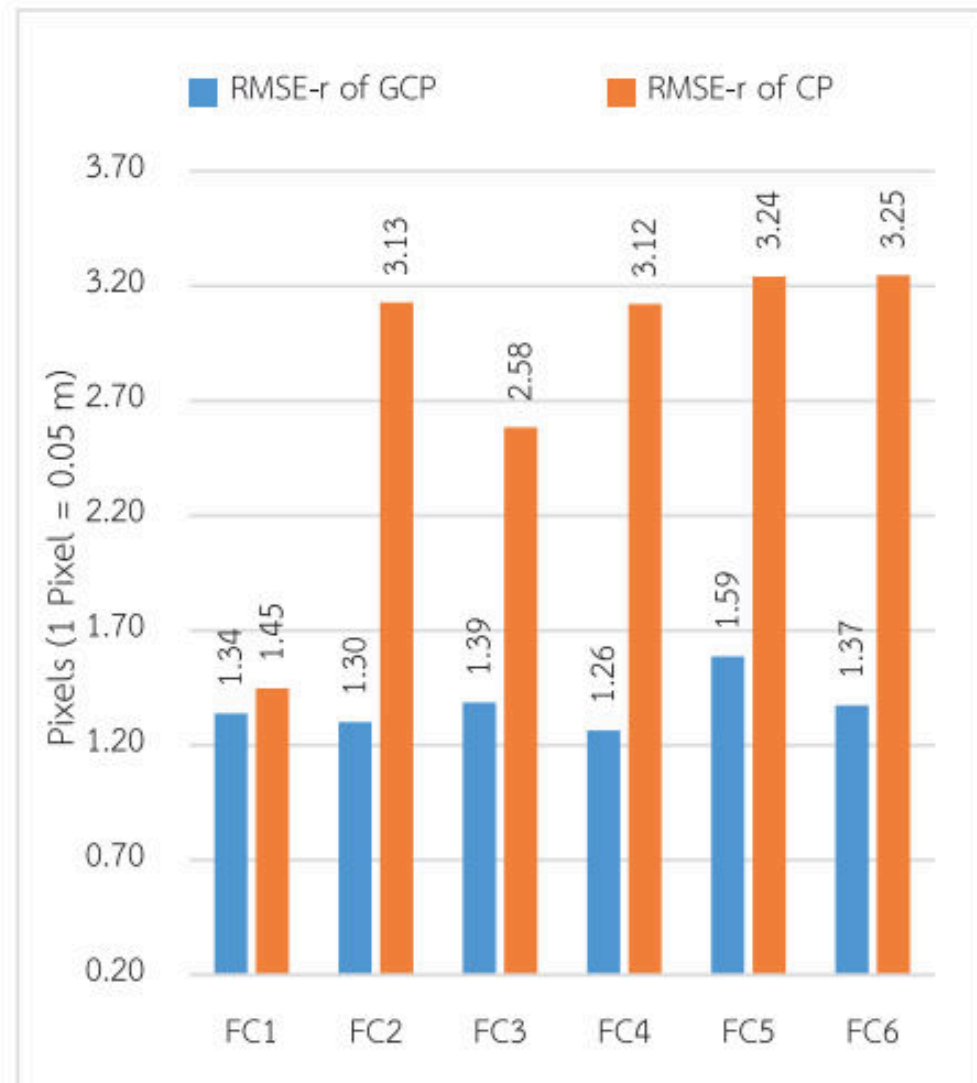


Figure 5 RMSE_r of GCPs and CPs for each flight configuration



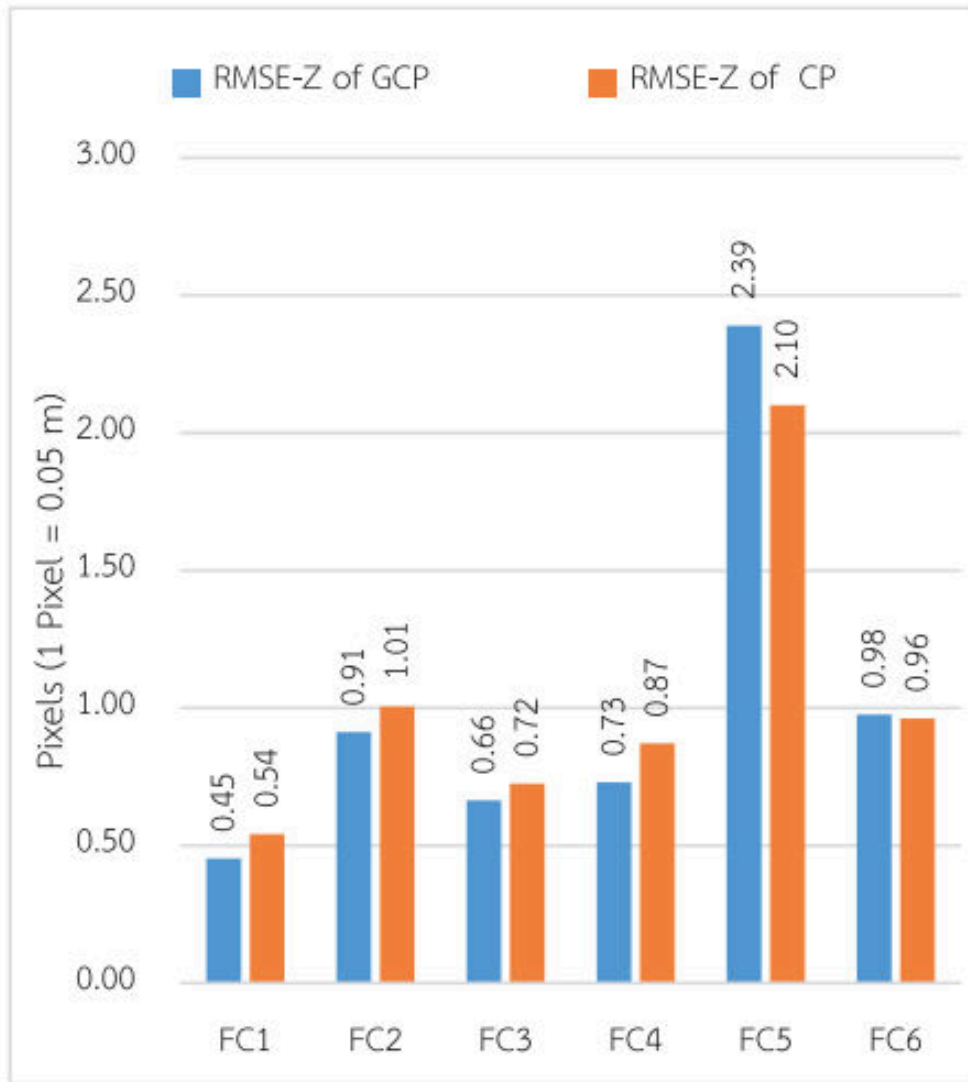


Figure 6 $RMSE_Z$ of GCPs and CPs for each flight configuration

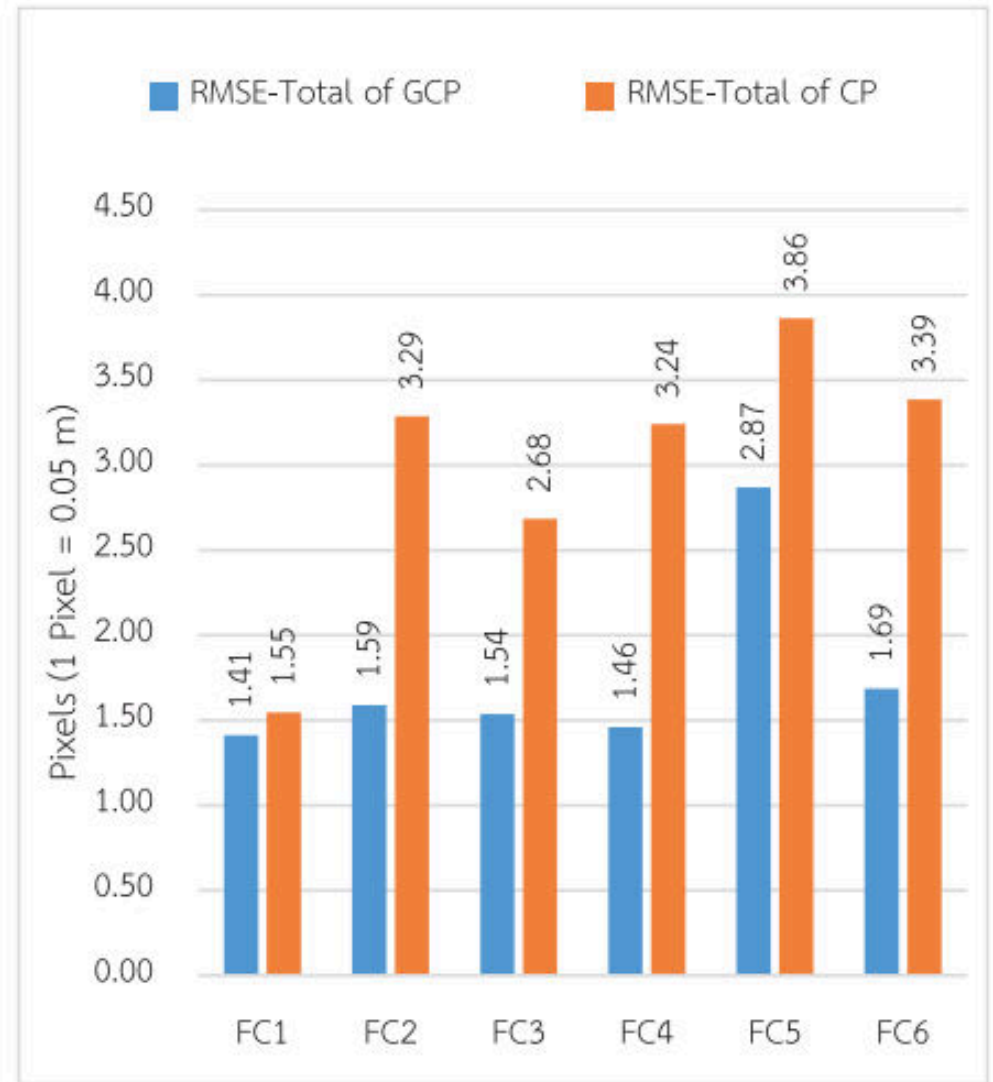


Figure 8 $RMSE_T$ of GCPs and CPs for each flight configuration

Table 2 Summary of accuracy in all flight configurations

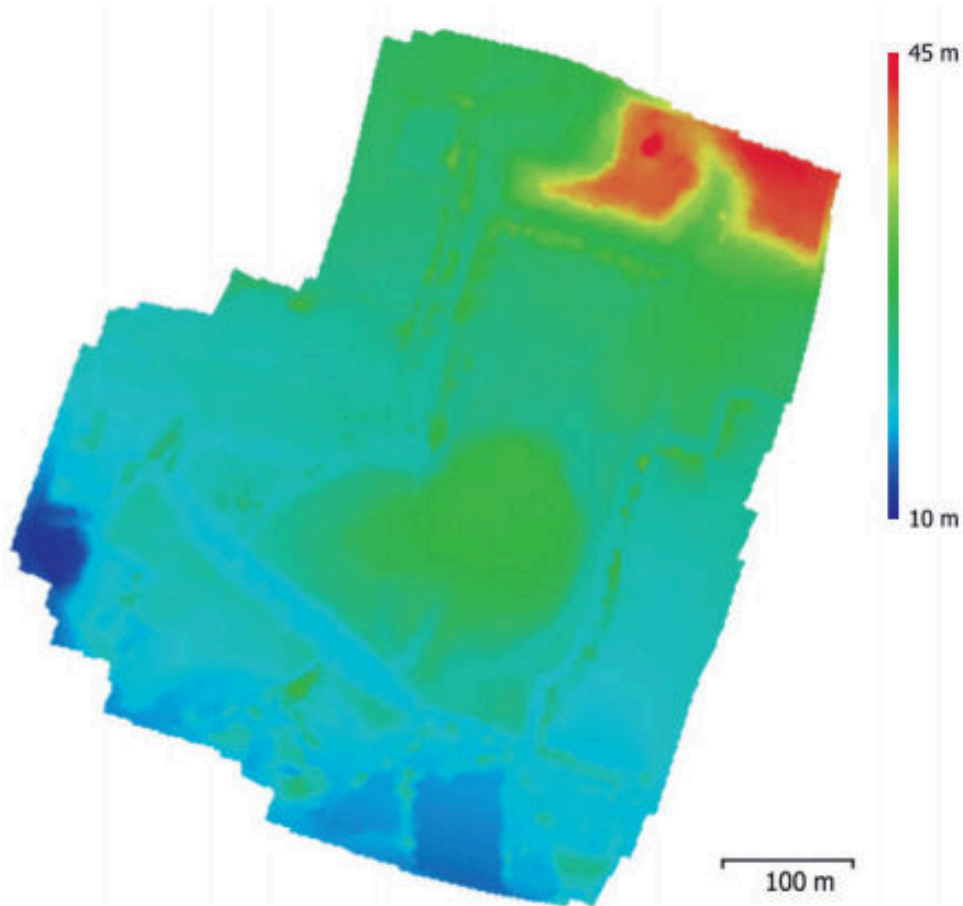


Figure 7 The digital elevation model (DEM) construction

Flight configuration code	Horizontal Accuracy				Vertical Accuracy
	ASPRS 2015		Equivalent to map scale in		
	Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
FC1	7.50	10.60	1:300	1:150	5-cm
FC2	15.00	21.20	1:600	1:300	10-cm
FC3	12.50	17.70	1:500	1 :250	5-cm
FC4	15.00	21.20	1:600	1:300	5-cm
FC5	15.00	21.20	1:600	1:300	15-cm
FC6	15.00	21.20	1:600	1:300	5-cm







remote sensing



Article

UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points

Ezequiel Ferrer-González * , Francisco Agüera-Vega , Fernando Carvajal-Ramírez  and Patricio Martínez-Carricondo 

Department of Engineering, Mediterranean Research Center of Economics and Sustainable Development, (CIMEDES), University of Almería (Agrifood Campus of International Excellence, ceiA3), La Cañada de San Urbano, s/n. 04120 Almería, Spain; faguera@ual.es (F.A.-V.); carvajal@ual.es (F.C.-R.); pmc824@ual.es (P.M.-C.)

* Correspondence: efg520@inlumine.ual.es

Received: 18 June 2020; Accepted: 28 July 2020; Published: 30 July 2020



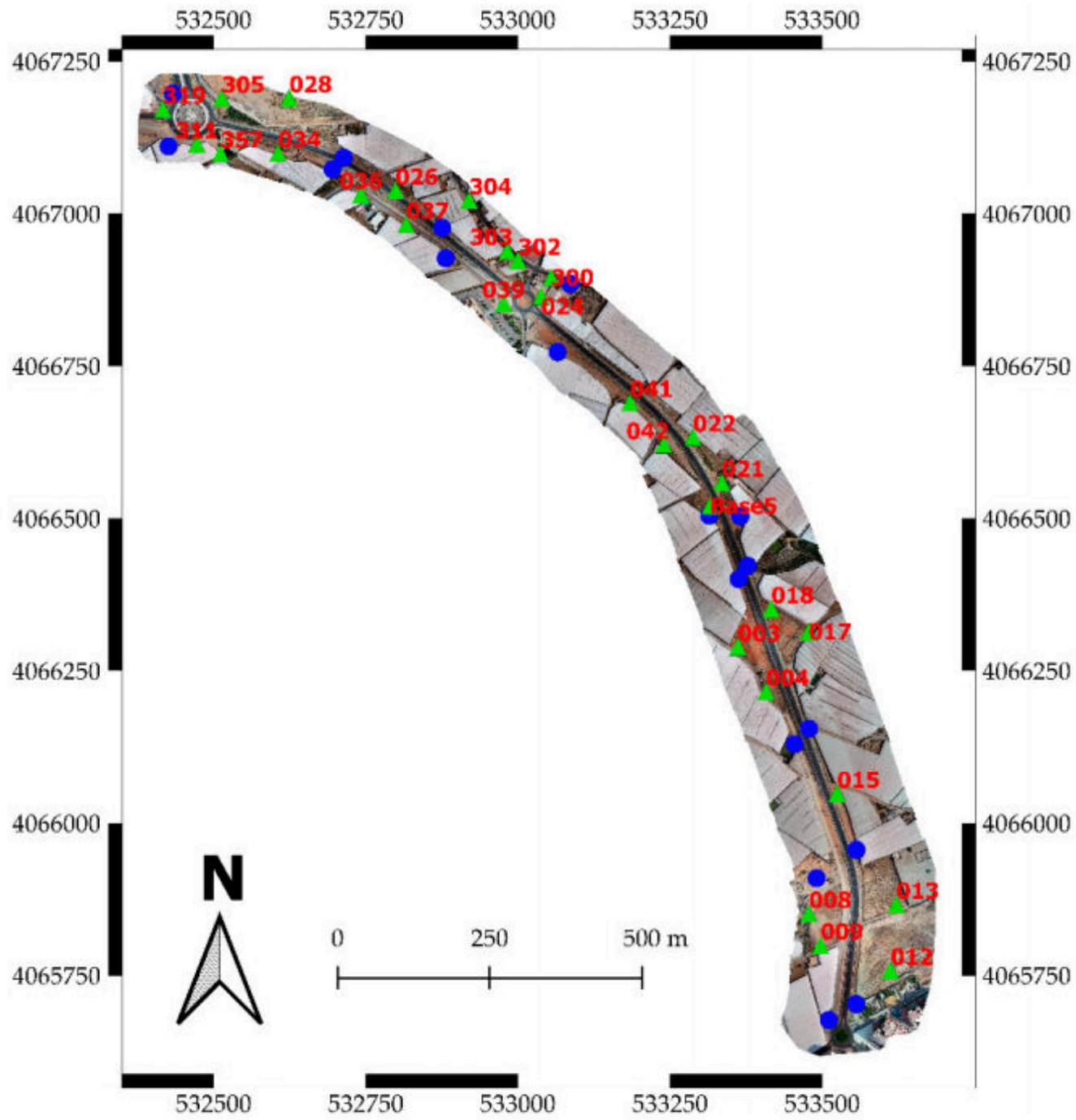


Figure 4. Location of the 47 targets used as GCPs (blue dots) and check points (CPs) (green triangles). The coordinates refer to UTM Zone 30N (ETRS89). The red numbers indicate the CP labels.



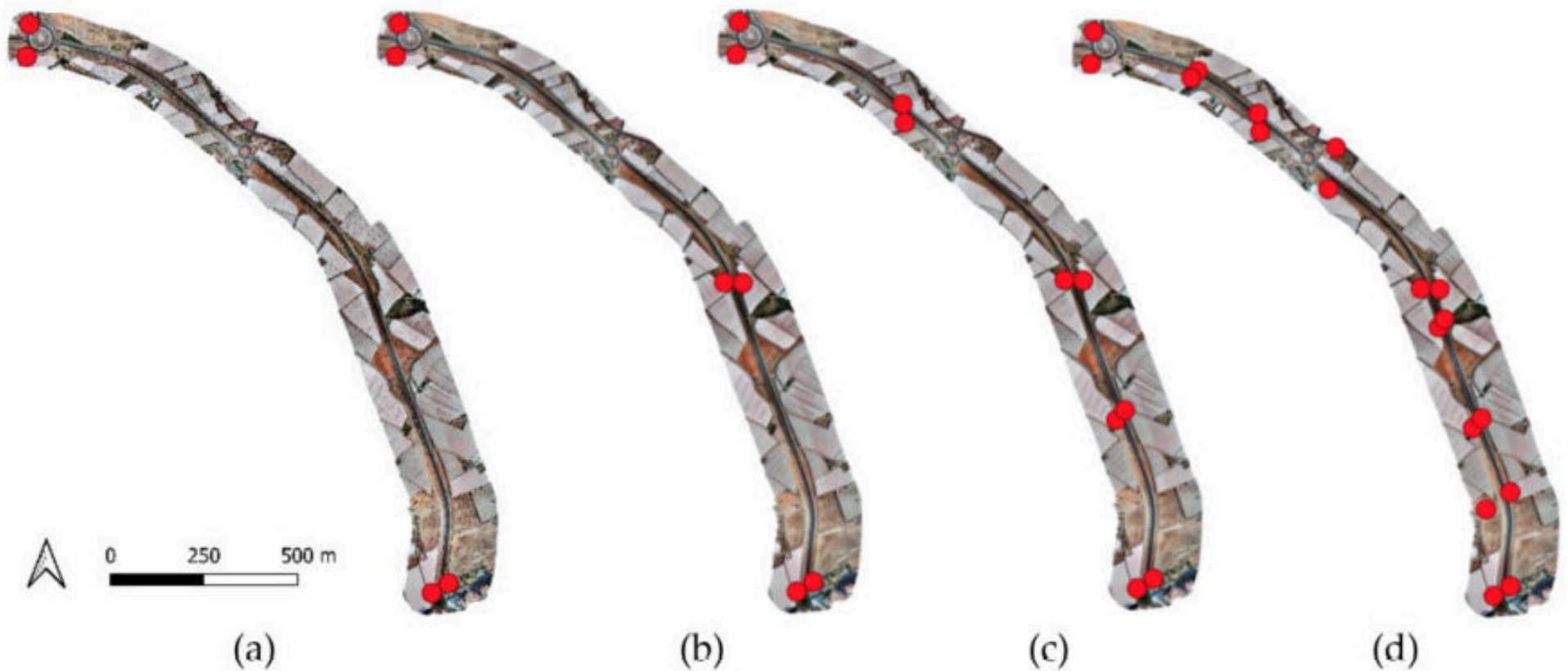


Figure 5. Location of the targets used as GCPs (red dots) for each project within Distribution 1. Four projects using (a) 4, (b) 6, (c) 10, and (d) 18 GCPs were carried out.



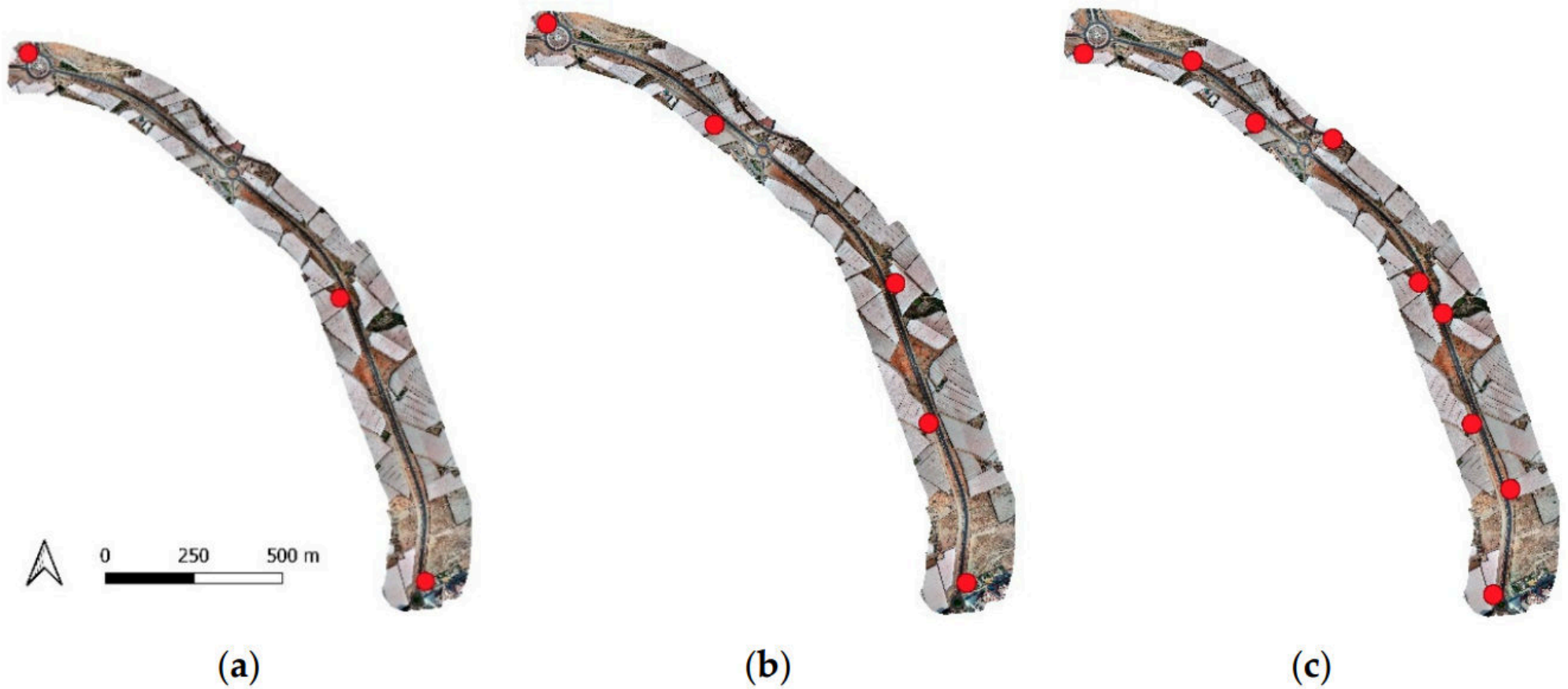


Figure 6. Location of the targets used as GCPs (red dots) for each project within Distribution 2. Three projects using (a) 3, (b) 5, and (c) 9 GCPs.



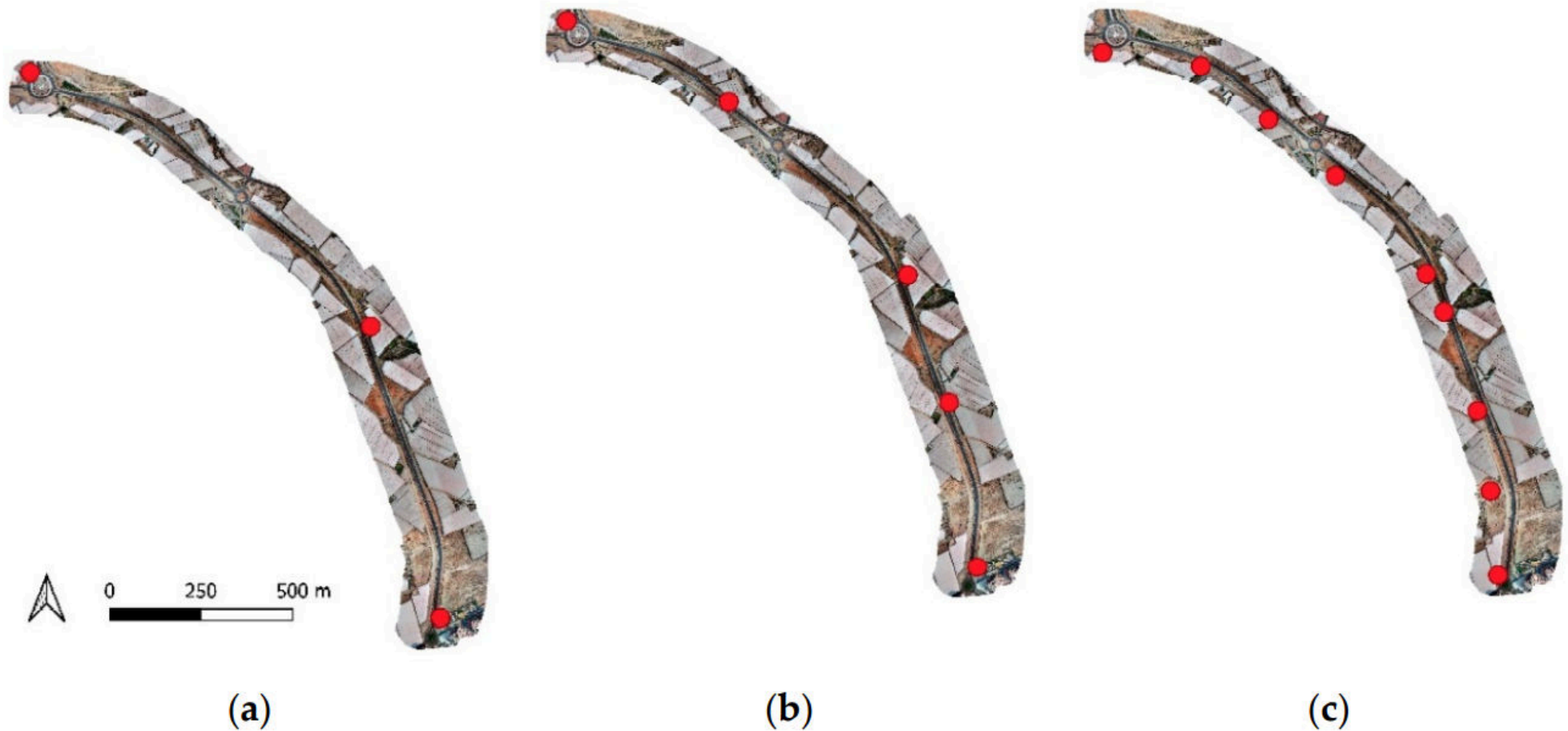


Figure 7. Location of the targets used as GCPs for each project within Distribution 3. Three projects using (a) 3, (b) 5, and (c) 9 GCPs.

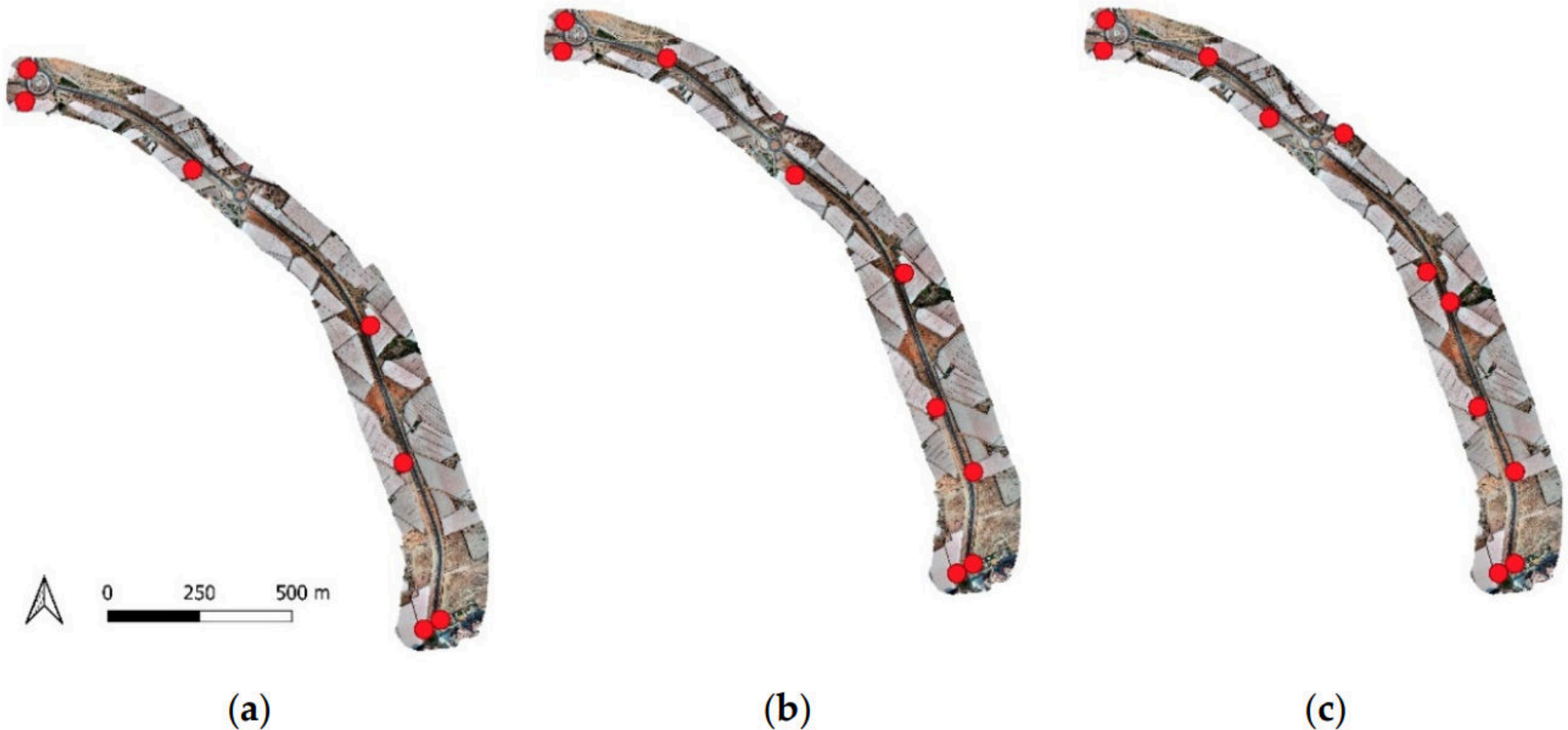


Figure 8. Location of the targets used as GCPs for each project within Distribution 4. Three projects using (a) 7, (b) 9, and (c) 11 GCPs (red dots) were carried out.

$$\text{RMSE}_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Oi} - X_{GPSi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE}_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{Oi} - Y_{GPSi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{Oi} - X_{GPSi})^2 + (Y_{Oi} - Y_{GPSi})^2]}{n}} \quad (3)$$

$$\text{RMSE}_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{Oi} - Z_{GPSi})^2}{n}} \quad (4)$$



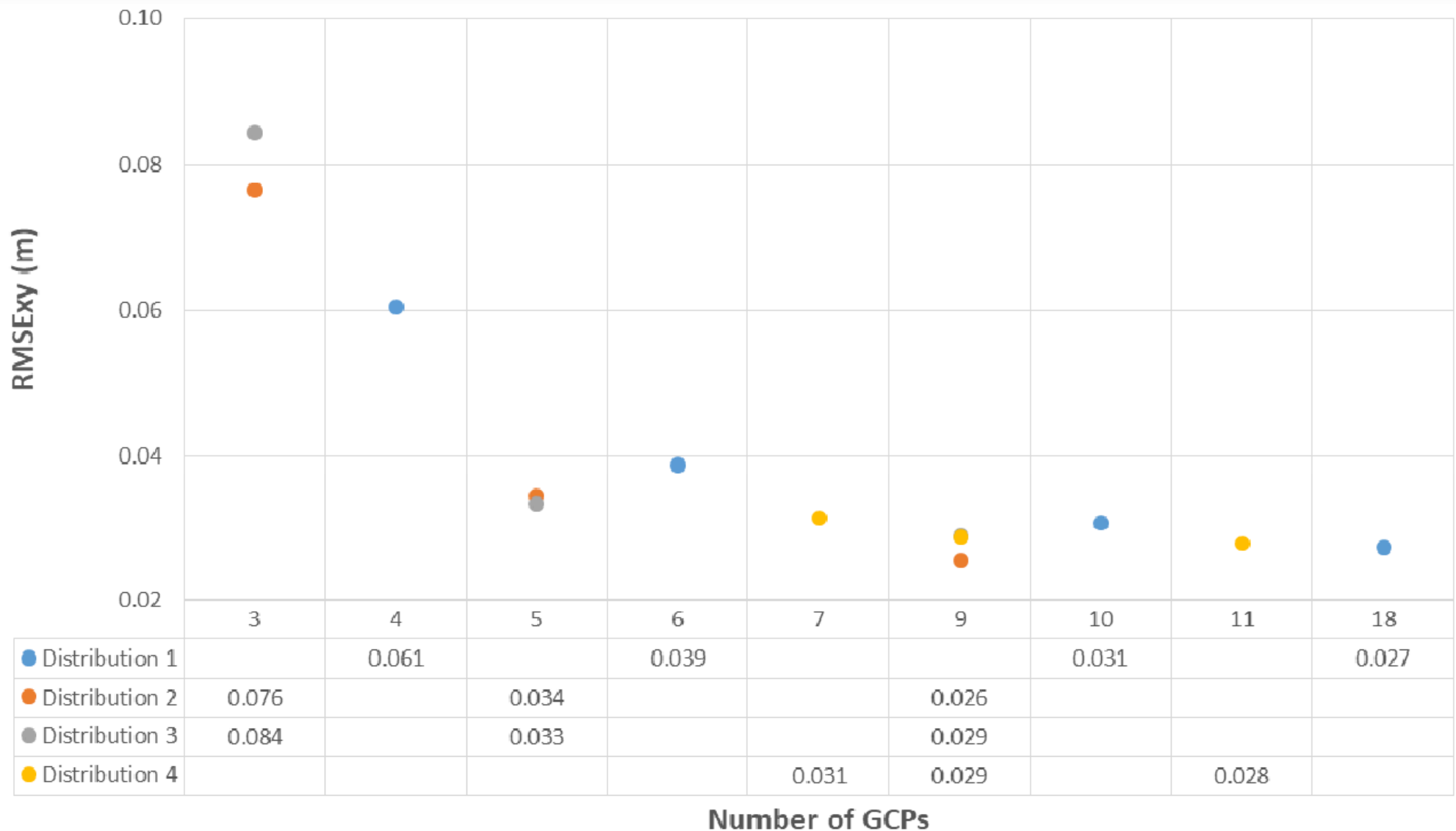


Figure 9. RMSE_{xy} values (in meters) obtained according to the number of GCPs used in the bundle adjustment. Each distribution is represented by a different color.

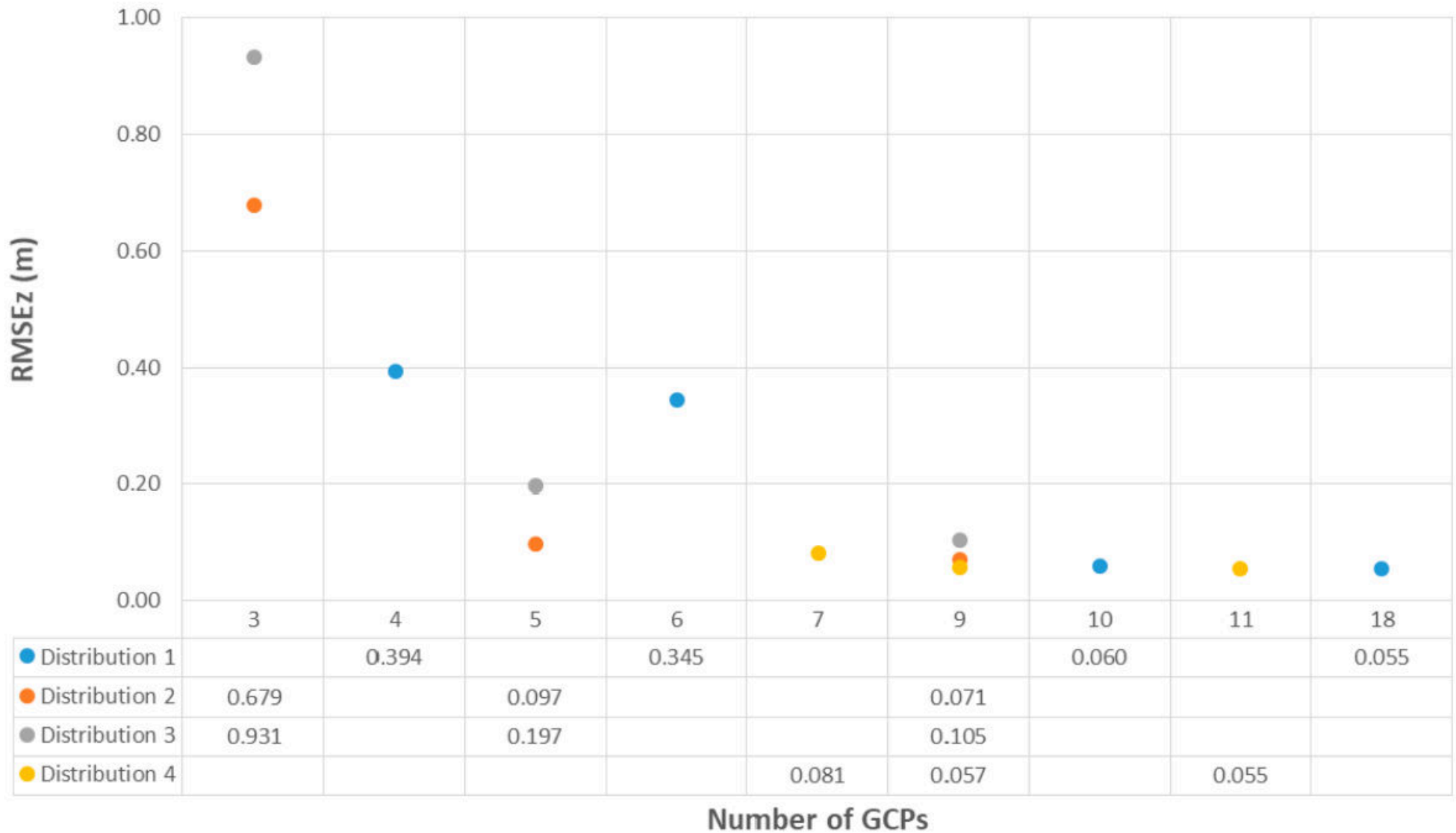
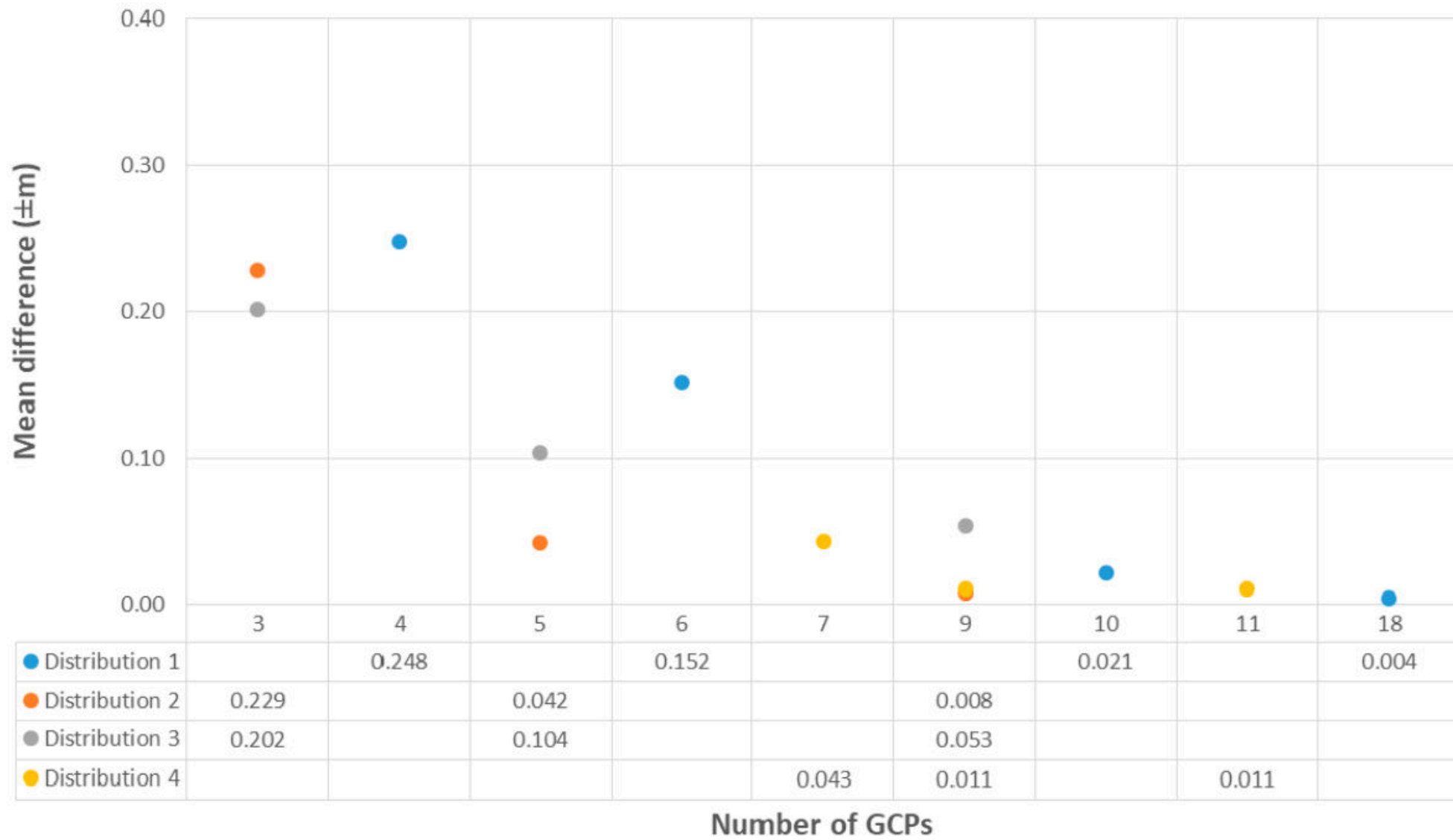
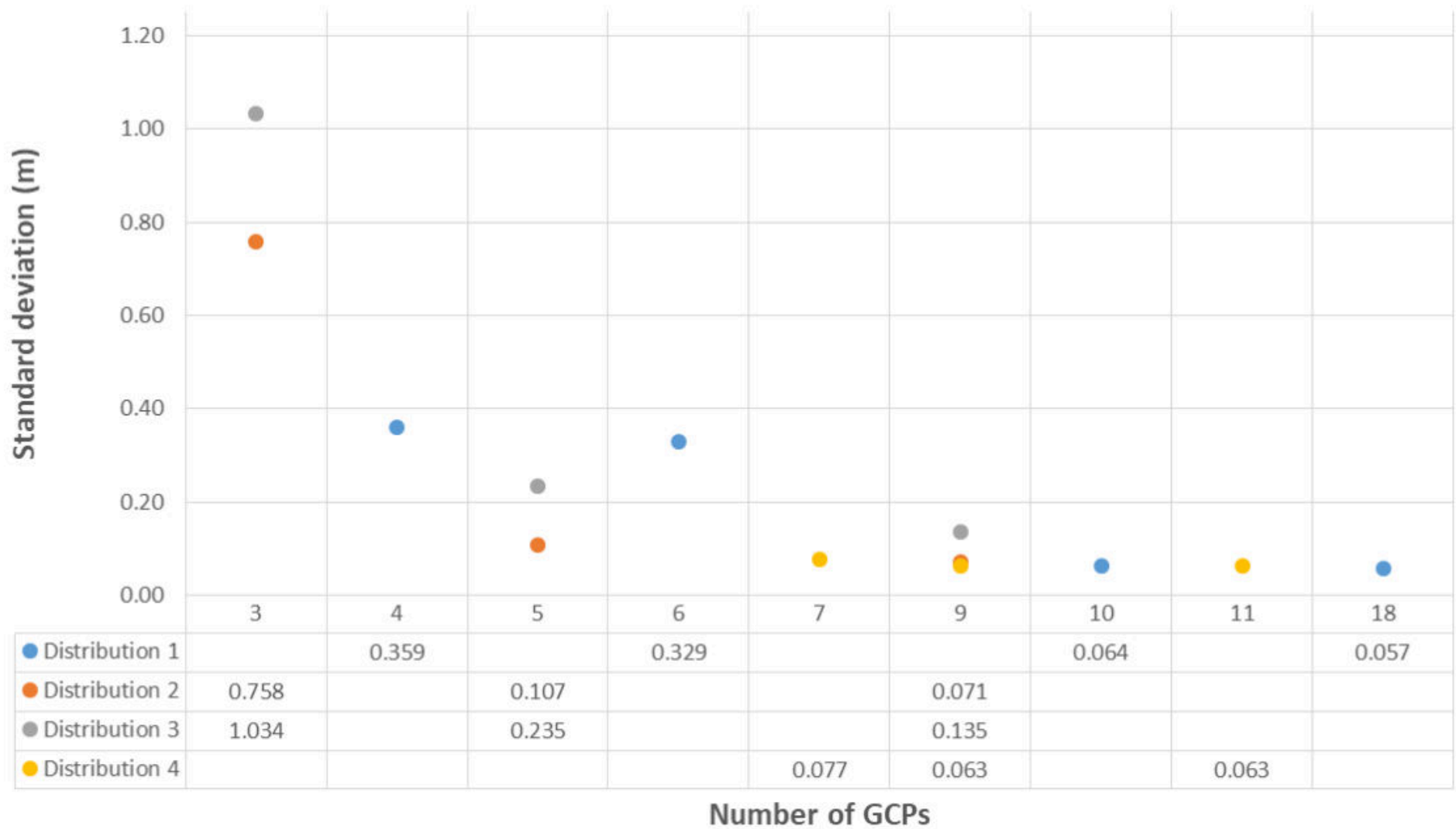


Figure 10. RMSEz values in meters obtained according to the number of GCPs used in the bundle adjustment. Each distribution is represented by a different color.



(a)



(b)

Figure 11. Multiscale Model to Model Cloud Comparison (M3C2) distance measurements between the reference cloud and the clouds obtained from the different photogrammetric projects carried out. (a) Mean difference (accuracy); (b) standard deviation (precision).



มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนเพื่องานวิศวกรรม : วสท. 012033 - 21



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คน
เพื่องานวิศวกรรม

UAV Surveying Standard
for Engineering Project

มาตรฐาน วสท. 012033-21

EIT. Standard 012033-21

CE

ราคา



Mahasarakham
University
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



www.msu.ac.th

Heart of
the Northeast

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของอากาศยานไร้คนแต่ละประเภท

ประเภทอากาศยานไร้คน	Consumer Grade	Professional Grade	Survey Grade
ขนาดเซนเซอร์	เล็กกว่า 1 นิ้ว	ตั้งแต่ 1 นิ้วขึ้นไป	ตั้งแต่ 1 นิ้วขึ้นไป
จำนวนจุดภาพ	น้อยกว่า 16 MP	ตั้งแต่ 16 MP	ตั้งแต่ 16 MP
ประเภทชัตเตอร์	อิเล็กทรอนิกส์ชัตเตอร์	แมคคานิคชัตเตอร์	แมคคานิคชัตเตอร์
ประเภทของเลนส์	ไม่ระบุ	Prime Lens	Prime Lens
การรังวัดพิกัดตำแหน่งถ่ายภาพ	SPP	SPP	PPK/RTK





*DJI Mavic :
Consumer grade*



*DJI Phantom 4 adv :
Professional grade*

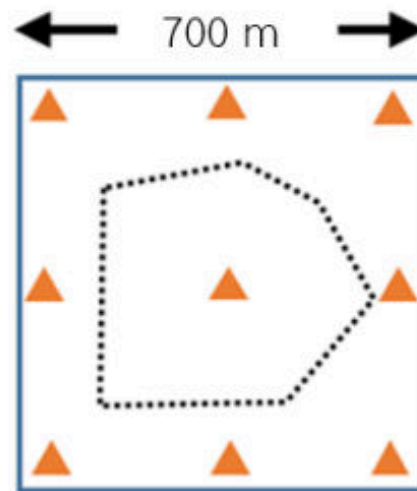


*DJI Phantom 4 RTK :
Survey grade*

7.3.1 การกำหนดตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Consumer Grade

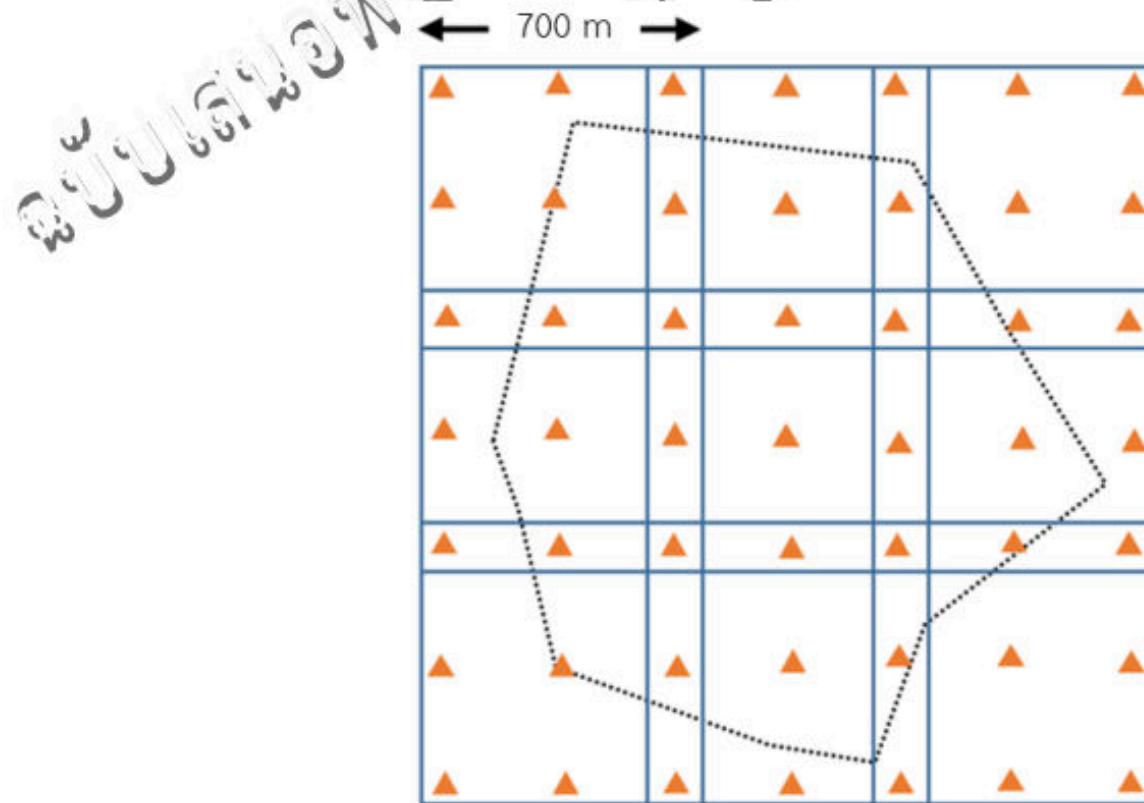
เมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Consumer grade จะต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินอย่างน้อย 9 จุดต่อการประมวลผลภาพถ่าย 1 เทียบบิน หรือจุดควบคุมภาคพื้นดินจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างระหว่างจุดไม่เกิน 500 เมตร

- (1) กรณีที่ 1 เมื่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่ายใช้ภาพถ่ายจำนวน 1 เทียบบิน



รูปที่ 7.3 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Consumer Grade ถ่ายภาพสำหรับประมวลผล 1 เทียบบิน

(2) กรณีที่ 2 เมื่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่ายใช้ภาพถ่ายจำนวนมากว่าหนึ่งเที่ยวบิน

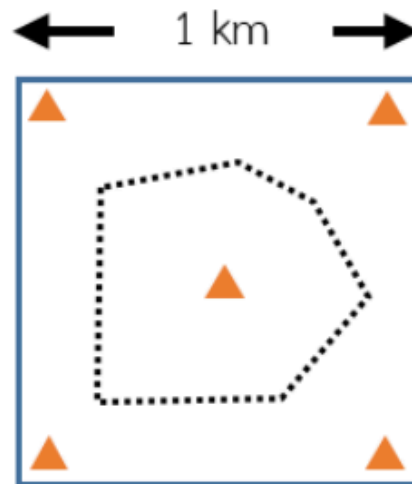


รูปที่ 7.4 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Consumer Grade ถ่ายภาพสำหรับประมวลผลจำนวนมากกว่า 1 เที่ยวบิน

7.3.2 การกำหนดตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คน ประเภท Professional Grade

เมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Professional grade จะต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินอย่างน้อย 5 จุด ต่อการประมวลผลภาพถ่าย 1 เทียบบิน หรือจุดควบคุมภาคพื้นดินจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างระหว่างจุดไม่เกิน 1 กิโลเมตร

- (1) กรณีที่ 1 เมื่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่ายใช้ภาพถ่ายจำนวน 1 เทียบบิน

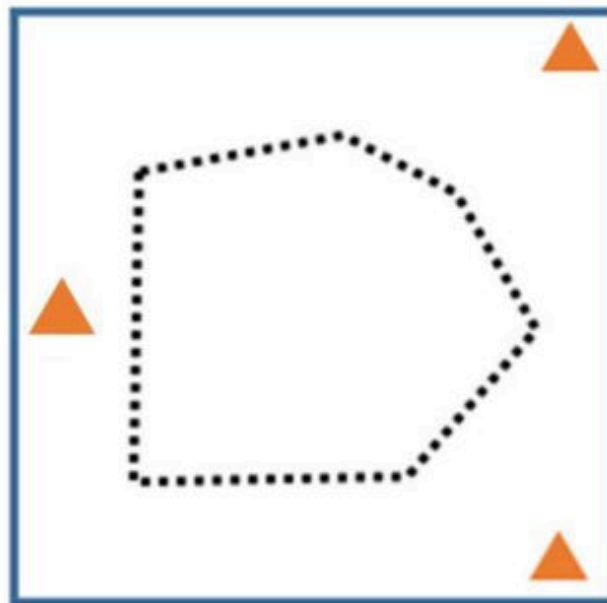


รูปที่ 7.5 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Professional Grade ถ่ายภาพสำหรับประมวลผล 1 เทียบบิน

7.3.3 การกำหนดตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คน ประเภท Survey Grade

เมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Survey grade จะต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินอย่างน้อย 3 จุด ต่อ
การประมวลผลภาพถ่าย 1 เทียบบิน หรือจุดควบคุมภาคพื้นดินจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่าง
ระหว่างจุดไม่เกิน 2 กิโลเมตร

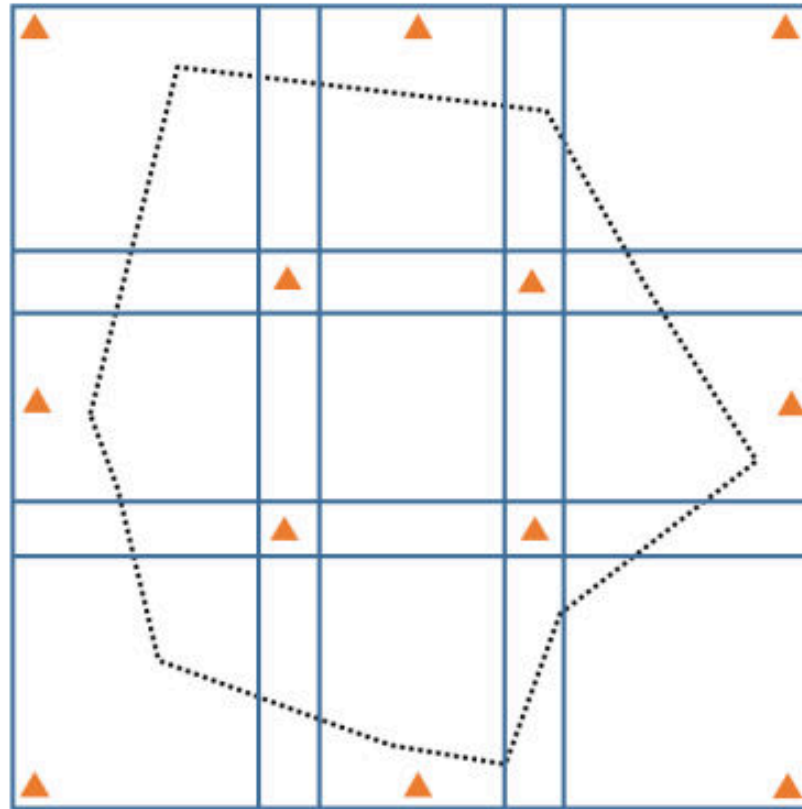
- (1) กรณีที่ 1 เมื่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่ายใช้ภาพถ่ายจำนวน 1 เทียบบิน



รูปที่ 7.7 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Survey
Grade ถ่ายภาพสำหรับประมวลผล 1 เทียบบิน

(2) กรณีที่ 2 เมื่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่ายใช้ภาพถ่ายจำนวนมากว่าหนึ่งเที่ยวบิน

หุบเขาเมือง



รูปที่ 7.8 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินเมื่อใช้อากาศยานไร้คนประเภท Survey Grade ถ่ายภาพสำหรับประมวลผลจำนวนมากว่า 1 เที่ยวบิน

7.2 การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ตามมาตรฐาน ASPRS (2014), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data กำหนดให้ค่าความถูกต้องทางราบ (RMSE_r) และทางตั้ง (RMSE_z) ของจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนจะต้องมีค่าเป็น 1 ส่วน 4 เท่าของค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการ

$$RMSE_r \leq \left(\frac{1}{4}\right) RMSE_r(map) \quad (7.1)$$

$$RMSE_z \leq \left(\frac{1}{4}\right) RMSE_z(map) \quad (7.2)$$

จากสมการที่ 7.1 และสมการที่ 7.2 สามารถคำนวณความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งของการสำรวจรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินแล้วนำไปวิเคราะห์ถึงวิธีการรังวัดและเลือกใช้อุปกรณ์ในการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน



ตารางที่ 5.1 มาตรฐานค่าความถูกต้องแนวราบ เมื่อ X คือชั้นความถูกต้องทางราบ

Horizontal Accuracy Class	Absolute Accuracy		
	RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Horizontal Accuracy at 95% Confidence Level (cm)
X-cm	$\leq X$	$\leq 1.41 * X$	$\leq 2.4 * X$

ตารางที่ 5.2 มาตรฐานค่าความถูกต้องแนวตั้ง เมื่อ X คือชั้นความถูกต้องทางตั้ง

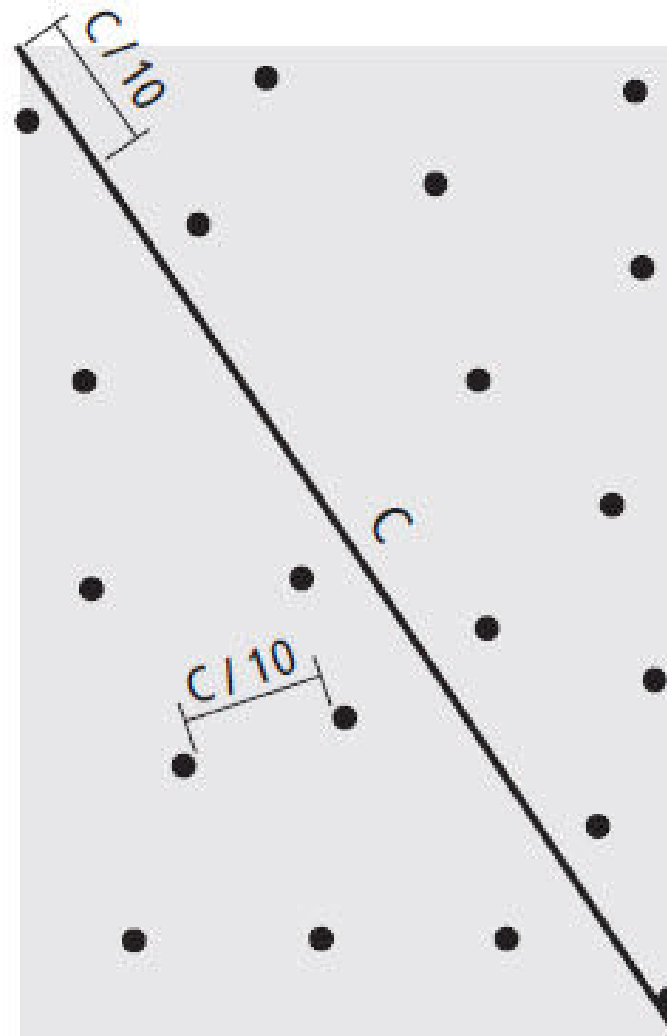
Vertical Accuracy Class	Absolute Accuracy		
	RMSE _z NonVegetated (cm)	NVA at 95% Confidence Level (cm)	VVA at 95th Percentile (cm)
X-cm	$\leq X$	$\leq 1.96 * X$	$\leq 3.00 * X$

จุดตรวจสอบ (Check point)

Project Area (Square Kilometers)	Horizontal Accuracy Testing of Orthoimagery and Planimetrics
	Total Number of Static 2D/3D Checkpoints (clearly-defined points)
≤500	20
501-750	25
751-1000	30
1001-1250	35
1251-1500	40
1501-1750	45
1751-2000	50
2001-2250	55
2251-2500	60



Check Point



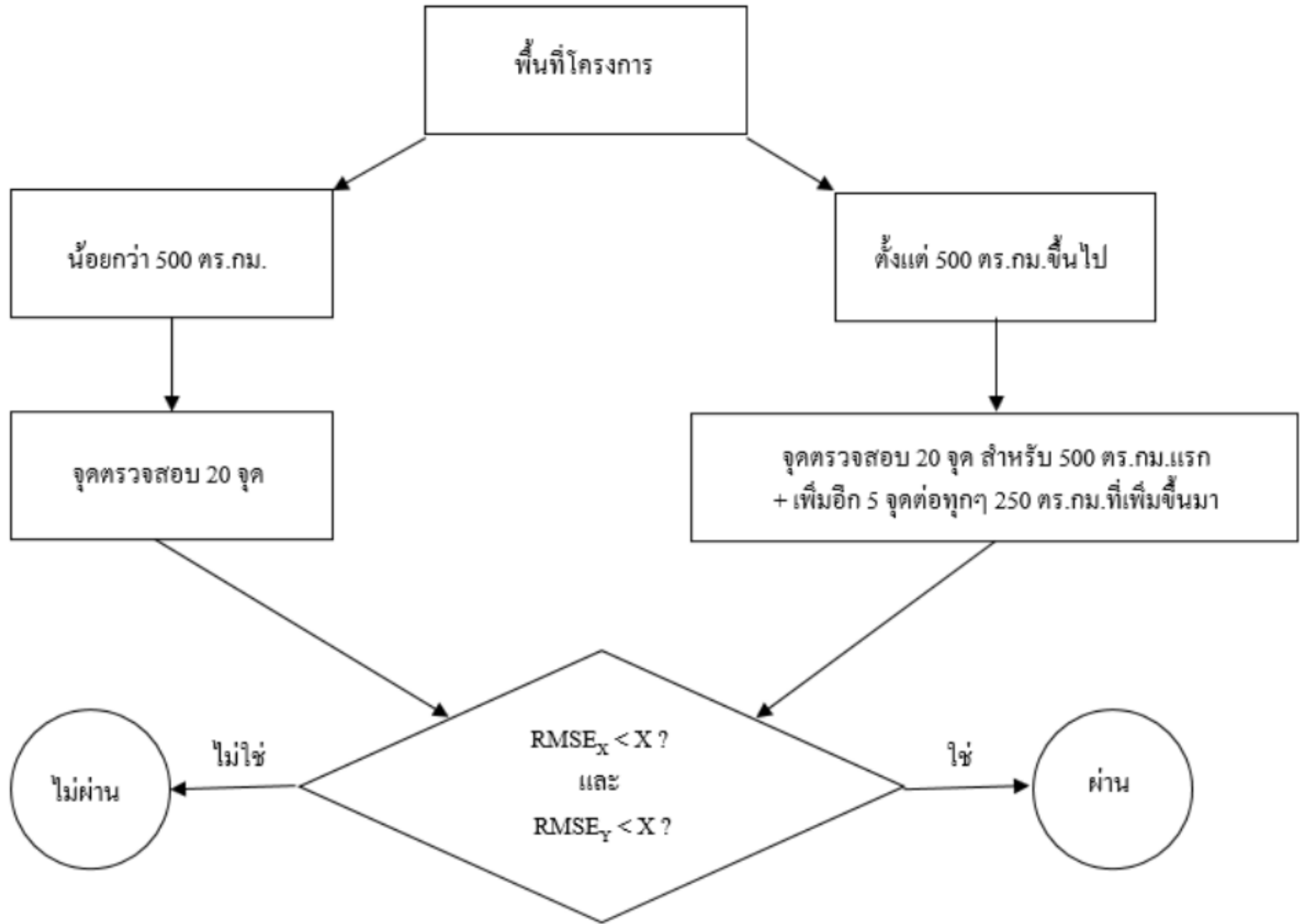


TABLE B.6 HORIZONTAL ACCURACY/QUALITY EXAMPLES FOR HIGH ACCURACY DIGITAL PLANIMETRIC DATA

<i>Map scale</i> ASPRS 2014 <i>ASPRS2014</i>				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.5	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:63
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317
15.0	21.2	36.7	7.5 to 15.0	1:600	1:300	1:380
17.5	24.7	42.8	8.8 to 17.5	1:700	1:350	1:444
20.0	28.3	49.0	10.0 to 20.0	1:800	1:400	1:507
22.5	31.8	55.1	11.3 to 22.5	1:900	1:450	1:570
25.0	35.4	61.2	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	38.9	67.3	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	42.4	73.4	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	63.6	110.1	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1,141
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535
150.0	212.1	367.2	75.0 to 150.0	1:6000	1:3000	1:3,802
200.0	282.8	489.5	100.0 to 200.0	1:8,000	1:4000	1:5,069
250.0	353.6	611.9	125.0 to 250.0	1:10,000	1:5000	1:6,337
300.0	424.3	734.3	150.0 to 300.0	1:12,000	1:6000	1:7,604
500.0	707.1	1223.9	250.0 to 500.0	1:20,000	1:10000	1:21,122
1000.0	1414.2	2447.7	500.0 to 1000.0	1:40000	1:20000	1:42,244

Contour Interval

TABLE B.8 VERTICAL ACCURACY OF THE NEW ASPRS 2014 STANDARD
COMPARED WITH LEGACY STANDARDS

Vertical Accuracy Class	RMSE _z Non-Vegetated (cm)	Equivalent Class 1 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent contour interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55
66.7-cm	66.7	200.1	100.1	219.43
100-cm	100.0	300.0	150.0	328.98
333.3-cm	333.3	999.9	500.0	1096.49



Report

KK01CP.psx — Agisoft PhotoScan Professional


File Edit View Workflow Model Photo Ortho Tools Help

Reference

Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input type="checkbox"/> DJI_0141	102.758565	16.551734	90.100000
<input type="checkbox"/> DJI_0142	102.758550	16.551730	90.000000
<input type="checkbox"/> DJI_0143	102.758462	16.551737	89.900000
<input type="checkbox"/> DJI_0144	102.758740	16.551372	90.100000
<input type="checkbox"/> DJI_0145	102.758594	16.551389	89.800000
<input type="checkbox"/> DJI_0146	102.758435	16.551414	89.800000
<input type="checkbox"/> DJI_0147	102.758284	16.551443	89.900000
<input type="checkbox"/> DJI_0148	102.758128	16.551470	89.900000

Model

Perspective 30°



faces: 82,430 vertices: 41,804

Photos

DJI_0141	DJI_0142
DJI_0143	DJI_0144
DJI_0145	DJI_0146
DJI_0147	DJI_0148

Markers

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> gcp01	260494.718000	1831159.991000	178.680000
<input type="checkbox"/> gcp02	260542.913000	1831173.030000	178.047000
<input checked="" type="checkbox"/> gcp03	260801.587000	1831248.628000	178.047000
<input type="checkbox"/> gcp04	260779.447000	1831247.708000	177.891000
<input checked="" type="checkbox"/> gcp05	260710.795000	1831208.176000	178.030000
<input checked="" type="checkbox"/> gcp06	260623.305000	1831142.130000	178.576000
<input checked="" type="checkbox"/> gcp07	260540.494000	1831106.729000	179.441000
<input checked="" type="checkbox"/> gcp08	260506.534000	1831063.179000	179.313000

Scale Bars

Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
--------------	--------------	-----------

Total Error

Control scale ...
Check scale b...

Console

```
sec  
2021-04-05 01:10:01 Finished processing in  
0.052 sec (exit code 1)  
>>>
```

Jobs

#	Project
---	---------

Report : Control point & Check point

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
9	4.01251	3.87184	1.90296	5.57597	5.89175

Table 3. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	3.59191	4.64617	5.48198	5.87271	8.03373

Table 4. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



Report : Control point

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
gcp01	-3.69433	-6.98178	1.12116	7.97812	0.430 (23)
gcp03	-2.24711	-1.41839	-0.103236	2.65932	0.727 (14)
gcp05	1.38882	2.61252	0.194826	2.96514	0.484 (17)
gcp06	4.55713	4.68375	0.728159	6.57535	0.422 (28)
gcp07	5.50486	2.47655	-4.62644	7.60531	0.625 (26)
gcp08	-7.46171	4.99792	1.94769	9.18966	0.875 (11)
gcp09	-2.56154	-1.4573	1.75495	3.43003	0.513 (22)
gcp11	1.30866	-0.110193	-1.47163	1.97242	0.713 (19)
gcp12	3.04202	-4.70659	0.559009	5.63191	0.439 (25)
Total	4.01251	3.87184	1.90296	5.89175	0.567

Table 5. Control points.

Report : Check point

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
gcp02	-5.6348	-7.04513	-1.2424	9.1065	0.499 (18)
gcp04	-2.4361	-0.234734	-0.743361	2.55779	0.705 (16)
gcp10	-1.00991	-3.88224	-9.38404	10.2055	0.746 (17)
Total	3.59191	4.64617	5.48198	8.03373	0.655

Table 6. Check points.





TABLE B.6 HORIZONTAL ACCURACY/QUALITY EXAMPLES FOR HIGH ACCURACY DIGITAL PLANIMETRIC DATA

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.6	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:64
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317
15.0	21.2	36.7	7.5 to 15.0	1:600	1:300	1:380
17.5	24.7	42.8	8.8 to 17.5	1:700	1:350	1:444
20.0	28.3	49.0	10.0 to 20.0	1:800	1:400	1:507
22.5	31.8	55.1	11.3 to 22.5	1:900	1:450	1:570
25.0	35.4	61.2	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	38.9	67.3	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	42.4	73.4	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	63.6	110.1	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1,141
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535
150.0	212.1	367.2	75.0 to 150.0	1:6000	1:3000	1:3,802
200.0	282.8	489.5	100.0 to 200.0	1:8,000	1:4000	1:5,069
250.0	353.6	611.9	125.0 to 250.0	1:10,000	1:5000	1:6,337
300.0	424.3	734.3	150.0 to 300.0	1:12,000	1:6000	1:7,604
500.0	707.1	1223.9	250.0 to 500.0	1:20,000	1:10000	1:21,122
1000.0	1414.2	2447.7	500.0 to 1000.0	1:40000	1:20000	1:42,244



Contour Interval

TABLE B.8 VERTICAL ACCURACY OF THE NEW ASPRS 2014 STANDARD
COMPARED WITH LEGACY STANDARDS

Vertical Accuracy Class	RMSE _z Non-Vegetated (cm)	Equivalent Class 1 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent contour interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55
66.7-cm	66.7	200.1	100.1	219.43
100-cm	100.0	300.0	150.0	328.98
333.3-cm	333.3	999.9	500.0	1096.49



มาตรฐานแผนที่ทางราบและทางตั้งจาก UAV Photogrammetry

$$RMSE_x = 3.59 \text{ cm} \quad RMSE_y = 4.65 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 RMSE_r &= (RMSE_x^2 + RMSE_y^2)^{0.5} \\
 &= ((3.59^2 + 4.65^2))^{0.5} = 5.87 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ที่ความเชื่อมั่น 95\%} &= RMSE_r * 1.702 \\
 &= 5.87 * 1.702 = 9.99 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Map scale} &= (RMSE_r * 1.702) * 16.5 \\
 &= 9.99 * 16.5 = 164.84 \quad \rightarrow 1 : 200
 \end{aligned}$$

$$RMSE_z = 5.48 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ที่ความเชื่อมั่น 95\%} &= RMSE_z * 1.96 \\
 &= 5.48 * 1.96 = 10.74 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

$$\text{Contour Interval} = 18 \text{ cm.}$$



