# Η χρηση UAS σε εφαρμογές αποτυπώσεων ζώνης για έργα υποδομής.

## Προβλήματα και ακρίβειες αεροτριγωνισμού

**Δημήτριος Σκαρλάτος, Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΠΑΚ**

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής

Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

www.photogrammetric-vision.weebly.com

# Διάρθρωση ομιλίας

- Σκοπός
- Ερευνητικό έργο ΑΗΚ – διερεύνηση χρήσης UAS για εφαρμογές χαρτογράφησης
- Αποτυπώσεις και χαρτογράφηση ζωνών
- Με χρήση φωτοσταθερών
- Χωρίς χρήση φωτοσταθερών
- Εφαρμογή σε ζώνη μήκους 23 km
- Συμπεράσματα

# UAS - τι άλλαξε τα πρόσφατα έτη;

- Η ενσωμάτωση GPS & INS
  - Επίγνωση θέσης και πλήρως αυτόματη πλοήγηση
  - Σχεδιασμός και εκτέλεση πτήσης, επικαλύψεις
  - Καταγραφή εξωτερικών προσανατολισμών
  - Κόστος
- Ερασιτεχνικές, μη μετρητικές φωτ/κές μηχανές
  - Ψηφιακές, περισσότερες λήψεις
  - Χαμηλότερης ποιότητας (γεωμετρικής - ραδιομετρικής)
- Λογισμικό επεξεργασίας
  - Αυτοματοποίηση Α/Τ, μεγαλύτερο πλήθος φωτογραφιών
  - Πολύ πυκνό νέφος σημείων
  - Διαφορετικά προϊόντα

# HawkEye, ερευνητικό πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από την ΑΗΚ

- Σκοπός η διερεύνηση χρήσης των UAS για τις εφαρμογές αποτυπώσεων της ΑΗΚ
  - Η/Π σταθμούς, υποσταθμούς
- Αποτυπώσεις ζώνης για γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, υφιστάμενες & νέες ή υπογειοποίηση εναέριου δικτύου χαμηλής τάσης
- Έλεγχος ύψους κόμης δέντρων
- Ενημέρωση και αντικατάσταση των παλαιών διαγραμμάτων
- Φωτογραφικό αρχείο για δικαστική χρήση

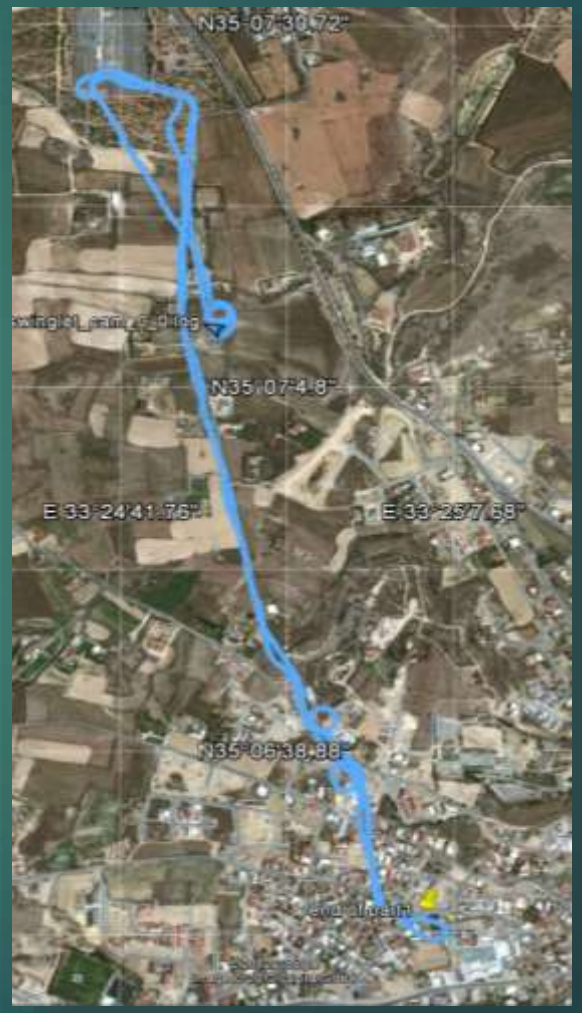
# Αποτύπωση ζώνης
# με χρήση φωτοσταθερών

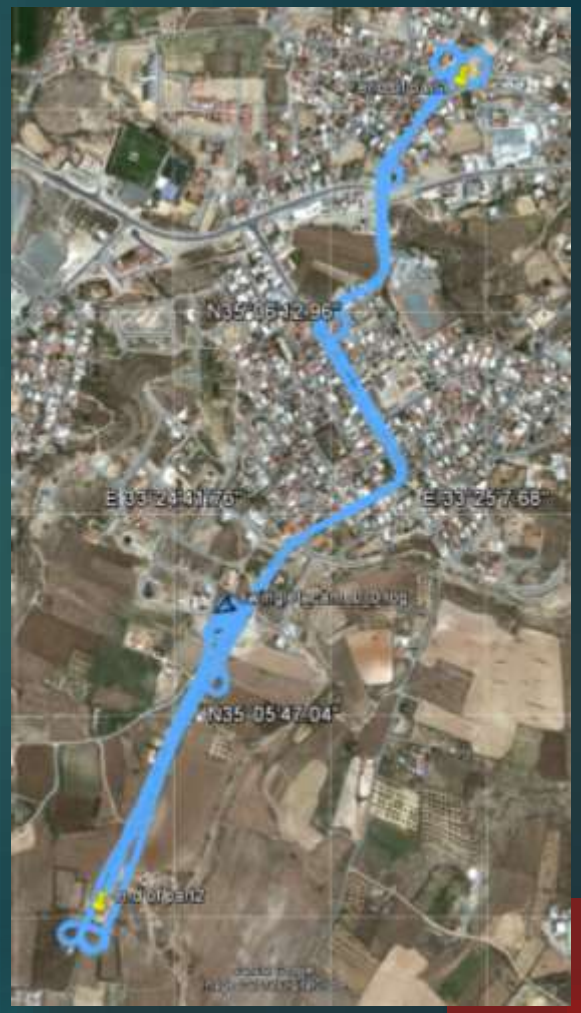
# Ερωτήματα

- Οι αποτυπώσεις ζώνης, έχουν μεγάλη υψομετρική αβεβαιότητα
  - Φροντίζουμε να χρησιμοποιούμε πυκνά φ/σ, ήτοι κάθε 4-5 μοντέλα
- Πυκνά φ/σ, μεγαλύτερο κόστος/χρόνο
- Ουσιαστικά εξουδετερώνεται το πλεονέκτημα των UAS
- Πόσο πυκνά; Πόση επικάλυψη οι α/φ; Τι ύψος πτήσης;
- Πόσο επηρεάζει η ερασιτεχνική μηχανή;
  - SwingletCAM SensFly, Canon ISUS 220, pocket zoom camera, 12Mp, 1/2.3'' (6.17 x 4.55 mm)

# Σχεδιασμός και Πραγματοποίηση Πτήσης

- Πάνω από τον άξονα του δρόμου
- Ύψος πτήσης 109 m
- Ground Pixel Size 0.04m
- Κάλυψη 160m x 120m
- Πλάτος κάλυψης 160 m
- Επικάλυψη φωτογραφιών: 80%
- Μέγιστη ακτίνα εμβέλειας Σταθμού – UAV: 1,5 km, αλλά έκανε 2 km
- Πτήση 1η : 100 φωτογραφίες (1800m)
- Πτήση 2η : 107 φωτογραφίες (2000m)

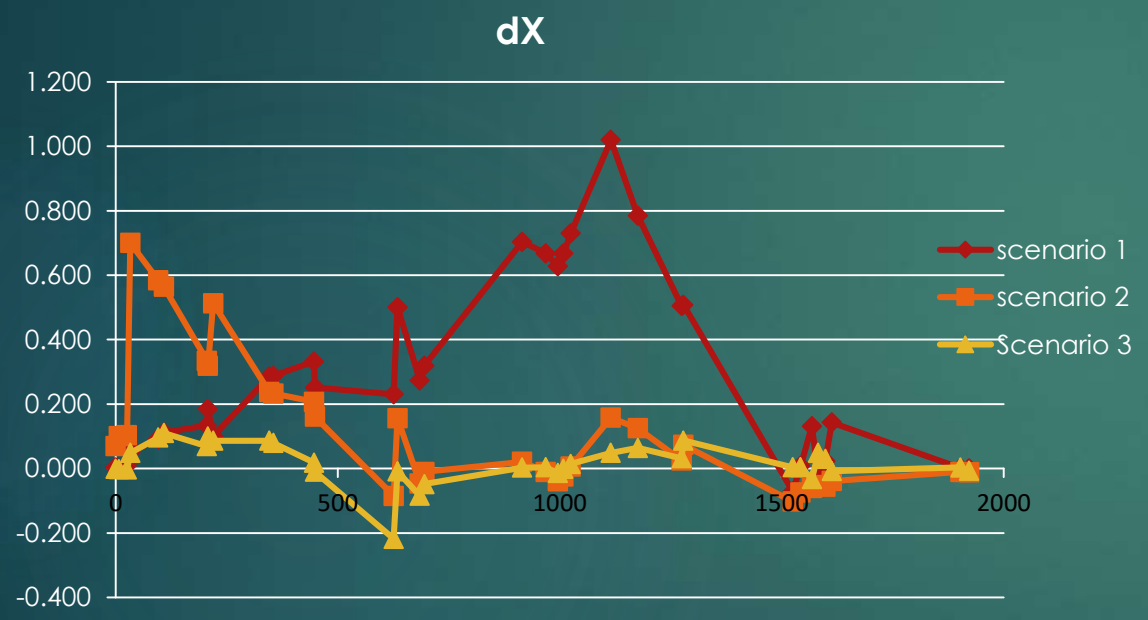


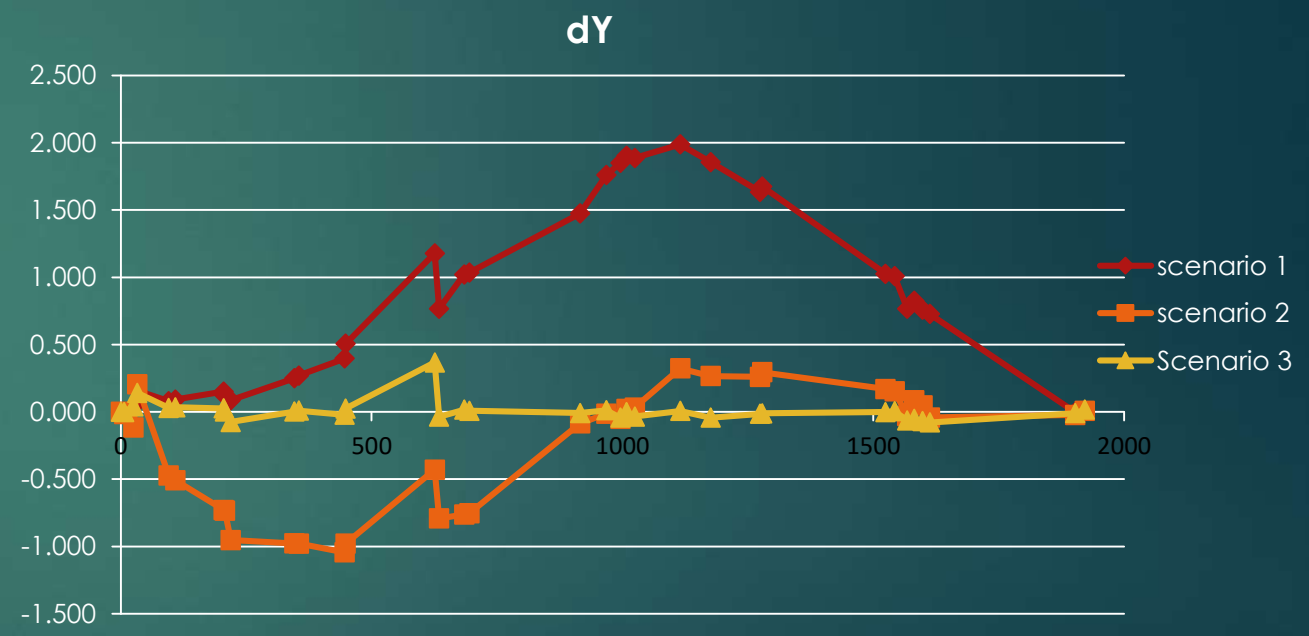



# Μέθοδος
# Πρώτο σκέλος 2 km

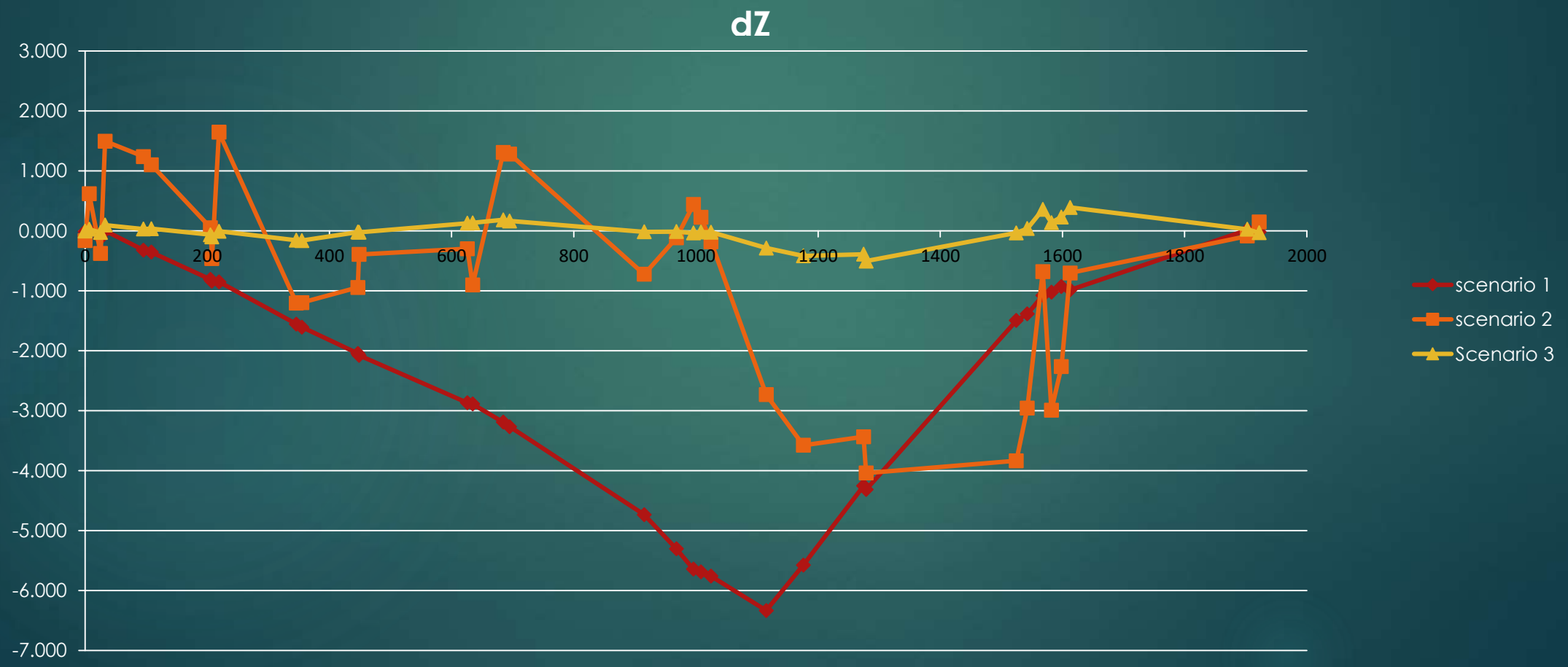
- Μετρήθηκαν 34 φυσικά σημεία ως φ/σ
- Αυτόματη επίλυση AgiSoft PhotoScan
- Τρια διαφορετικά σενάρια
  - 4 φ/σ (2x2) – 1800 m
  - 6 φ/σ (3x2) – 900 m
  - 10 φ/σ (5x2) - 450 m
- Υπολογισμός RMSE από το σύνολο των 34 μετρημένων σημείων (κατά περίπτωση φ/σ ή σημεία ελέγχου)

| | Total control points | ~ distance of control (m) | Max 3D RMSE | RMSE X | RMSE Y | RMSE Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario 1 | 4 | 1800 | 6,78 | 0,40 | 1,06 | 3,06 |
| Scenario 2 | 6 | 900 | 4,07 | 0,24 | 0,51 | 1,75 |
| Scenario 3 | 10 | 450 | 0,50 | 0,06 | 0,08 | 0,19 |

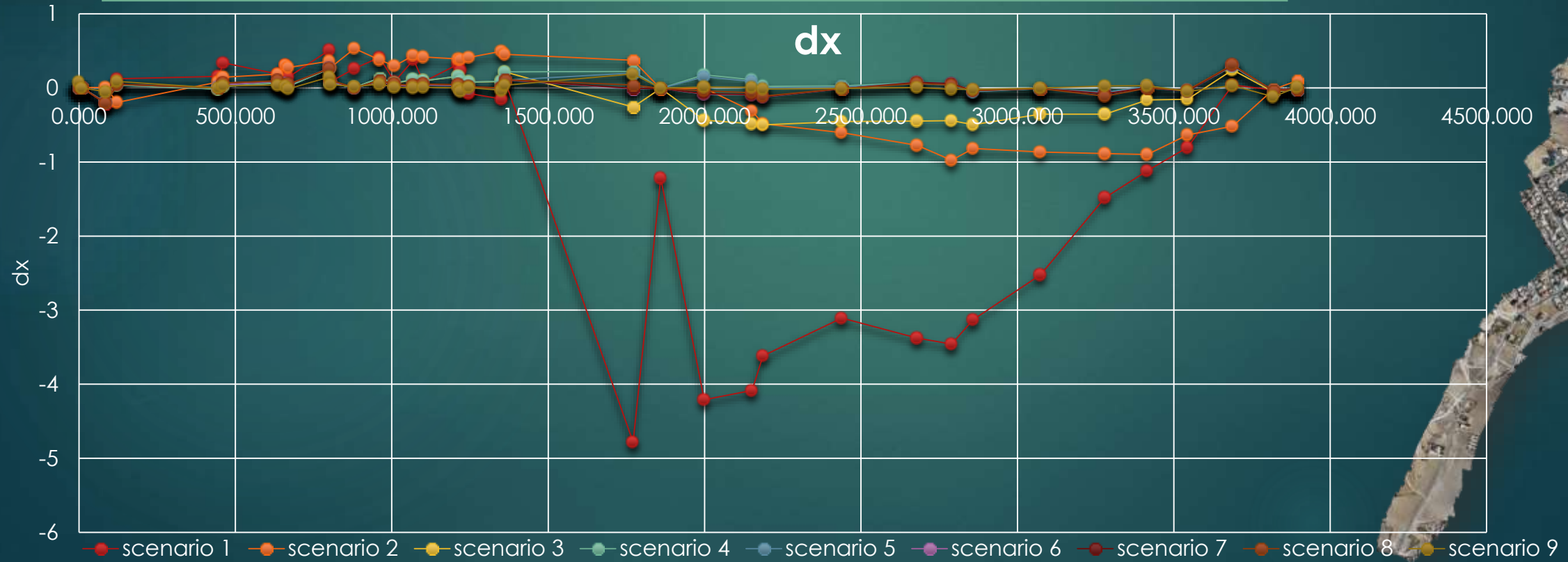


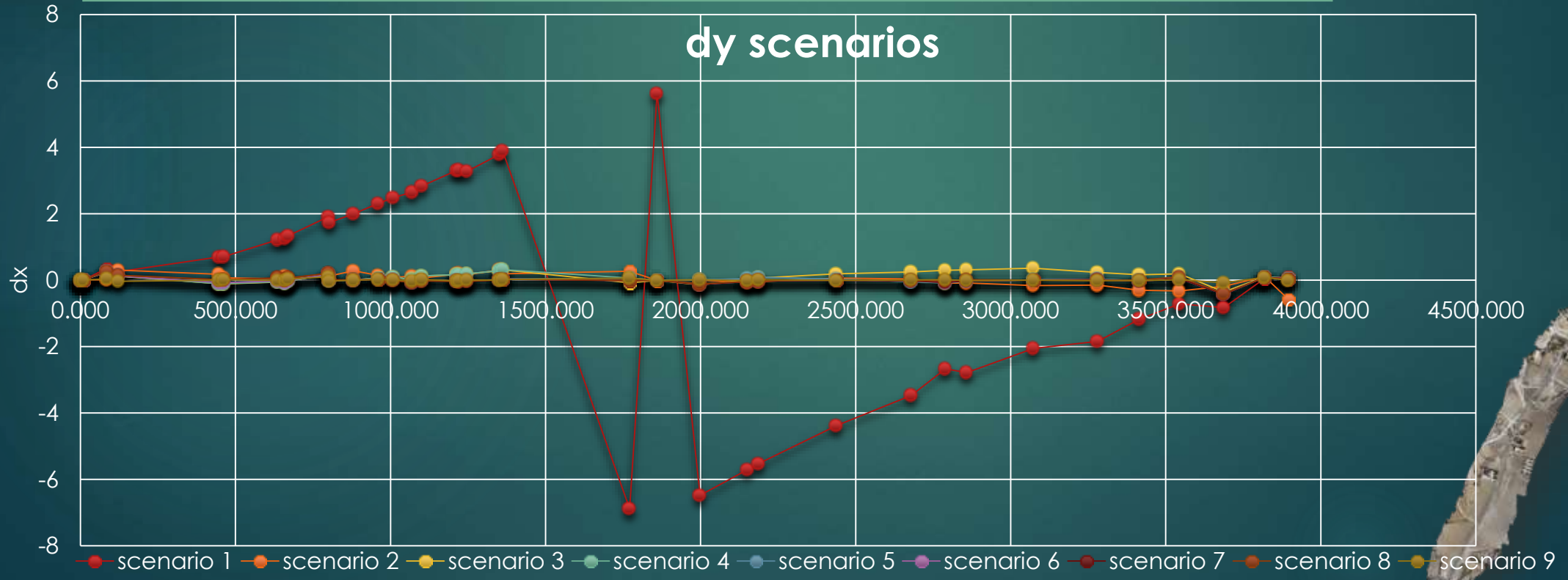
| | Total control points | ~ distance of control (m) | Max 3D RMSE | RMSE X | RMSE Y | RMSE Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario 1 | 4 | 1800 | 6,78 | 0,40 | 1,06 | 3,06 |
| Scenario 2 | 6 | 900 | 4,07 | 0,24 | 0,51 | 1,75 |
| Scenario 3 | 10 | 450 | 0,50 | 0,06 | 0,08 | 0,19 |



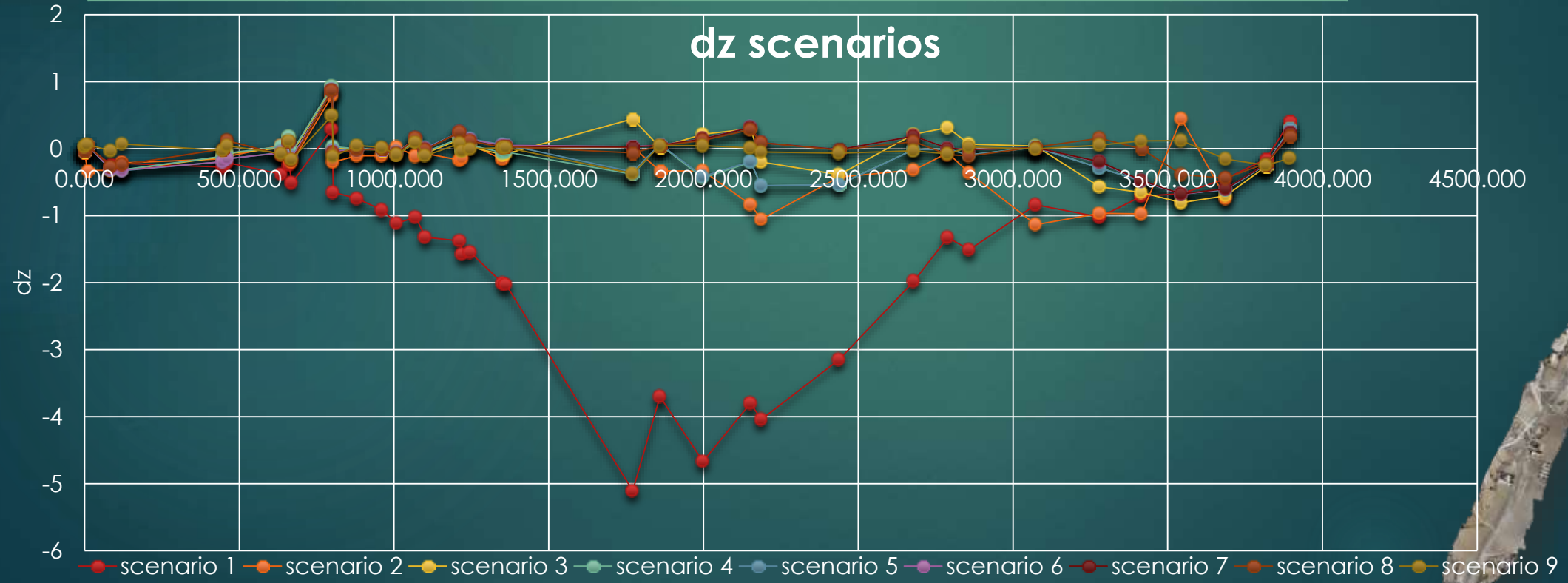
| | # control | ~ distance (m) | Max 3D RMSE | RMSE X | RMSE Y | RMSE Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario 1 | 4 | 3800 | 9.80 | 1.85 | 3.06 | 1.91 |
| Scenario 2 | 6 | 1900 | 1.48 | 0.48 | 0.18 | 0.45 |
| Scenario 3 | 7 | 1450 | 0.97 | 0.24 | 0.18 | 0.32 |
| Scenario 4 | 8 | 980 | 0.98 | 0.11 | 0.13 | 0.30 |
| Scenario 5 | 9 | 760 | 0.94 | 0.09 | 0.10 | 0.30 |
| Scenario 6 | 10 | 630 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 7 | 11 | 550 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 8 | 13 | 485 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.21 |
| Scenario 9 | 37 | 108 | 0.53 | 0.05 | 0.03 | 0.13 |



| | # control | ~ distance (m) | Max 3D RMSE | RMSE X | RMSE Y | RMSE Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario 1 | 4 | 3800 | 9.80 | 1.85 | 3.06 | 1.91 |
| Scenario 2 | 6 | 1900 | 1.48 | 0.48 | 0.18 | 0.45 |
| Scenario 3 | 7 | 1450 | 0.97 | 0.24 | 0.18 | 0.32 |
| Scenario 4 | 8 | 980 | 0.98 | 0.11 | 0.13 | 0.30 |
| Scenario 5 | 9 | 760 | 0.94 | 0.09 | 0.10 | 0.30 |
| Scenario 6 | 10 | 630 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 7 | 11 | 550 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 8 | 13 | 485 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.21 |
| Scenario 9 | 37 | 108 | 0.53 | 0.05 | 0.03 | 0.13 |



| | # control | ~ distance (m) | Max 3D RMSE | RMSE X | RMSE Y | RMSE Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario 1 | 4 | 3800 | 9.80 | 1.85 | 3.06 | 1.91 |
| Scenario 2 | 6 | 1900 | 1.48 | 0.48 | 0.18 | 0.45 |
| Scenario 3 | 7 | 1450 | 0.97 | 0.24 | 0.18 | 0.32 |
| Scenario 4 | 8 | 980 | 0.98 | 0.11 | 0.13 | 0.30 |
| Scenario 5 | 9 | 760 | 0.94 | 0.09 | 0.10 | 0.30 |
| Scenario 6 | 10 | 630 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 7 | 11 | 550 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.26 |
| Scenario 8 | 13 | 485 | 0.93 | 0.09 | 0.10 | 0.21 |
| Scenario 9 | 37 | 108 | 0.53 | 0.05 | 0.03 | 0.13 |



# Συγκρίσεις με διαγράμματα

# Αποτύπωση ζώνης (& περιοχής) χωρίς χρήση φωτοσταθερών

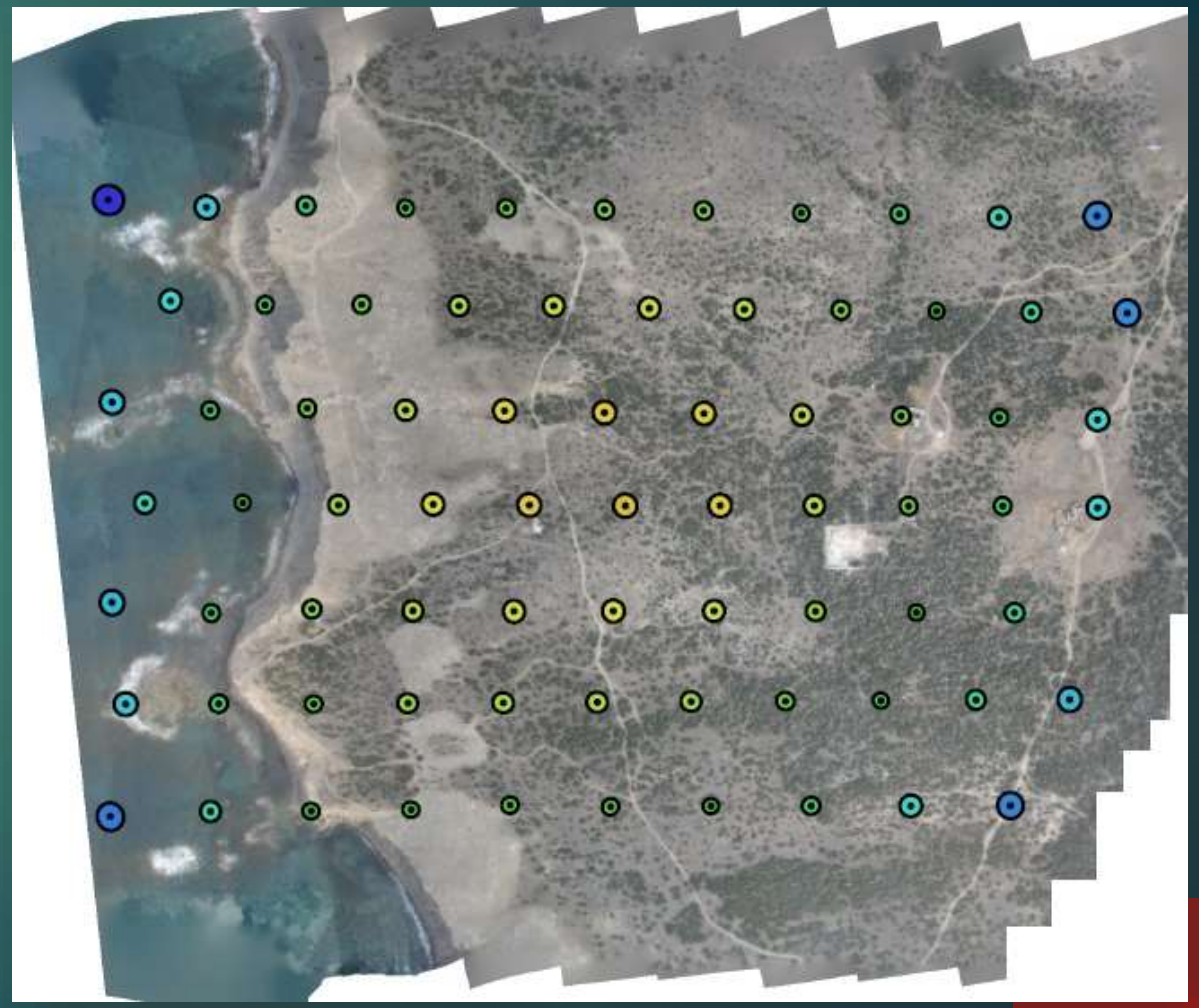
# Δεν είναι απαραίτητη η χρήση φ/σ όταν:

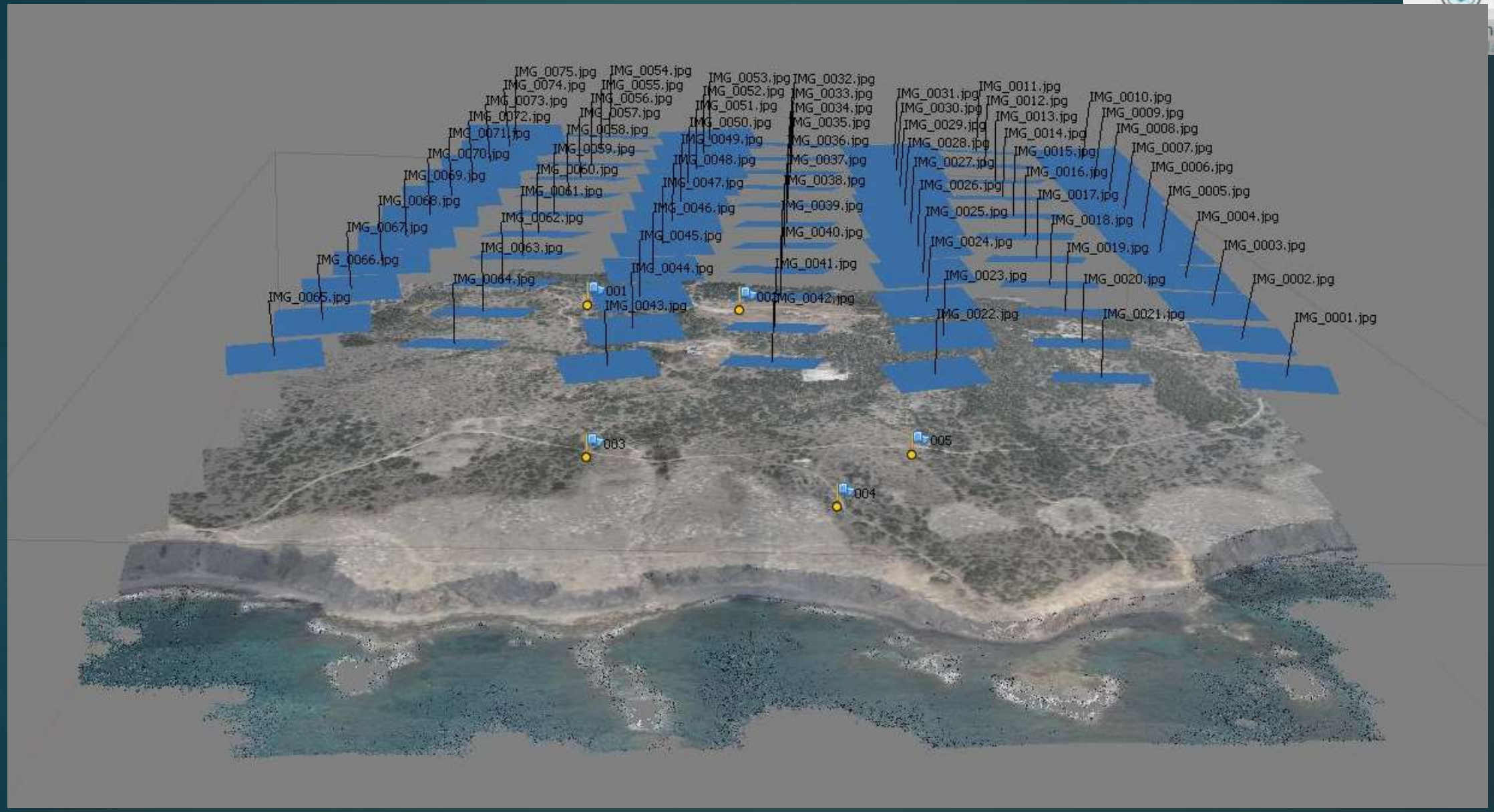
- Υπάρχει άμεση ανάγκη χαρτογράφησης για καταγραφή, εκτίμηση, σχεδιασμό μετά από κάποια έκτακτη ανάγκη
  - Φυσική (πλημμύρα, σεισμό, τσουνάμι) ή ανθρωπογενή (έκρηξη Μαρί)
- Δεν απαιτείται μέγιστη απόλυτη ακρίβεια, αλλά προταιρεότητα έχει το εικονιστικό προϊόν
  - Δασικές εκτάσεις, δύσβατες περιοχές
  - Συχνή επισκεψιμότητα για παρακολούθηση κάποιου φαινομένου, αλλά όχι μετρητικά στοιχεία
  - Πχ. Έλεγχος για πολεοδομικές παραβάσεις

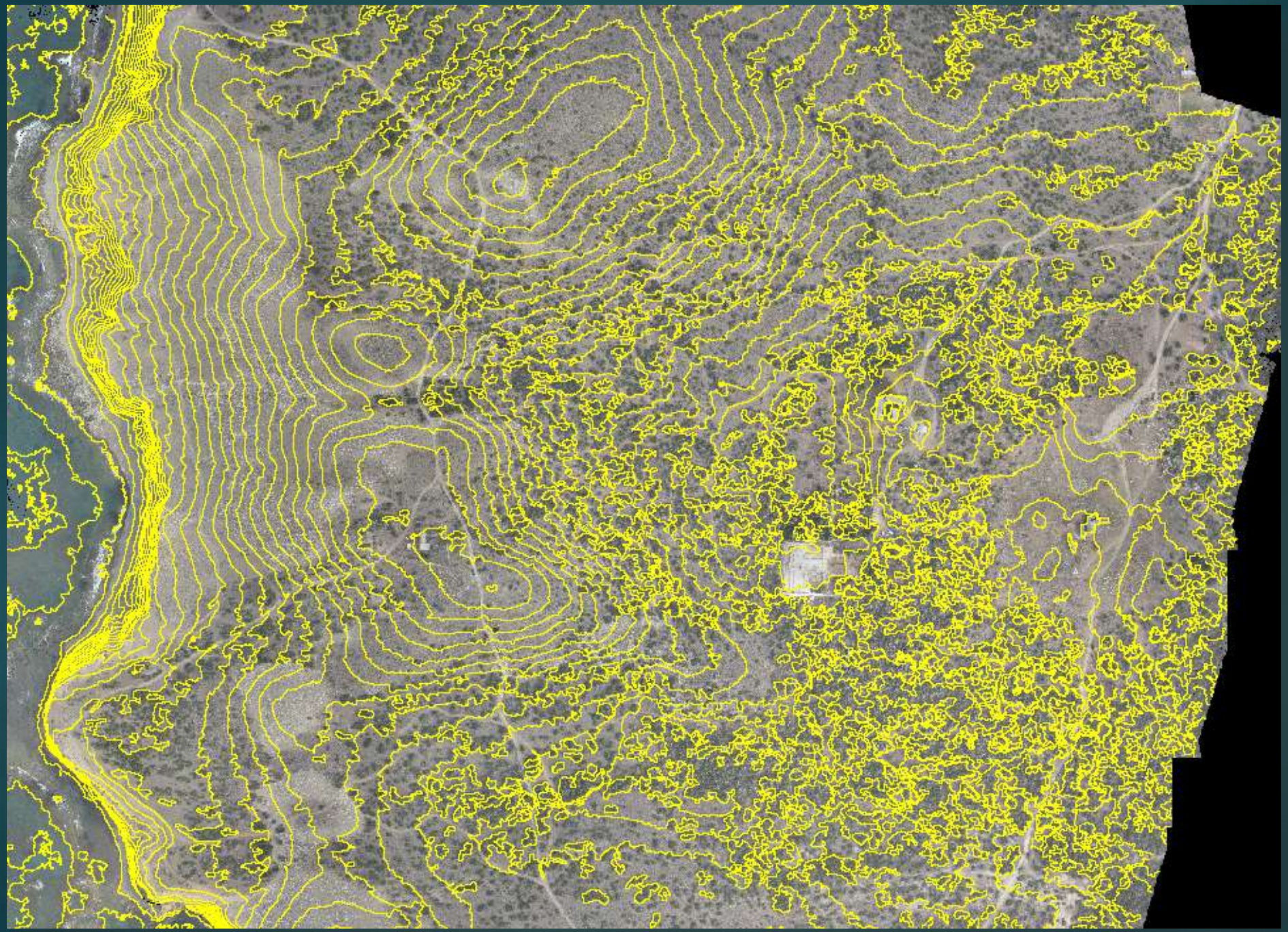
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η παρακάτω μελέτη έγινε με μονόσυχνο GPS επί του UAS

# Συνόρθωση AT UAS, χωρίς φ/σ

- Χέρσα έκταση
- UAV με μονόσυχνο GPS + INS
- 75 αφ 70%-50%
- 260m ύψος πτήσης
- 0,1m ground pixel size
- 1.3 τετρ. Km (1,4km x 0.9km)
- Μεγάλη δυσκολία για μέτρηση 18 φυσικών σημείων ως φ/σ




IMG_0075.jpg
IMG_0054.jpg
IMG_0074.jpg
IMG_0055.jpg
IMG_0053.jpg
IMG_0032.jpg
IMG_0052.jpg
IMG_0033.jpg
IMG_0073.jpg
IMG_0056.jpg
IMG_0051.jpg
IMG_0034.jpg
IMG_0031.jpg
IMG_0011.jpg
IMG_0012.jpg
IMG_0010.jpg
IMG_0030.jpg
IMG_0072.jpg
IMG_0057.jpg
IMG_0050.jpg
IMG_0035.jpg
IMG_0013.jpg
IMG_0009.jpg
IMG_0029.jpg
IMG_0071.jpg
IMG_0058.jpg
IMG_0049.jpg
IMG_0036.jpg
IMG_0014.jpg
IMG_0008.jpg
IMG_0028.jpg
IMG_0059.jpg
IMG_0015.jpg
IMG_0007.jpg
IMG_0070.jpg
IMG_0048.jpg
IMG_0037.jpg
IMG_0027.jpg
IMG_0060.jpg
IMG_0016.jpg
IMG_0006.jpg
IMG_0069.jpg
IMG_0047.jpg
IMG_0038.jpg
IMG_0026.jpg
IMG_0061.jpg
IMG_0017.jpg
IMG_0005.jpg
IMG_0068.jpg
IMG_0046.jpg
IMG_0039.jpg
IMG_0025.jpg
IMG_0018.jpg
IMG_0004.jpg
IMG_0062.jpg
IMG_0067.jpg
IMG_0045.jpg
IMG_0040.jpg
IMG_0024.jpg
IMG_0019.jpg
IMG_0003.jpg
IMG_0063.jpg
IMG_0066.jpg
IMG_0044.jpg
IMG_0041.jpg
IMG_0023.jpg
IMG_0020.jpg
IMG_0002.jpg
IMG_0064.jpg
001
IMG_0043.jpg
002
IMG_0042.jpg
IMG_0022.jpg
IMG_0021.jpg
IMG_0001.jpg
IMG_0065.jpg
003
005
004



# Αποτελέσματα

- Κανονικός ΑΤ
  - Χρήση των 18 φ/σ
  - RMS=0.25m
- Χωρίς φ/σ, χρήση μόνο GPS
  - RMS = 0.90 m
  - σχετική ακρίβεια <0.2%

# Αποτελέσματα

- Κανονικός AT
  - Χρήση 15 σημείων
  - RMS 0.05m
- Χωρίς φ/σ, χρήση μόνο GPS
  - Απευθείας, RMS X = 4.2 m
  - Απευθείας, RMS Y = 0.9 m
  - Σχετική ακρίβεια <0.15%

# Χαρτογράφηση ζώνης 23km για την μελέτη νέας γραμμής υψηλής τάσης Κοφίνου-Αλάμπρα

# Μελέτη της νέας γραμμής υψηλής τάσης Αλάμπρα-Κοφίνου

Χέρσες, δασικές και δύσβατες εκτάσεις

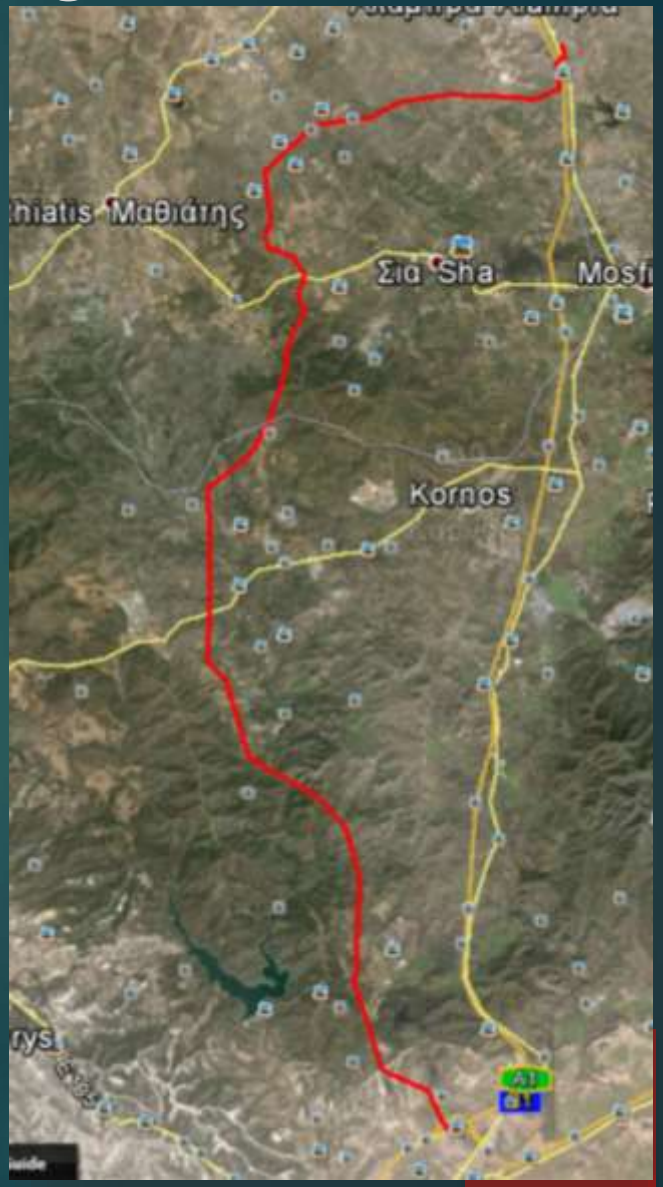
Προεπιλογή θέσεων των μεταλλικών πυλώνων

Υψομετρία και πυκνό ανάγλυφο, με την κόμη των δέντρων, για έλεγχος του βέλους κάμψης των καλωδίων

Χρήση UAS

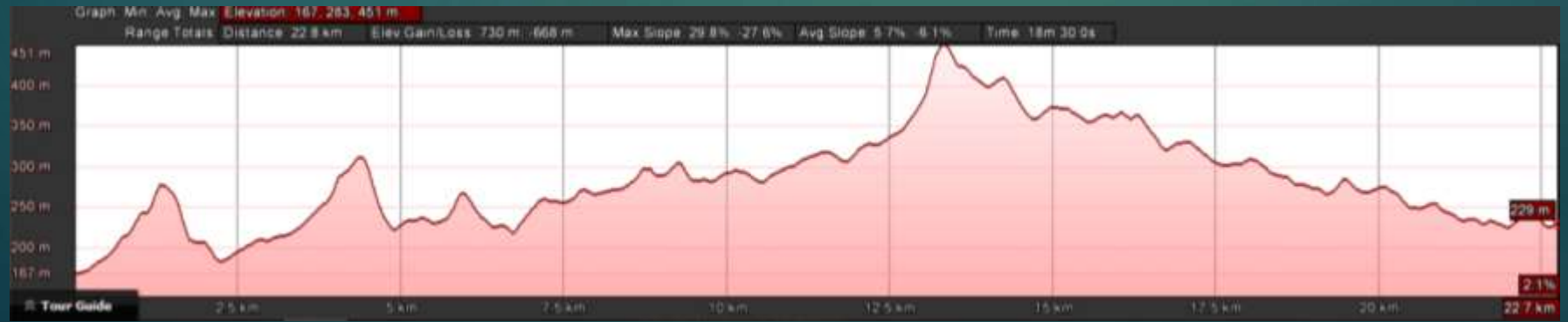
Λεπτομερές εικονιστικό προϊόν, και για πιθανή δικαστική χρήση

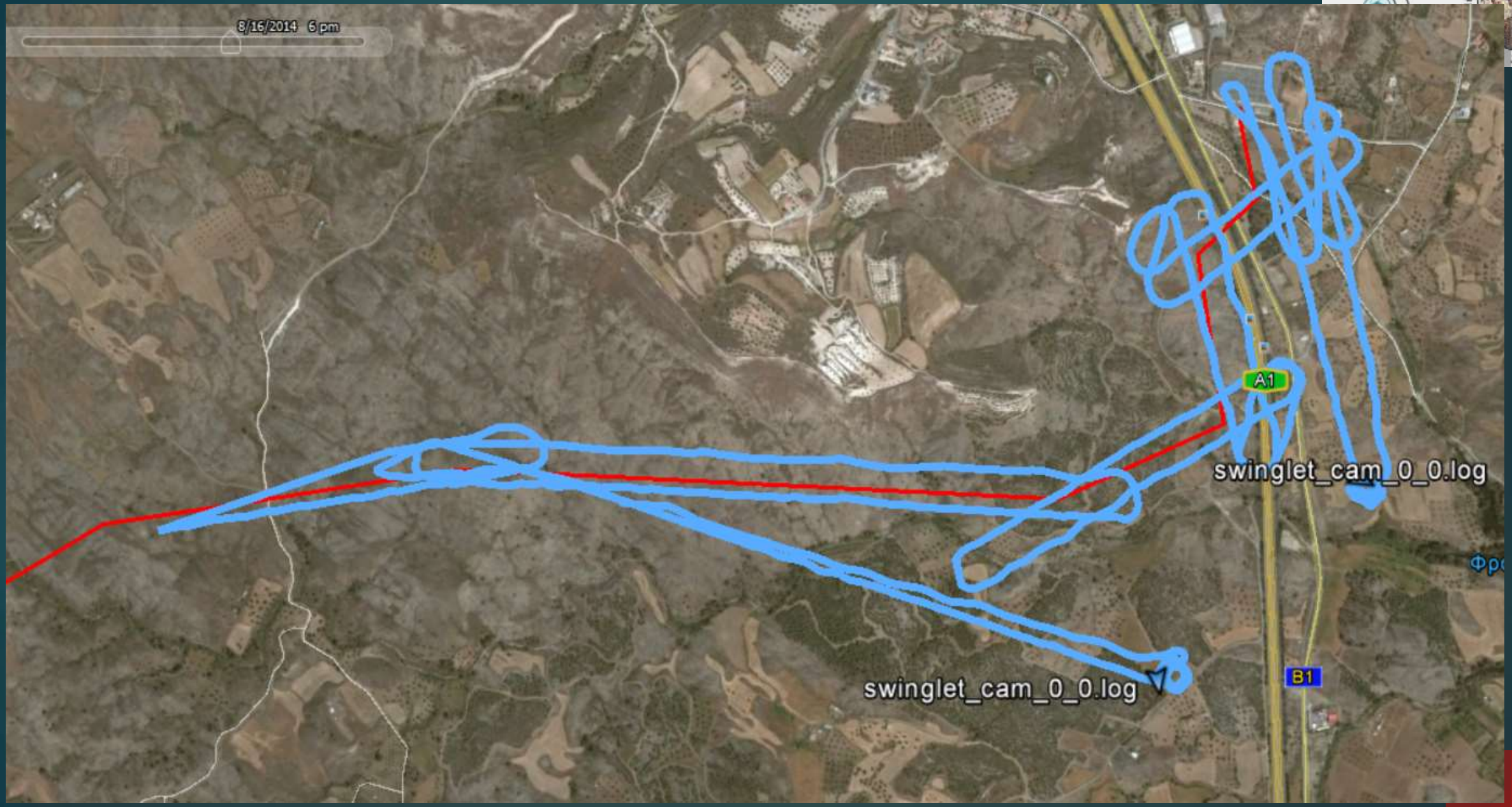
Σύγκριση με την επίγεια κλασσική τοπογραφία (1.5 - 2 km ημερησίως)

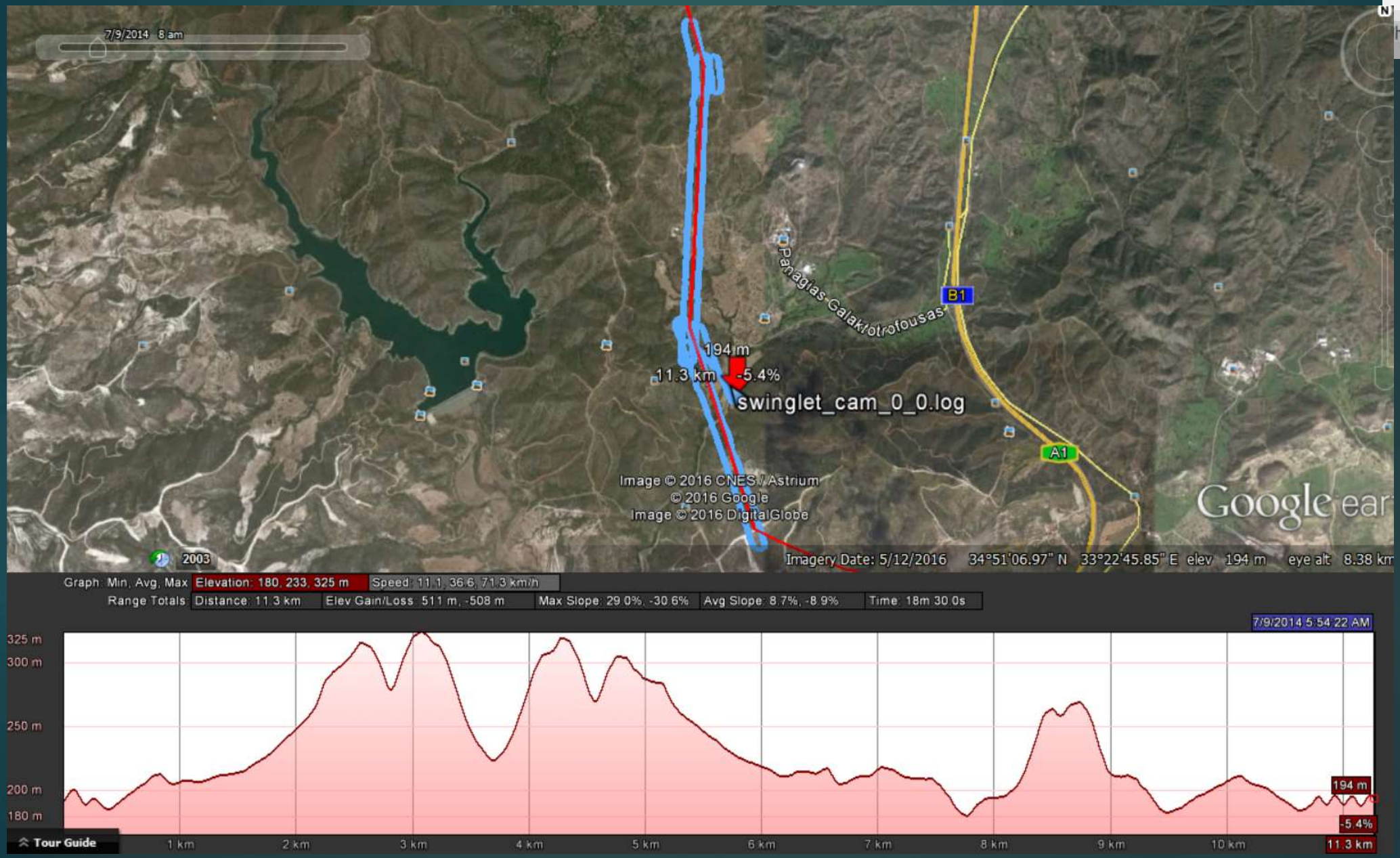


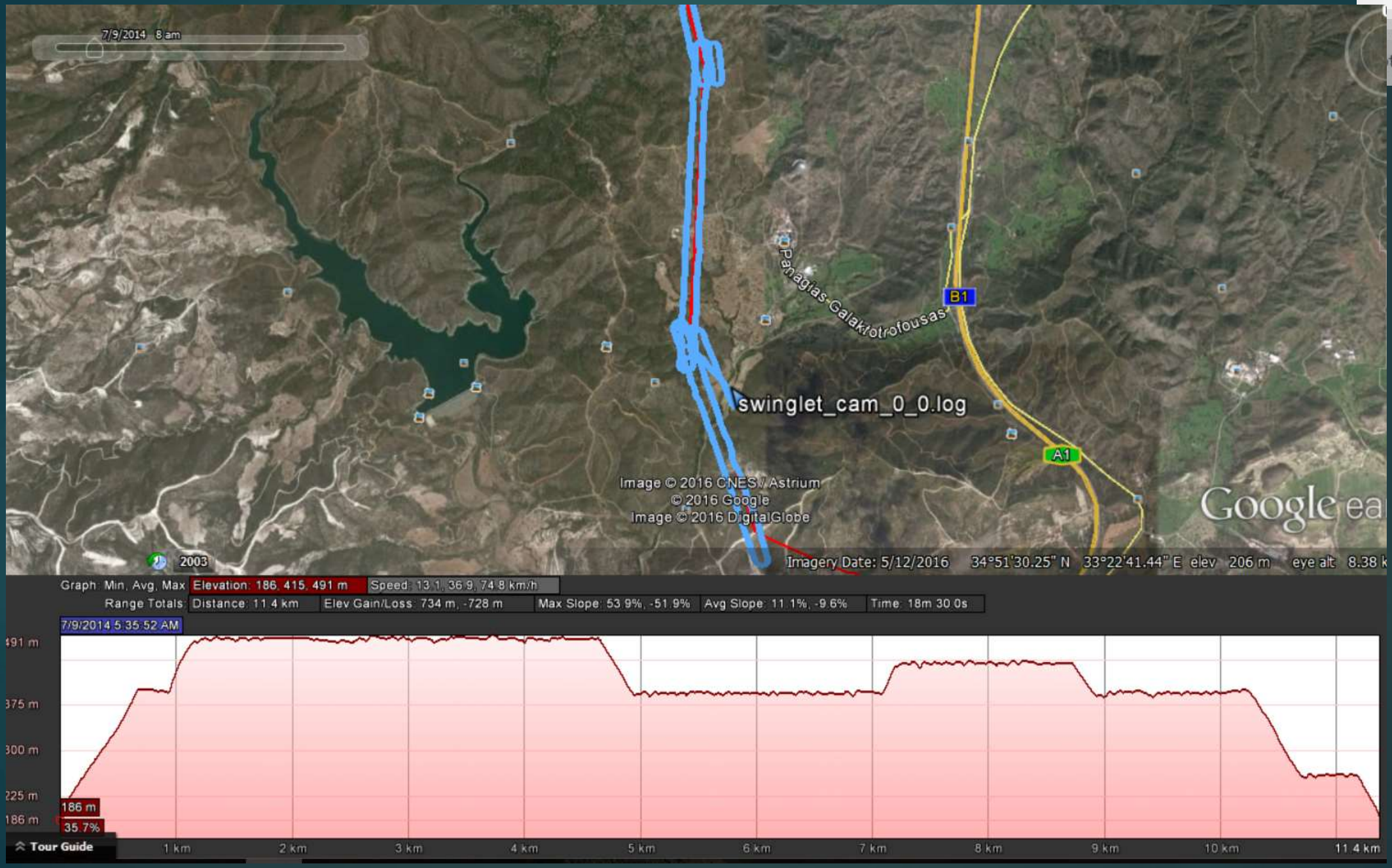
# Σχεδιασμός πτήσης

- ΑΔΕΙΕΣ
- Σχεδιάστηκαν 9 πτήσεις – μέγιστη 4km
  - Επανάληψη των 2 εξ’αυτών
  - Πρόσθετα 2 πτήσεις block
  - ΣΥΝΟΛΟ 13 πτήσεις
- Συλλέχθηκαν συνολικά 1304 α/φ & 205 φ/σ
- Μέση εικ/ψηφίδα στο έδαφος 0.06 m



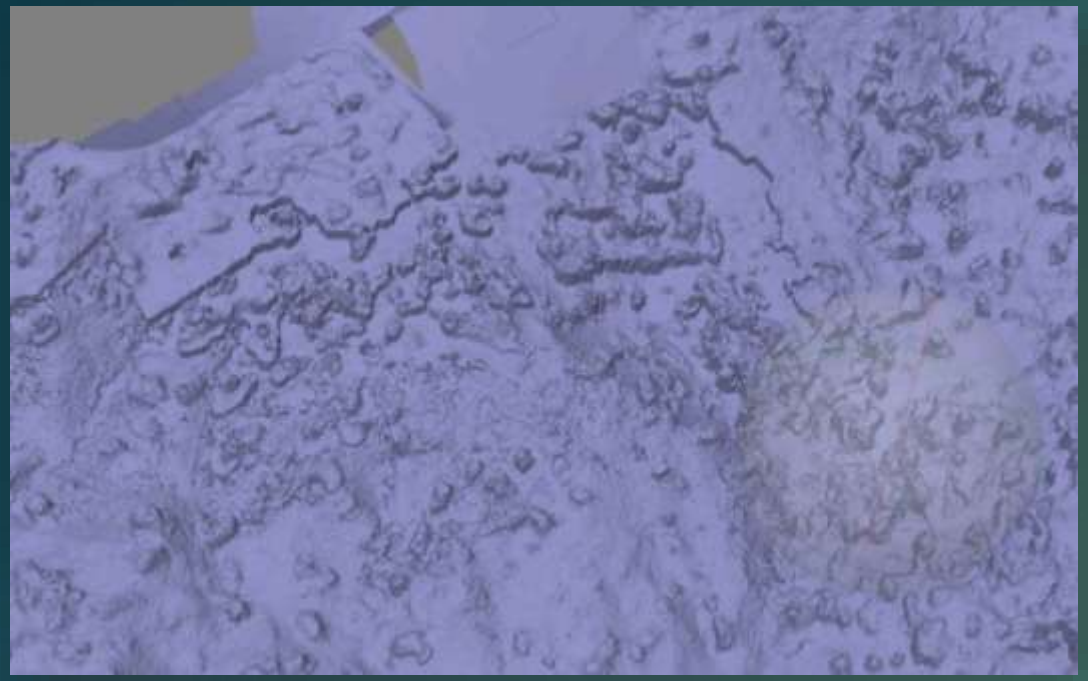

8/16/2014 6 pm
A1
B1
swinglet_cam_0_0.log
swinglet_cam_0_0.log

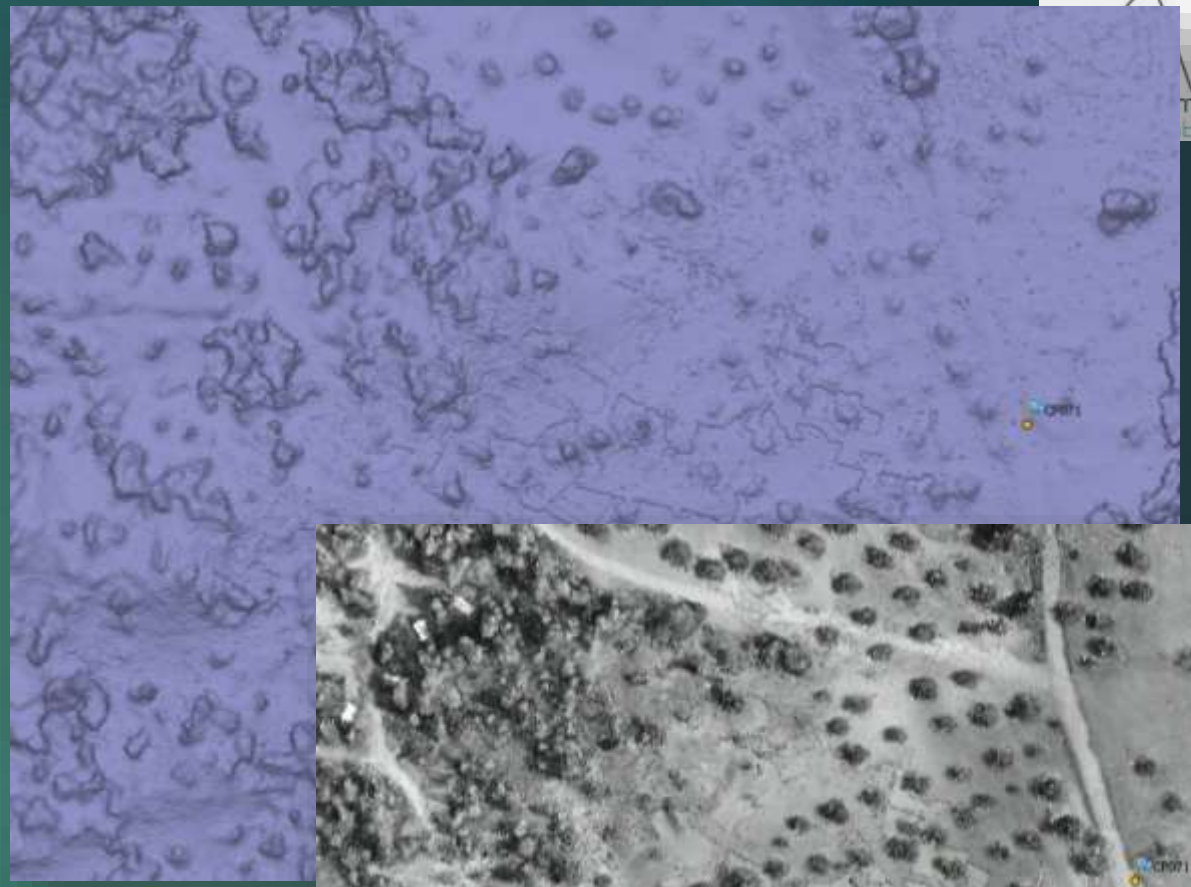

7/9/2014 8 am
Panagias-Galaktotrofousas
B1
A1
194 m
11.3 km
-5.4%
swinglet_cam_0_0.log
Image © 2016 CNES / Astrium
© 2016 Google
Image © 2016 DigitalGlobe
Google ear
2003
Imagery Date: 5/12/2016 34°51'06.97" N 33°22'45.85" E elev 194 m eye alt 8.38 km
Graph: Min, Avg, Max Elevation: 180, 233, 325 m Speed: 11.1, 36.6, 71.3 km/h
Range Totals: Distance: 11.3 km Elev Gain/Loss: 511 m, -508 m Max Slope: 29.0%, -30.6% Avg Slope: 8.7%, -8.9% Time: 18m 30.0s
7/9/2014 5:54:22 AM
325 m
300 m
250 m
200 m
180 m
194 m
-5.4%
11.3 km
Tour Guide
1 km
2 km
3 km
4 km
5 km
6 km
7 km
8 km
9 km
10 km

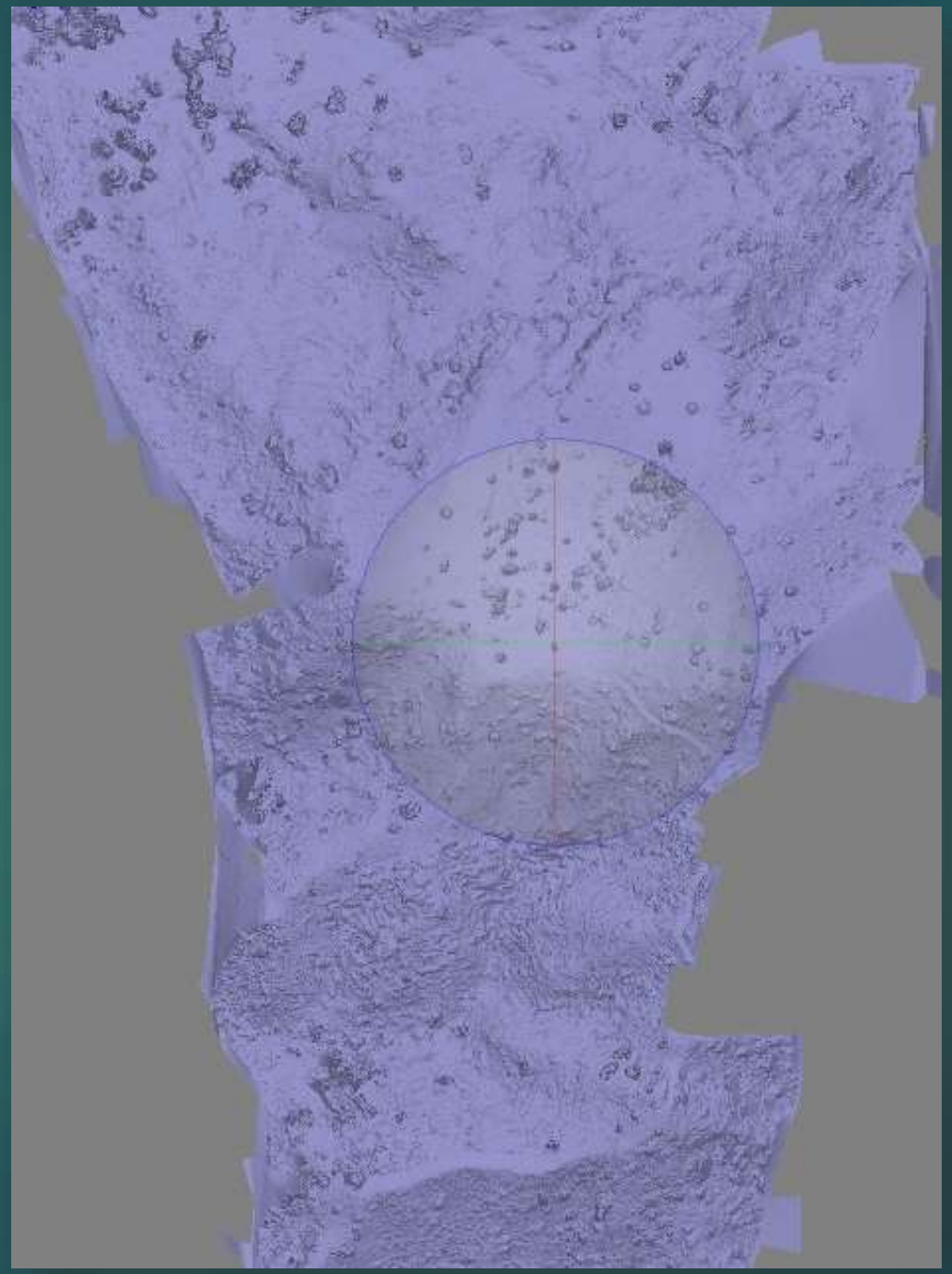

7/9/2014 8 am
Panagias-Galaktotrofousas
B1
A1
swinglet_cam_0_0.log
Image © 2016 CNES / Astrium
© 2016 Google
Image © 2016 DigitalGlobe
Google ea
2003
Imagery Date: 5/12/2016 34°51'30.25" N 33°22'41.44" E elev 206 m eye alt 8.38 k
Graph: Min, Avg, Max Elevation: 186, 415, 491 m Speed: 13.1, 36.9, 74.8 km/h
Range Totals: Distance: 11.4 km Elev Gain/Loss: 734 m, -728 m Max Slope: 53.9%, -51.9% Avg Slope: 11.1%, -9.6% Time: 18m 30.0s
7/9/2014 5:35:52 AM
491 m
375 m
300 m
225 m
186 m
186 m
35.7%
Tour Guide
1 km
2 km
3 km
4 km
5 km
6 km
7 km
8 km
9 km
10 km
11.4 km

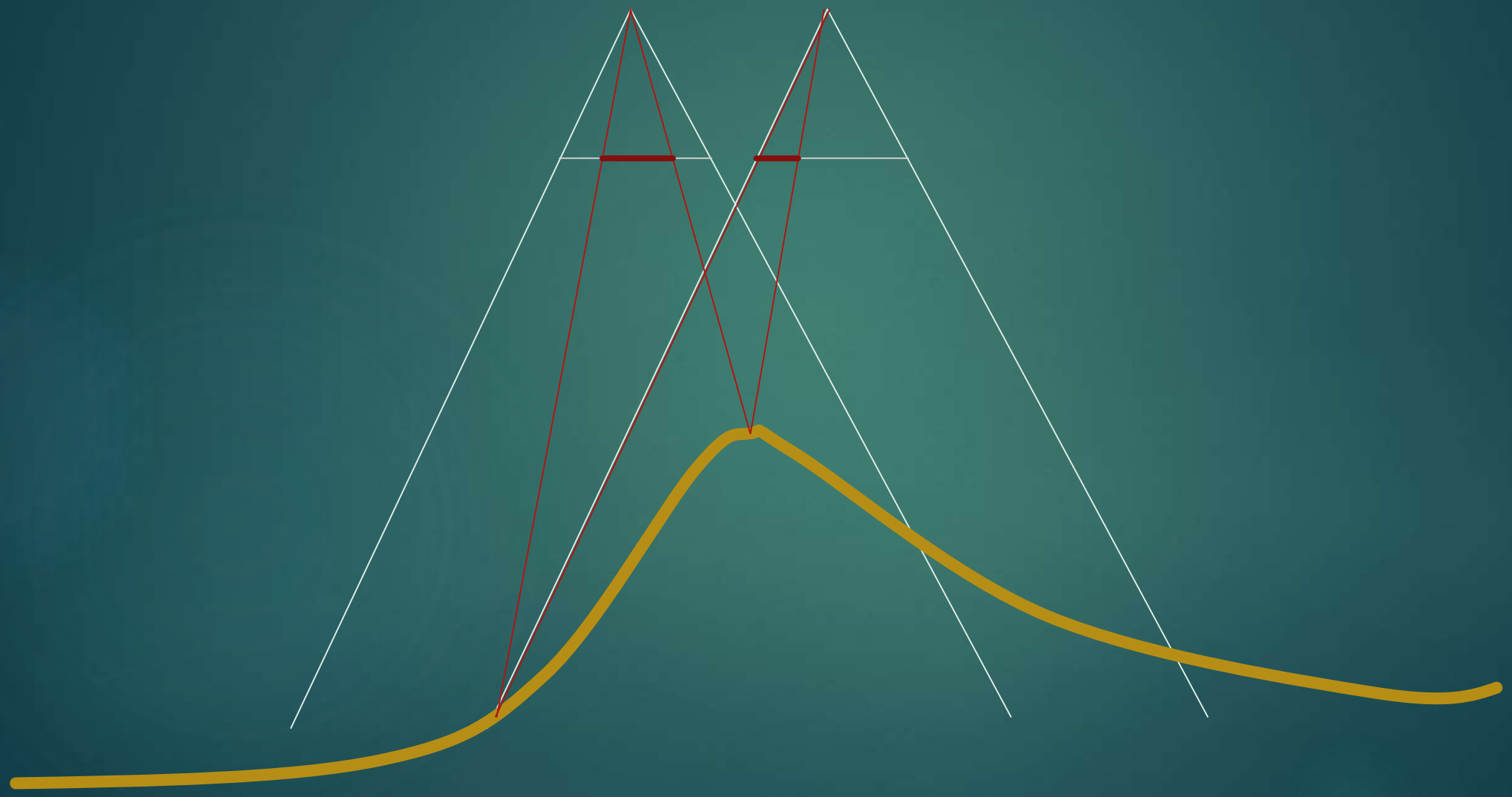
# Επεξεργασία

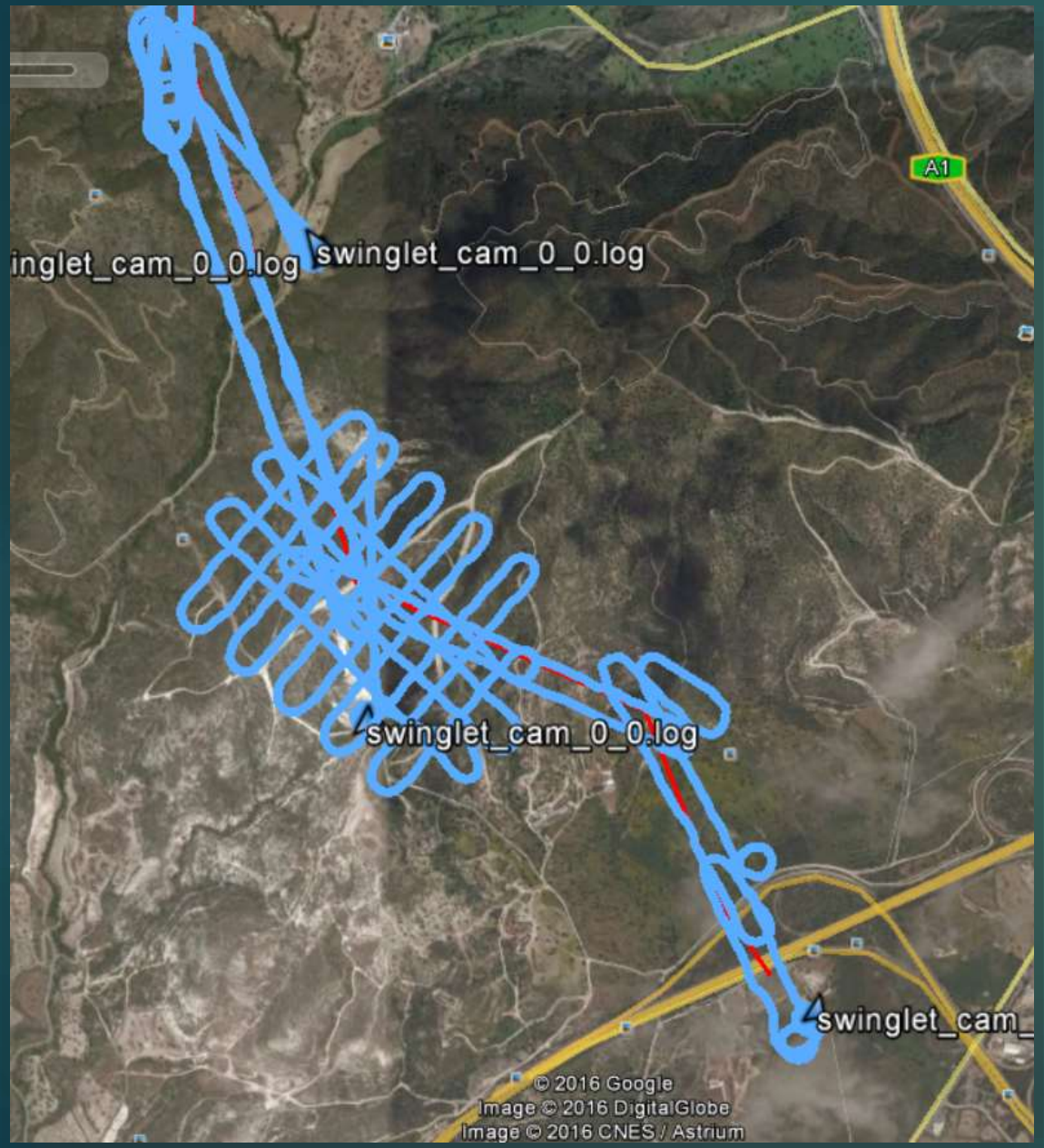
- Αυτόματος σχετικός, φιλτράρισμα σημείων
- Σκόπευση φ/σ, επίλυση
- Δημιουργία DSM, οπτικός έλεγχος
- Προσθήκη νέων σημείων χειρωνακτικά όπου χρειαζόταν και επανάληψη

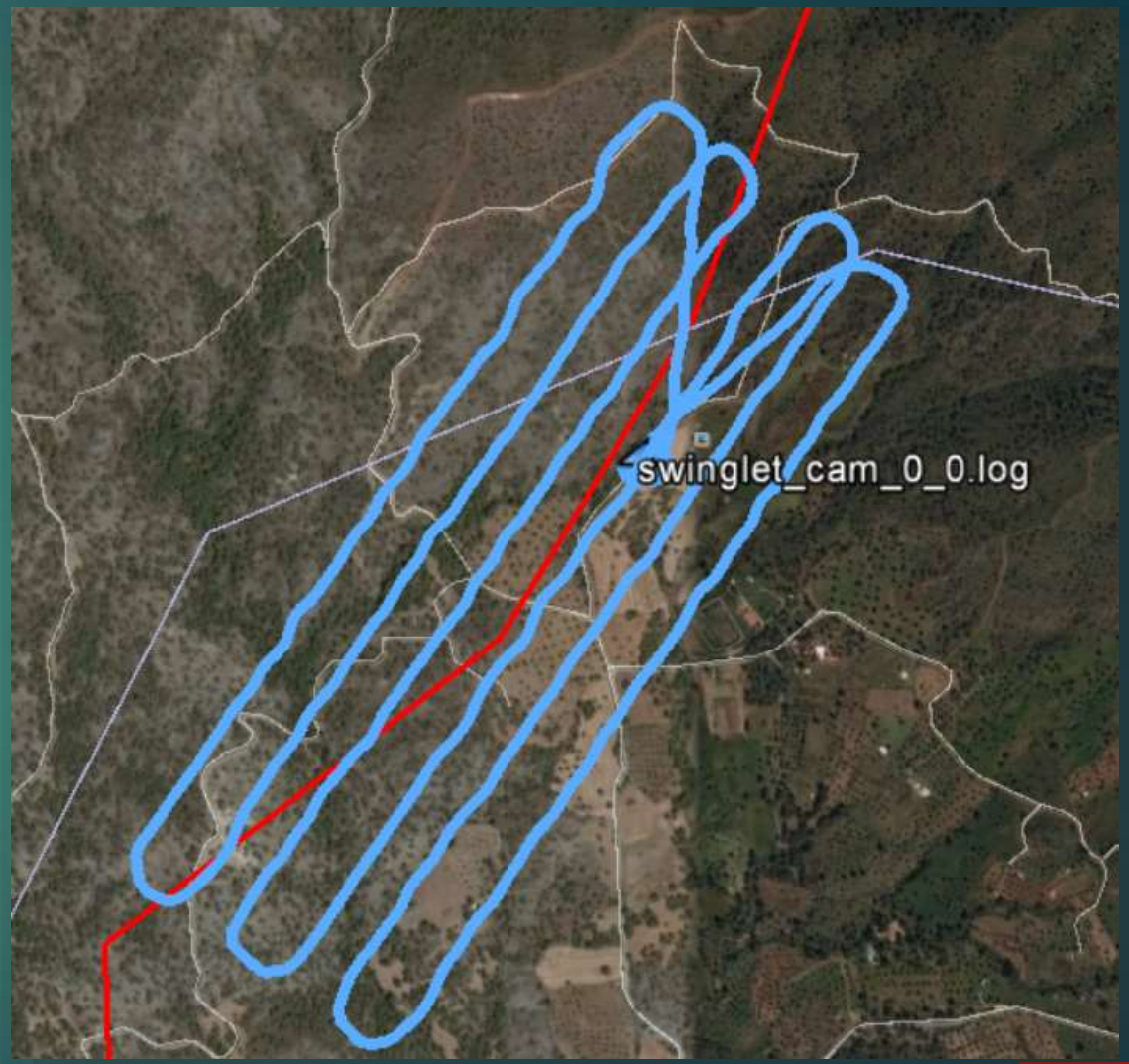






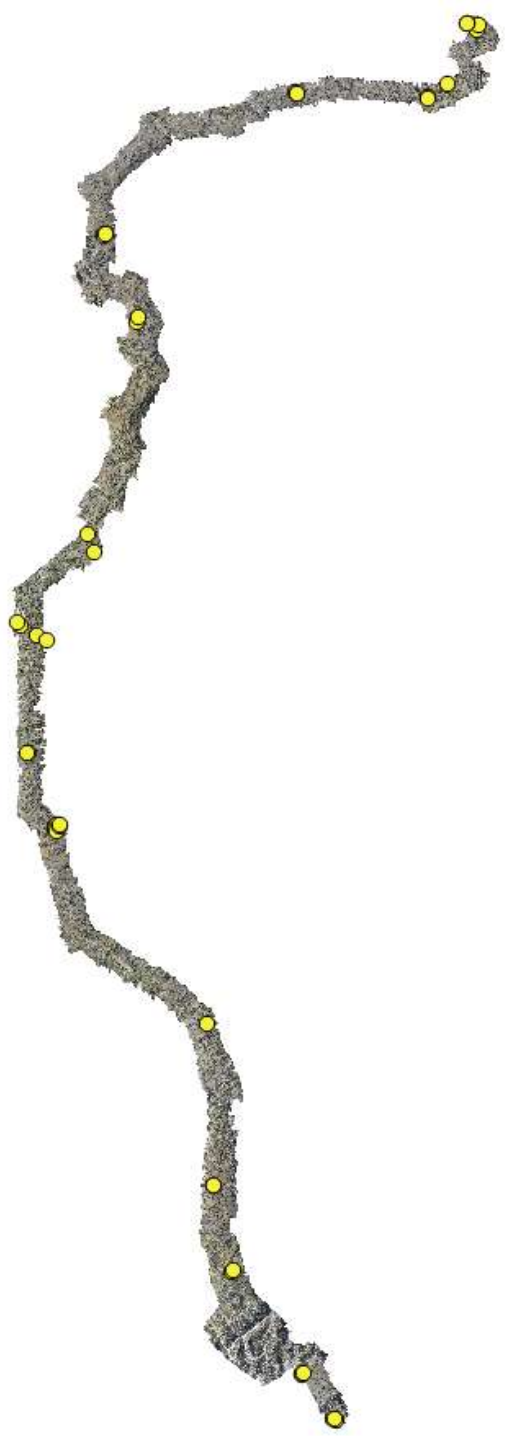



A1
inglet_cam_0_0.log
swinglet_cam_0_0.log
swinglet_cam_0_0.log
swinglet_cam_
© 2016 Google
Image © 2016 DigitalGlobe
Image © 2016 CNES / Astrium


swinglet_cam_0_0.log

# Πυκνότητα φ/σ

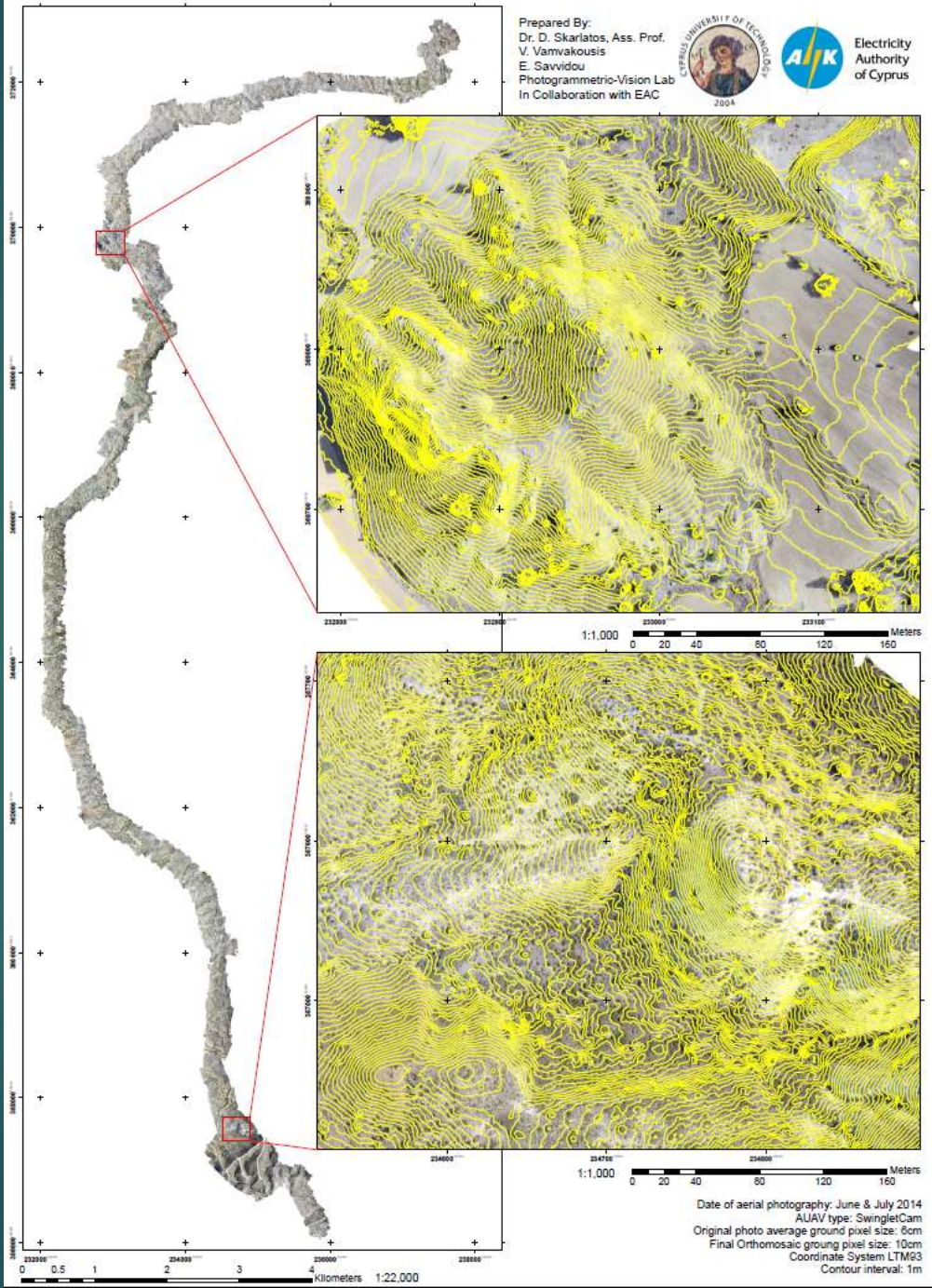
- 42 φ/σ
- Υπερβολή αισιοδοξία σε συνδυασμό με το δύσβατο έως απροσπέλαστο του εδάφους
  - Ανοίγματα 3,7 km
- Σημεία ελέγχου ΚΤΧ (#2950)
  - 20m, από 1:25000 α/φ, ακρίβεια 1m (;)
  - Αποκλίσεις -15.1m ~ +3.2m
  - ΜΟ & τυπ. Απ. -1.53m +/- 2m

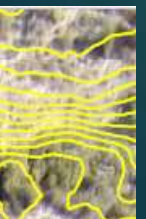


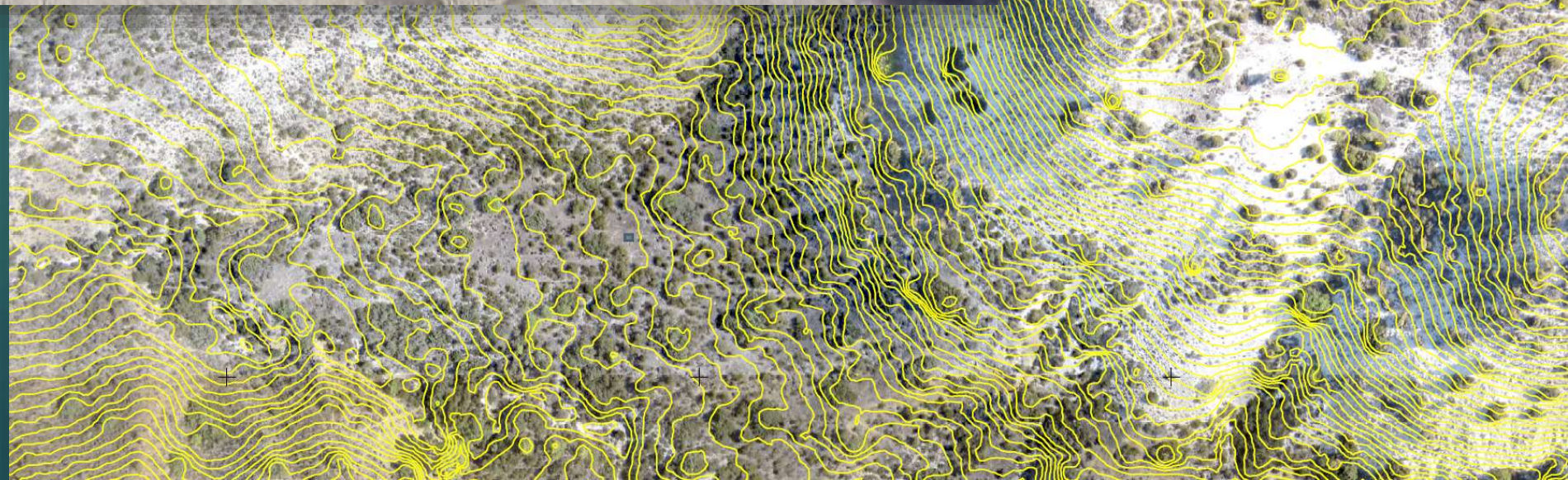
# Πυκνότητα φ/σ

- 205 φ/σ
- Μέγιστο άνοιγμα 500m
- Σημεία ελέγχου ΑΗΚ με GPS (#74)
  - Αποκλίσεις -0.49m ~ +0.35m
  - ΜΟ & τυπ. Απ. -0.16m +/- 0.17m

# ALAMBRA - KOFINOU





# Συμπεράσματα

- Η χρήση UAS για αποτυπώσεις ζώνης είναι και θεμιτή και εφικτή
- Κλίμακα και μέγεθος του έργου
- Θέση και πρόσβαση
- Οικονομία μεγεθών
- Επιλογή μέσων και άδειες
- Πυκνότητα φωτοσταθερων και αυτοβαθμονομηση μηχανής
- Χρήση σημείων ελέγχου απαραίτητη
- Επεξεργασία και δημιουργία ΨΜΕ, οπτικός έλεγχος

Σίγουρα εφικτή, αλλά με ιδιαιτερότητες.

* Σχεδιασμό πτήσεων & φ/σ
* Απαραιτήτως σημεία ελέγχου
* Σημεία σύνδεσης Α/Τ

# Ευχαριστώ θερμά για την πρόσκληση του ΠΣΔΑΤΜ και για την προσοχή σας

Ευχαριστίες προς την ΑΗΚ για την χρηματοδότηση του ερευνητικού HawkEye

www.photogrammetric-vision.weebly.com