



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

Πακέτο Εργασίας	Π.Ε.1.5 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ		
Συντάκτης Φορέας	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
Κωδικός Παραδοτέου	Π.1.8.2 – Τεχνική έκθεση Κατολισθήσεων Παραλιών ιδιαίτερης επισκεψιμότητας		
Αριθμός Έκδοσης	1	Διαθεσιμότητα	Ολοκληρωμένο
Μήνας Έναρξης	M1	Μήνα Λήξης	M28
Τύπος	Έκθεση		
Ομάδα Σύνταξης	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, ΔΡ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΔΡ. ΚΡΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή



ΛΑΕΡΤΗΣ

Καινοτόμο επιχειρησιακό σύστημα
διαχείρισης φυσικών κινδύνων
στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

Πακέτο Εργασίας	Π.Ε.1.5 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ		
Συντάκτης Φορέας	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
Κωδικός Παραδοτέου	Π.1.8.2 – Τεχνική έκθεση Κατολισθήσεων Παραλιών ιδιαίτερης επισκεψιμότητας		
Αριθμός Έκδοσης	1	Διαθεσιμότητα	Ολοκληρωμένο
Μήνας Έναρξης	M1	Μήνα Λήξης	M28
Τύπος	Έκθεση		
Ομάδα Σύνταξης	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, ΔΡ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΔΡ. ΚΡΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2. ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ (Κέρκυρα).....	3
3. ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΛΥΦΑΔΑ (Κέρκυρα)	8
4. ΠΑΡΑΛΙΑ ΕΓΚΡΕΜΝΟΙ (Λευκάδα).....	14
5. ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΟΡΤΟ ΚΑΤΣΙΚΙ (Λευκάδα).....	18
6. ΠΑΡΑΛΙΑ ΜΥΡΤΟΣ (Κεφαλονιά)	23
7. ΠΑΡΑΛΙΑ ΞΙ (Κεφαλονιά)	29
8. ΠΑΡΑΛΙΑ ΝΑΥΑΓΙΟ (Ζάκυνθος).....	38
9. ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΑΛΑΜΑΚΙ - Crystal (Ζάκυνθος).....	44
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν παραδοτέο εκπονείται στο πλαίσιο του πακέτου εργασίας (Π.Ε. 1.6) “**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ**” της πράξης «**ΛΑΕΡΤΗΣ - Καινοτόμο Επιχειρησιακό Σύστημα Διαχείρισης Φυσικών Κινδύνων στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων**».

Το παραδοτέο Π1.8.1 με τίτλο «**Τεχνική έκθεση Κατολισθήσεων Παραλιών ιδιαίτερης επισκεψιμότητας**» αποτελεί μια **τεχνική έκθεση**, στην οποία γίνεται ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από αποτυπώσεις με όργανα τελευταίας τεχνολογίας (Laser scanner, Drone) σε 8 επιλεγμένες παραλίες υψηλής επισκεψιμότητας. Βάσει αυτών των αποτυπώσεων και των επεξεργασιών που ακολούθησαν, εντοπίστηκαν θέσεις με το μεγαλύτερο κίνδυνο και αναφέρονται οι ενδεδειγμένες λύσεις για την αντιμετώπιση του φαινομένου των κατολισθήσεων. Τα στοιχεία αυτά κρίνονται απαραίτητα για το σύνολο των εργασιών του πακέτου εργασίας Π.Ε. 1.5. Χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός και λογισμικό που αποκτήθηκε στο πλαίσιο του παρόντος έργου (Laser Scanner P50, HiTarget RTK-GNSS, Cyclone Core/3DR/Register 360, Leica Infinity) αλλά και υπάρχων εξοπλισμός του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (Phantom 4 RTK-UAS, RedToolBox).

Οι 8 παραλίες που επιλέχθηκαν είναι οι παρακάτω:

- Παλαιοχώρι (Κέρκυρα)
- Γλυφάδα (Κέρκυρα)
- Πόρτο Κατσίκι (Λευκάδα)
- Εγκρεμνοί (Λευκάδα)
- Μύρτος (Κεφαλλονιά)
- Ξι (Κεφαλλονιά)
- Ναυάγιο (Ζάκυνθος)
- Καλαμάκι - Crystal (Ζάκυνθος)

2. ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ (Κέρκυρα)

2.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Παλαιοχώρι βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κέρκυρας, νότια του οικισμού Παλαιοχώρι και βορειοδυτικά του Αγίου Γόρδιου. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $39^{\circ}22'50.2''\text{N}$, $20^{\circ}03'28.8''\text{E}$ (Εικ. 2.1) και αποτελείται από πλειοκαινικές μάργες με μέγιστη κλίση τις 50° .

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Παλαιοχώρι καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 956, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



Εικόνα 2.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Παλαιοχώρι, Κέρκυρα

2.2 Μεθοδολογία

Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία Παλαιοχώρι πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner, όπου δημιουργήθηκαν νέφη της τάξης των 30.000.000 σημείων, τα οποία αποτυπώνουν με μεγάλη λεπτομέρεια την ακριβή μορφολογία του πρανούς.

Στην εργασία υπαίθρου συμπεριλαμβάνεται η τοποθέτηση σημείων ελέγχου και η μέτρηση των τοπικών συντεταγμένων τους με εξοπλισμό RTK-GNSS και εν συνεχεία μετατροπή τους με εξειδικευμένα λογισμικά (Leica Infinity) σε πραγματικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87, μετά από επίλυση με σημεία ελέγχου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (**Εικ.2.2**).

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τρεις στάσεις με τον σαρωτή για την αποτύπωση ολόκληρου του πρανούς με μεγάλη ακρίβεια (**Πίν. 2.1**) με αποτέλεσμα την συλλογή τριών νεφών σημείων με 31.040.387, 26.822.817 και 34.072.098 σημεία αντίστοιχα. Επίσης, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες έξι σημείων ελέγχου τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ένωση των δεδομένων των τριών στάσεων (**Πίν. 2.2**). Η αποτύπωση του πρανούς πραγματοποιήθηκε σε μέση απόσταση 15 μέτρων και στις τρεις στάσεις (**Εικ. 2.3**).

Πίνακας 2.1: Στοιχεία θέσεων τοποθέτησης του Σαρωτή.

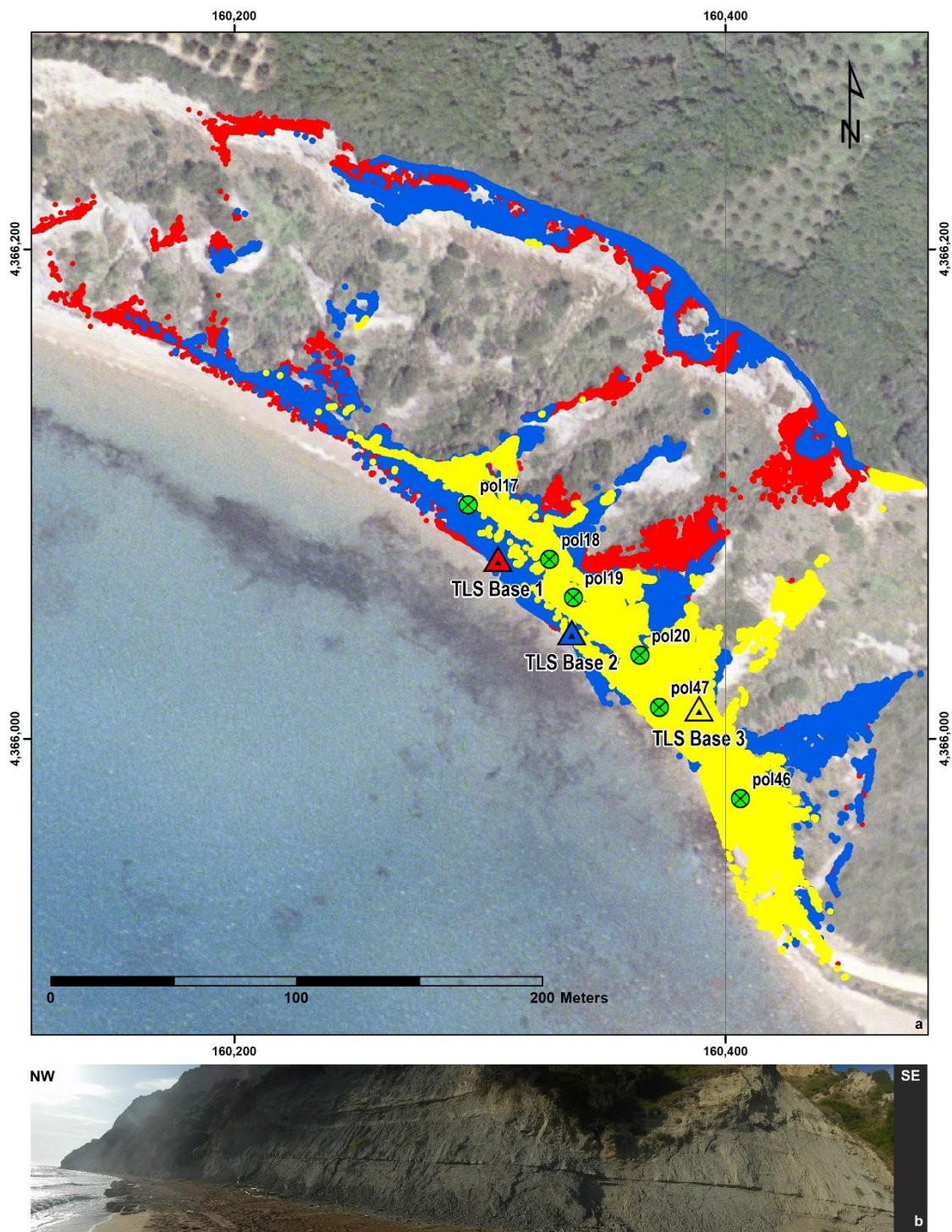
Στάσεις Σαρωτή	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
TLS Base 1	160.307,381	4.366.073,7	0,588
TLS Base 2	160.337,458	4.366.043,534	0,252
TLS Base 3	160.389,2403	4.366.012,708	0,4378

Πίνακας 2.2: Στοιχεία θέσεων σημείων ελέγχου.

Σημεία Ελέγχου	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
Pol17	160.295,397	4.366.095,304	1,878
Pol18	160.328,4845	4.366.072,996	1,3999
Pol19	160.338,1076	4.366.057,471	0,7811
Pol20	160.365,2427	4.366.033,873	0,9115
Pol46	160.406,2058	4.365.975,426	0,7988
Pol47	160.373,1514	4.366.012,708	0,6305

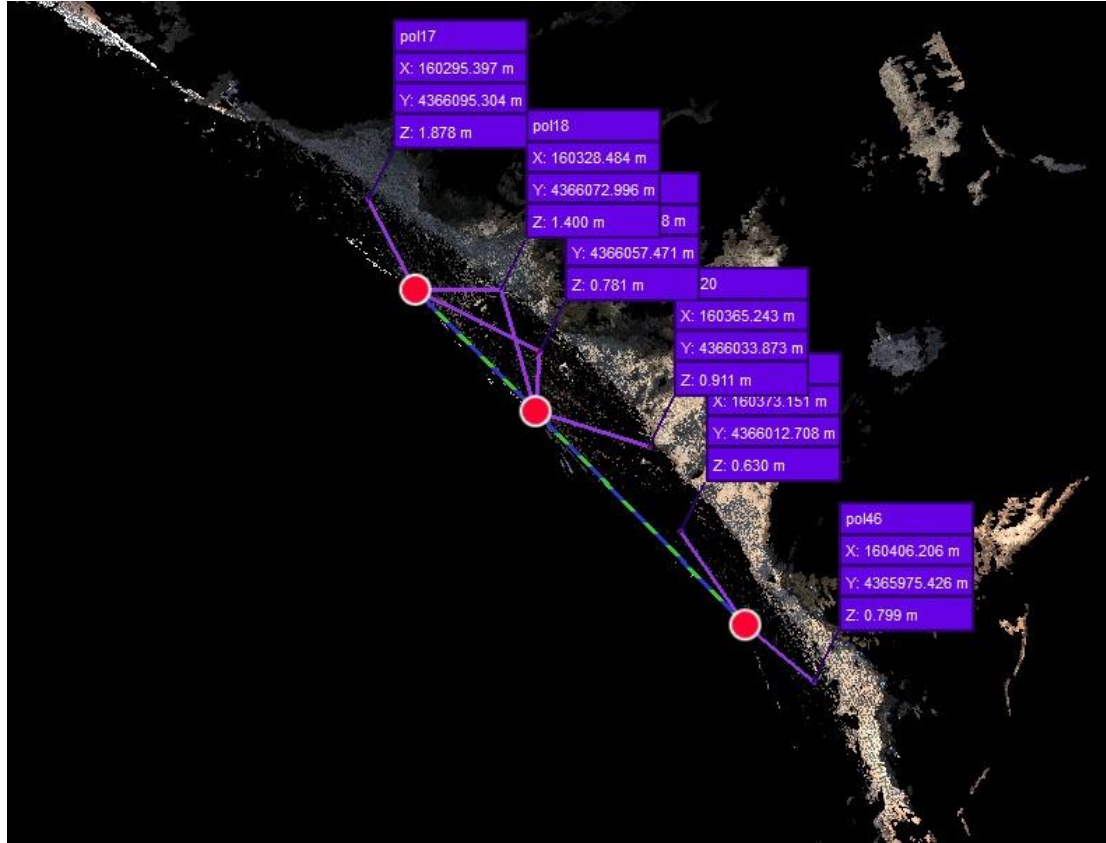


ικόνα 2.2. Θέση στάσης του σαρωτή και σημείο ελέγχου στην παραλία Παλαιοχώρι.



Εικόνα 2.3: (α) Οι τρεις στάσεις με το σαρωτή (με κόκκινο χρώμα η 1η στάση, με μπλε η 2η και με κίτρινο η 3η στάση) τοποθετημένες στο χώρο με πραγματικές συντεταγμένες x,y,z στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (β) Πανοραμική φωτογραφία της παραλίας Παλαιχωρι.

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με την εμβέλεια του σαρωτή λέιζερ να ορίζεται στα 270m (ως μέγιστη απόσταση), με ανάλυση στα 3,1mm ανά 10m. Η επεξεργασία των δεδομένων από τις ασκήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Cyclone Register 360, όπου και έγινε η ένωση των τριών στάσεων και των τριών νεφών σημείων αντίστοιχα (Εικ. 2.4).



Εικόνα 2.4. Ενοποίηση των τριών νεφών σημείων με τις θέσεις του σαρωτή και τα έξι σημεία ελέγχου.

Η ένωση των τριών νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι επιτυγχάνεται η συνένωση τους. Η χρήση στόχων πραγματοποιήθηκε για την γεωαναφορά του τελικού νέφους σημείων.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων ελέγχουμε την απόκλιση που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των δυο νεφών σημείων. Το σφάλμα της ενοποίησης των στάσεων σε ένα ενιαίο νέφος σημείων υπολογίστηκε 0,008 m, η αλληλοεπικάλυψη υπολογίστηκε 53% και η σχετική ακαμψία του μοντέλου 51% (Εικ. 2.5).

Bundle Error 0.008 m ✓	
Overlap 53 % ✓	Strength 51 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.008 m ✓	Target Error --

Εικόνα 2.5. Αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αφαίρεση τυχόν θορύβων και ο καθαρισμός του τελικού νέφους σημείων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone 3DReshaper και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα για το βέλτιστο των αποτελεσμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων έχουμε σαν αποτέλεσμα:

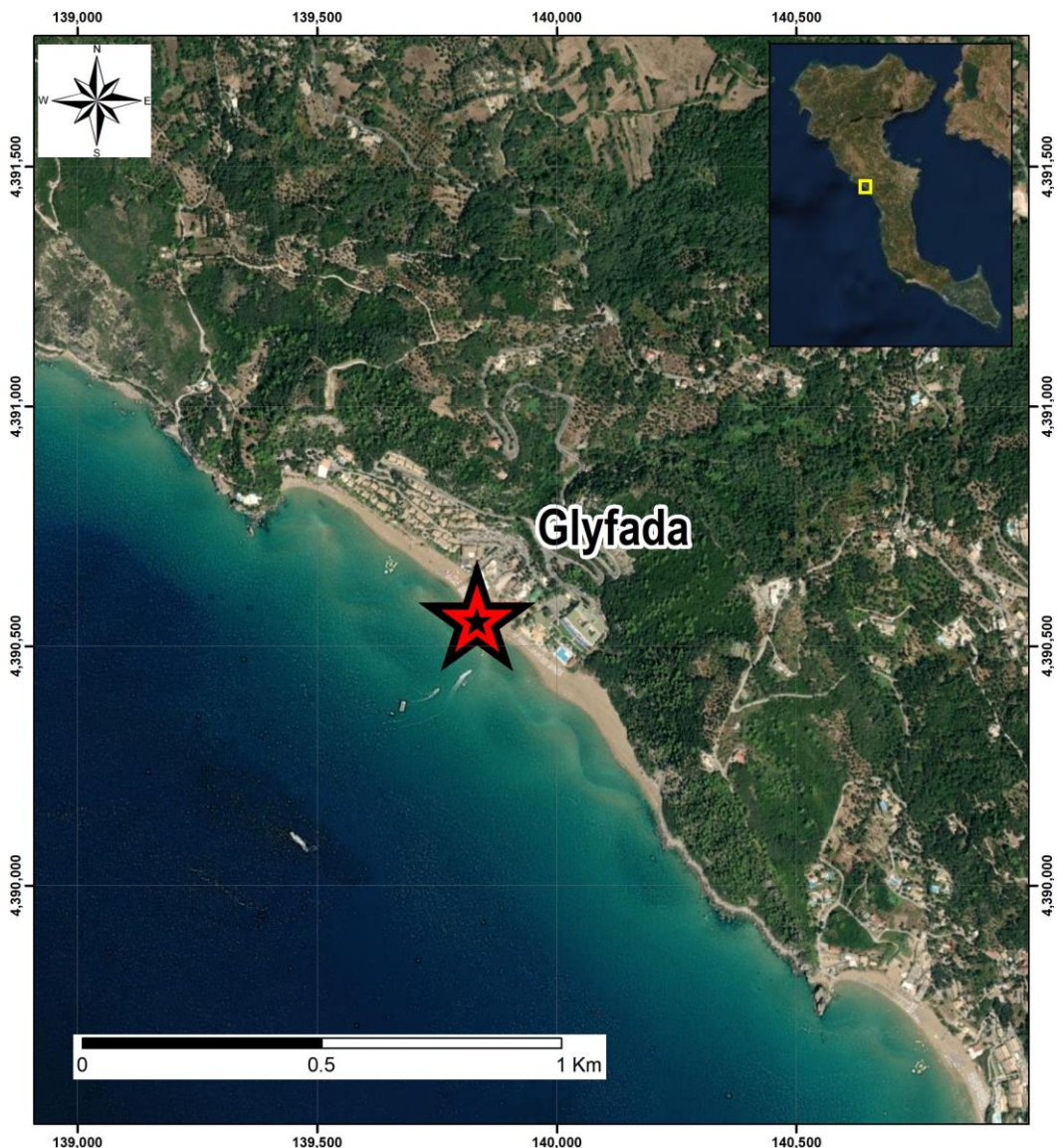
- Τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 91.935.302 σημεία.
- Εντοπισμό θέσεων δυνητικών καταπτώσεων
- Χάραξη εγκάρσιων τομών σε θέσεις υψηλής επικινδυνότητας

3. ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΛΥΦΑΔΑ (Κέρκυρα)

3.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Γλυφάδα βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Κέρκυρας, δυτικά του οικισμού Πέλεκας και σε απόσταση 17.3km από την πόλη της Κέρκυρας. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $39^{\circ}35'29.6''\text{N}$ $19^{\circ}48'30.8''\text{E}$ (Εικ. 3.1) και αποτελείται από μειοπλειοκαινικές μάργες με μέγιστη κλίση τις 48° .

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Γλυφάδα καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 971, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



Εικόνα 3.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Γλυφάδα, Κέρκυρα

3.2 Μεθοδολογία

Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία Γλυφάδα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner, όπου δημιουργήθηκαν νέφη της τάξης των 150.000.000 σημείων, που αποτυπώνουν την ακριβή μορφολογία του πρανούς.

Στην εργασία υπαίθρου συμπεριλαμβάνεται η τοποθέτηση σημείων ελέγχου και η μέτρηση των τοπικών συντεταγμένων τους με Total Station και εν συνεχεία μετατροπή τους με εξειδικευμένα λογισμικά (Leica Infinity) σε πραγματικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87, μετά από επίλυση με σημεία ελέγχου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (**Εικ. 3.2**).

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τρεις στάσεις με τον σαρωτή για την αποτύπωση ολόκληρου του πρανούς με μεγάλη ακρίβεια (**Πίν. 3.1**) με αποτέλεσμα την συλλογή τριών νεφών σημείων με 102.663.559, 201.939.649 και 173.148.267 σημεία αντίστοιχα. Επίσης, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες πέντε σημείων ελέγχου τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ένωση των δεδομένων των τριών στάσεων (**Πίν. 3.2**). Η αποτύπωση του πρανούς πραγματοποιήθηκε σε μέση απόσταση 50 μέτρων από την πρώτη στάση, 30 μέτρων από τη δεύτερη στάση και 35 μέτρων από την τρίτη στάση (**Εικ. 3.3**).

Πίνακας 3.1: Στοιχεία θέσεων τοποθέτησης του Σαρωτή.

Στάσεις Σαρωτή	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
TLS Base 1	140.206,2985	4.390.157,99	0,619
TLS Base 2	140.183,2541	4.390.195,918	0,6759
TLS Base 3	140.154,7992	4.390.237,392	0,6122

Πίνακας 3.2: Στοιχεία θέσεων σημείων ελέγχου.

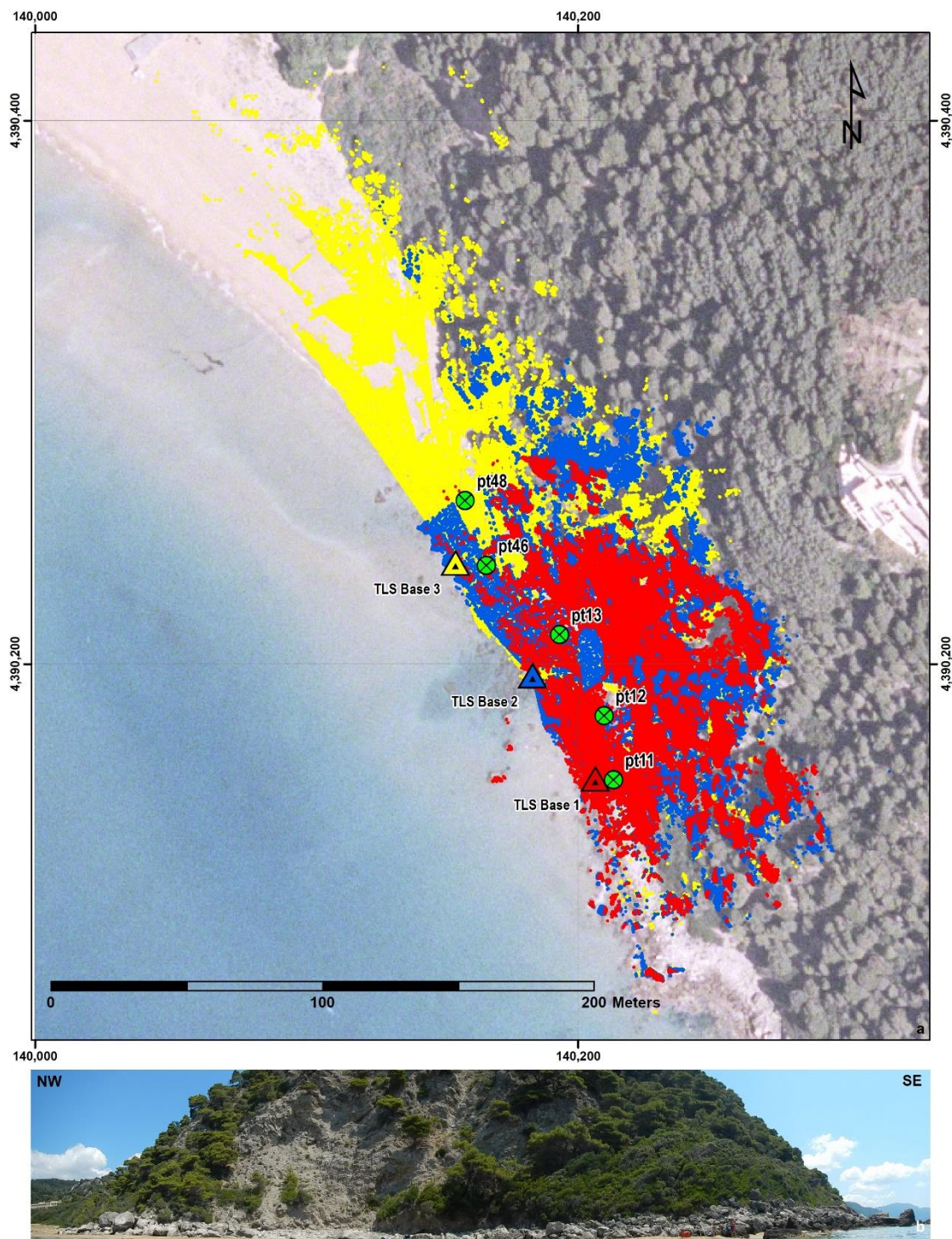
Σημεία Ελέγχου	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
Pt11	160.295,397	4.366.095,304	1,878
Pt12	160.328,4845	4.366.072,996	1,3999
Pt13	160.338,1076	4.366.057,471	0,7811
Pt46	160.365,2427	4.366.033,873	0,9115
Pt48	160.406,2058	4.365.975,426	0,7988



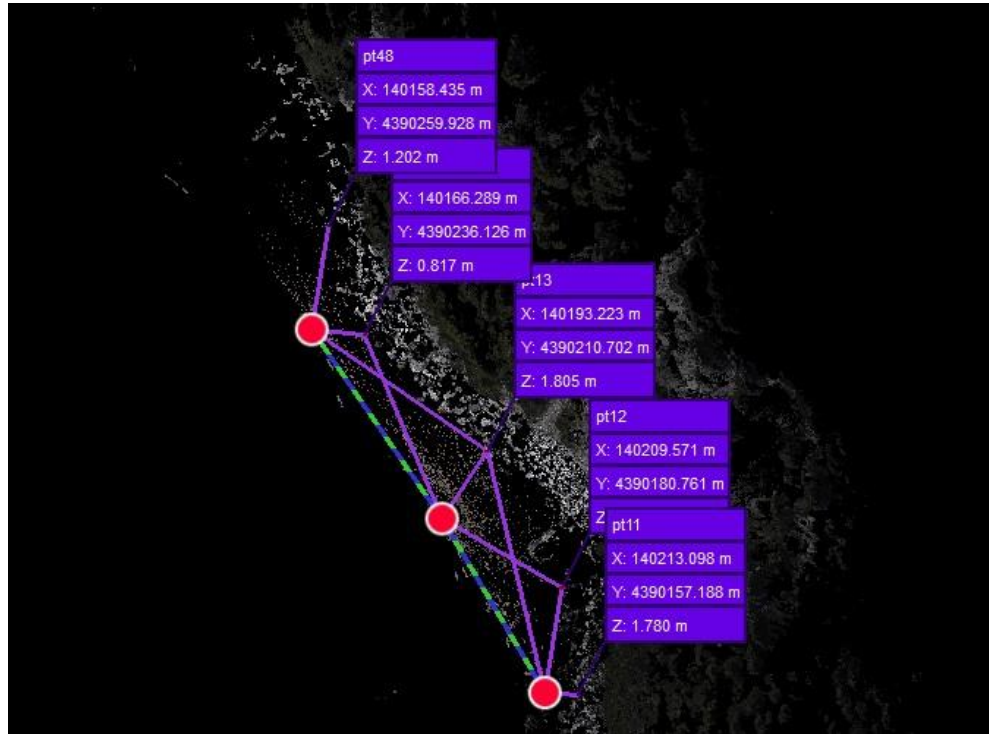
Εικόνα 3.2. Θέση στάσης του σαρωτή και σημεία ελέγχου στην παραλία Γλυφάδα.

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με την εμβέλεια του σαρωτή λέιζερ να ορίζεται στα 270m (μέγιστη απόσταση), με ανάλυση στα 1,8mm ανά 10m.

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις ασκήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Cyclone Register 360, όπου και έγινε η ένωση των τριών στάσεων και των τριών νεφών σημείων αντίστοιχα (Εικ. 3.4).



Εικόνα 3.3. (α) Οι τρεις στάσεις με το σαρωτή (με κόκκινο χρώμα η 1η στάση, με μπλε η 2η και με κίτρινο η 3η στάση) τοποθετημένες στο χώρο με πραγματικές συντεταγμένες x,y,z στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (β) Πανοραμική φωτογραφία της παραλίας Γλυφάδα.

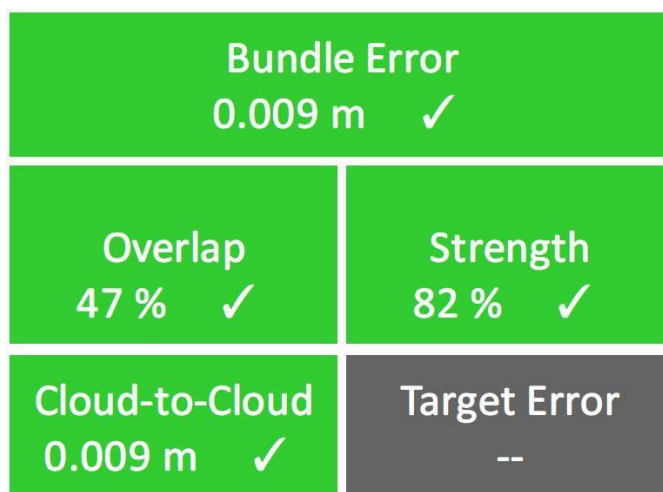


Εικόνα 3.4. Ενοποίηση των τριών νεφών σημείων με τις θέσεις του σαρωτή και τα πέντε σημεία ελέγχου.

Η ένωση των τριών νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι επιτυγχάνεται η συνένωση τους. Η χρήση στόχων πραγματοποιήθηκε για την γεωαναφορά του τελικού νέφους σημείων.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων ελέγχουμε την απόκλιση που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των δυο νεφών σημείων. Το σφάλμα της ενοποίησης των στάσεων σε ένα ενιαίο νέφος σημείων υπολογίστηκε 0,009 m, η αλληλοεπικάλυψη υπολογίστηκε 47% και η σχετική ακαμψία του μοντέλου 82% (Εικ. 3.5).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αφαίρεση τυχόν θορύβων και ο καθαρισμός του τελικού νέφους σημείων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone 3DReshaper και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα για το βέλτιστο των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 3.5. Αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων έχουμε σαν αποτέλεσμα:

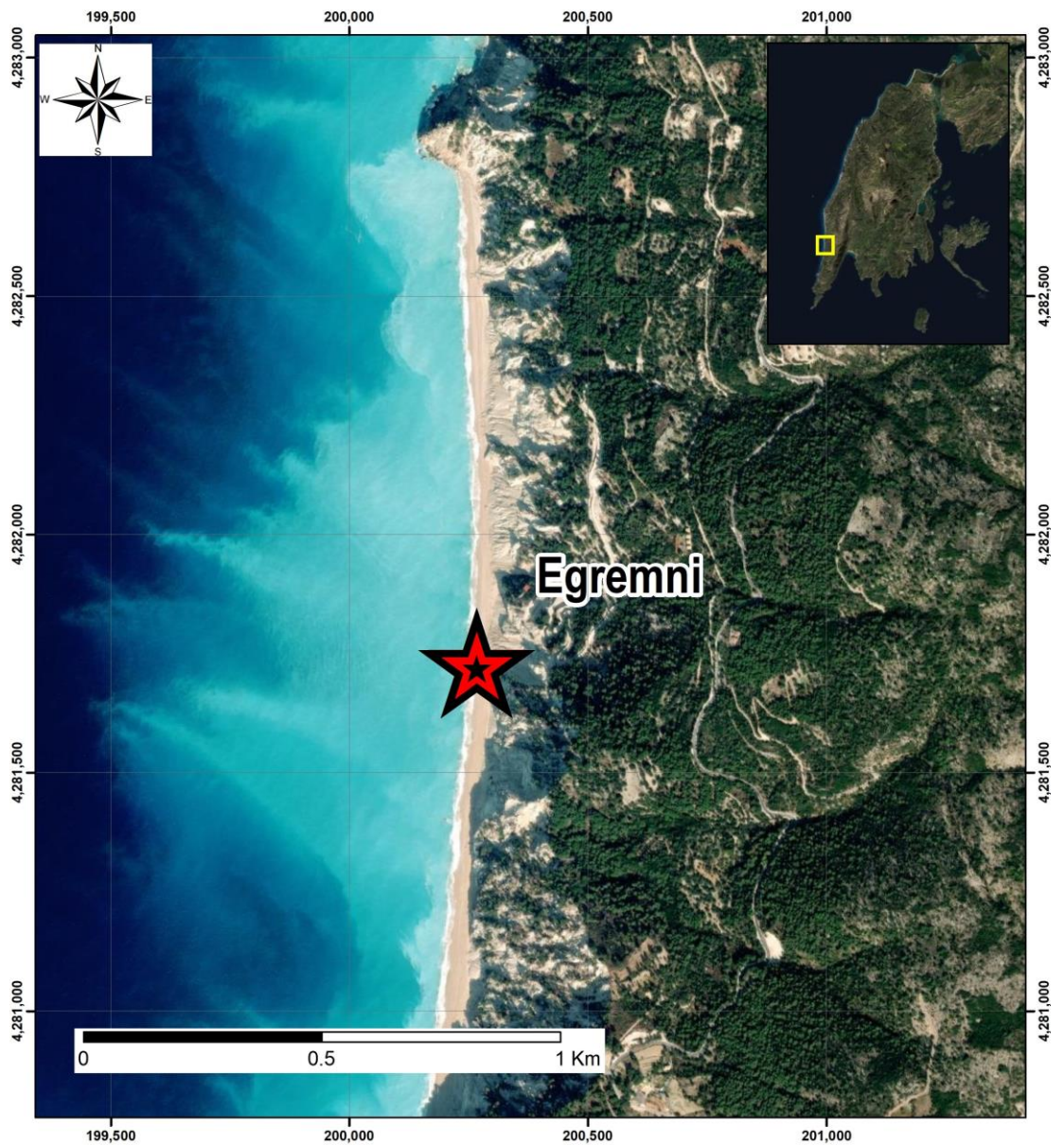
- Τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 477.751.475 σημεία.
- Εντοπισμό θέσεων δυνητικών καταπτώσεων
- Χάραξη εγκάρσιων τομών σε θέσεις υψηλής επικινδυνότητας

4. ΠΑΡΑΛΙΑ ΕΓΚΡΕΜΝΟΙ (Λευκάδα)

4.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Εγκρεμνοί βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Λευκάδας, δυτικά του οικισμού Βασιλική και σε απόσταση 15,5km. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση 38°38'11.6"N 20°33'29.9"E (Εικ. 4.1) και αποτελείται από αλλούβια του ολοκαίνου με μέγιστη κλίση τις 40°.

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Εγκρεμνοί καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 620, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



Εικόνα 4.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Γλυφάδα, Κέρκυρα

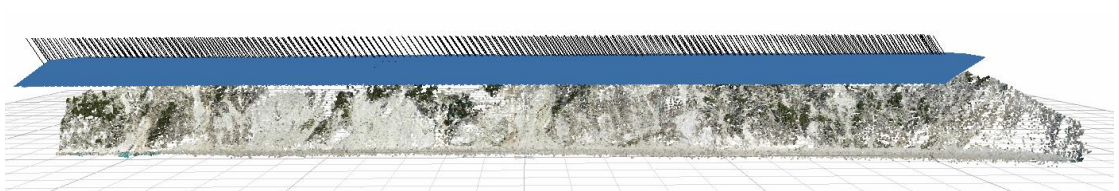
4.2 Μεθοδολογία

Η αποτύπωση (Εικ. 4.2) ολοκληρώθηκε με το ΣμηΕΑ να κινείται οριζόντια πάνω από την περιοχή και με την κάμερα να είναι σε γωνία 60° σε σχέση με τον ορίζοντα, επιλέγοντας σαν μεθοδολογία αποτύπωσης την τρισδιάστατη λήψη, δημιουργώντας έτσι ένα δικτυωτό πλέγμα στην λήψη των αεροφωτογραφιών (Εικ. 4.3) και επιτυγχάνοντας πολύ υψηλή ανάλυση.

Από την αποτύπωση της περιοχής, ελήφθησαν συνολικά 592 αεροφωτογραφίες από σταθερό απόλυτο υψόμετρο 237 μέτρων, καλύπτοντας μια περιοχή με εμβαδόν 0.328 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Εικ. 4.4). Χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ τύπου DJI Phantom-4, εφοδιασμένο με κάμερα τύπου FC6310x με φακό εστιακής απόστασης 8,8 mm.



Εικόνα 4.2. Εργασία πεδίου στη θέση απογείωσης του ΣμηΕΑ και πανοραμική εικόνα της περιοχής μελέτης.

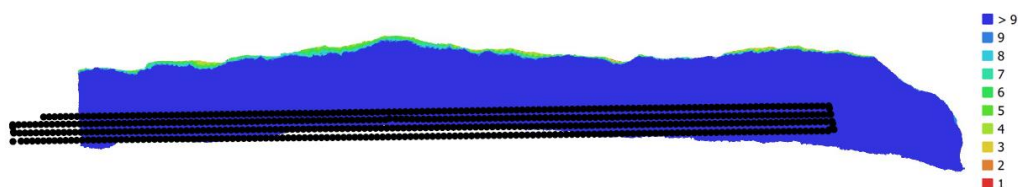


Εικόνα 4.3. Λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Εγκρεμνοί με πολύ υψηλή ανάλυση.

Number of images:	592	Camera stations:	592
Flying altitude:	237 m	Tie points:	176,218
Ground resolution:	6.29 cm/pix	Projections:	2,790,409
Coverage area:	0.328 km ²	Reprojection error:	0.947 pix

Εικόνα 4.4. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.

Καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των τελικών προϊόντων αποτέλεσε το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης (75%) των εικόνων τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος (**Εικ. 4.5**). Η εμφάνιση των ομόλογων σημείων σε μεγάλο αριθμό εικόνων, αφενός ενισχύει σημαντικά τη γεωμετρία κατά την επίλυση επιτρέποντας ακριβή υπολογισμό του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των λήψεων, αφετέρου αυξάνει την πιστότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής (**Εικ. 4.6**).



Εικόνα 4.5. Θέσεις λήψεων και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την κάλυψη της περιοχής από αριθμό αεροφωτογραφιών.

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3696.55	0.18	1.00	0.32	-0.89	0.86	0.27	-0.09	0.05	-0.02	-0.01	0.02	-0.17
Cx	-30.4581	0.056		1.00	-0.34	0.30	0.11	0.04	-0.02	0.01	-0.00	0.71	-0.37
Cy	43.4065	0.41			1.00	-0.98	-0.36	-0.01	0.04	-0.06	0.07	-0.06	0.28
B1	-10.1615	0.14				1.00	0.39	0.01	-0.04	0.06	-0.08	0.05	-0.15
B2	-1.09299	0.025					1.00	-0.01	-0.01	0.02	-0.03	-0.19	0.17
K1	0.0193734	6.8e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.87	0.10	0.00
K2	-0.0754166	0.00034							1.00	-0.99	0.96	-0.03	-0.00
K3	0.141677	0.00068								1.00	-0.99	0.01	0.01
K4	-0.0879704	0.00047									1.00	0.01	-0.02
P1	-0.00263958	4.9e-06										1.00	-0.33
P2	0.000340792	4.7e-06											1.00

Εικόνα 4.6. Πίνακας επίλυσης παραμέτρων εξωτερικού προσανατολισμού.

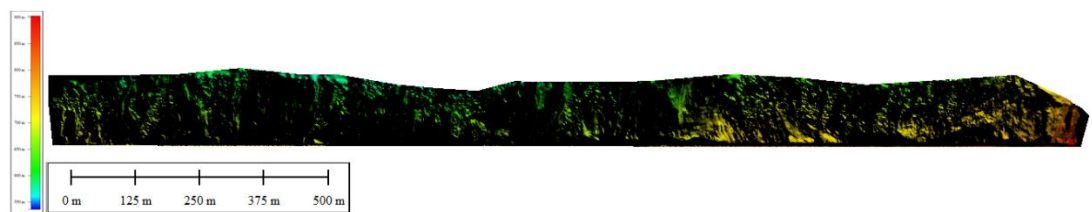
Τα βήματα επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional v.1.7.5, είναι:

- Η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών (Agisoft, 2020). Το σύνολο των εικόνων (592) καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικ. 4.3**). Υπολογίζεται η θέση της φωτογραφικής μηχανής για την κάθε εικόνα ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται τα κοινά σημεία (176.218) στις φωτογραφίες που έχουν αλληλοεπικάλυψη.
- Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 31.422.505 σημεία.
- Ακολουθεί η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος πολυγώνων (polygon mesh) το οποίο προσομοιώνει την επιφάνεια του αντικειμένου με 5.604.722 όψεις.

- Η κατασκευή της υψής των εικόνων. Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθο-φωτο-χαρτών.
- Παράγεται ο τελικός ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 0.062 μέτρα και χρωματικό βάθος πραγματικού χρώματος 32-bit (**Εικ. 4.7**), σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- Παράγεται ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διακριτική ικανότητα 0.125 μέτρα με πυκνότητα σημείων 63,3 ανά τετραγωνικό μέτρο και χρωματικό βάθος 32-bit και μέγιστο υψόμετρο 160 μέτρα (**Εικ. 4.8**) σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 4.7. Ορθο-φωτο-μωσαϊκό που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.



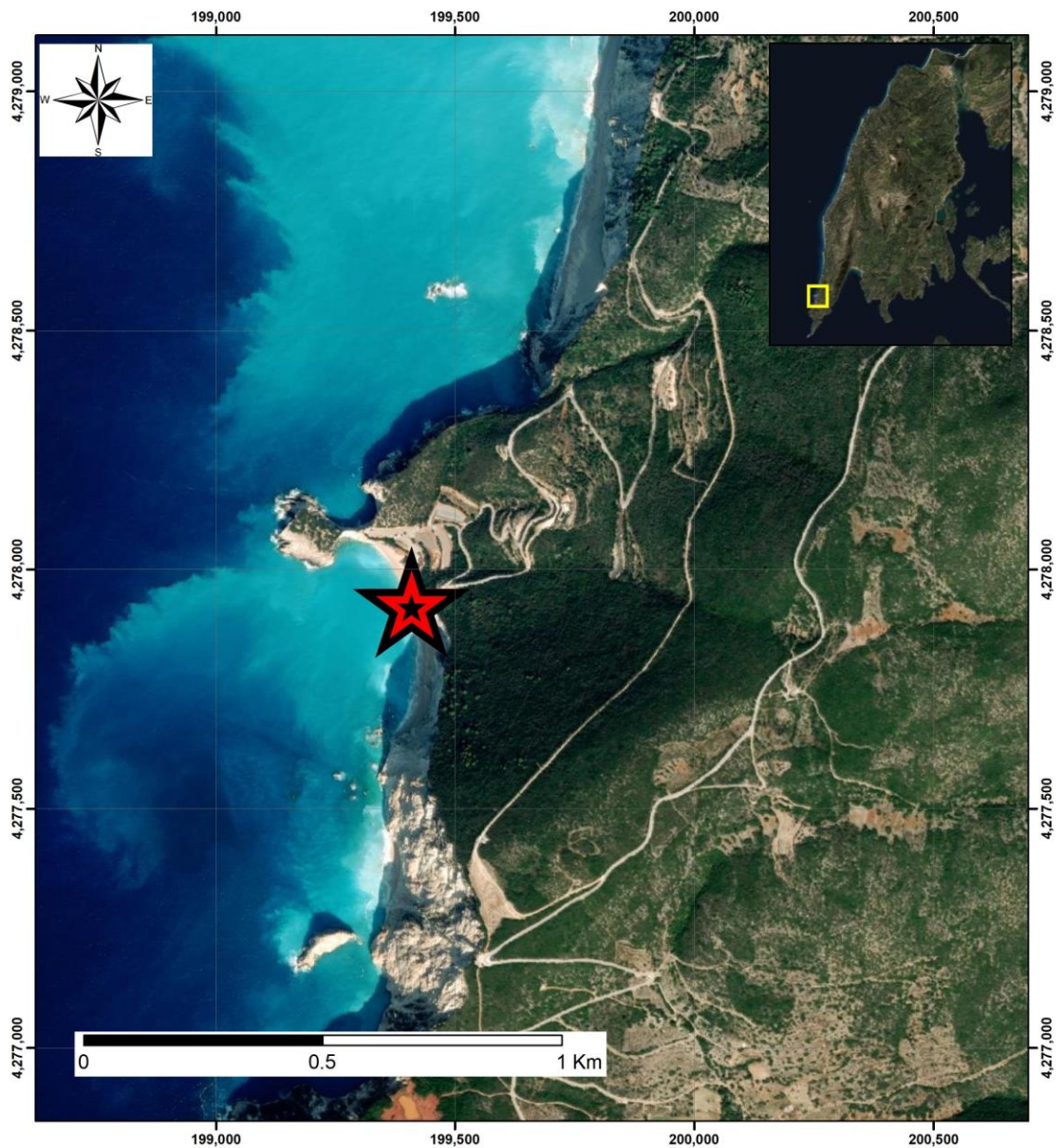
Εικόνα 4.8. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.

5. ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΟΡΤΟ ΚΑΤΣΙΚΙ (Λευκάδα)

5.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Πόρτο Κατσίκι βρίσκεται στο νότιο τμήμα της νήσου Λευκάδας, νοτιοδυτικά του οικισμού Βασιλική και σε απόσταση 14.9 km. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $38^{\circ}36'03.3''\text{N } 20^{\circ}33'01.6''\text{E}$ (Εικ. 5.1) και αποτελείται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Παξών, με μέγιστη κλίση τις 55° .

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Πόρτο Κατσίκι καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 619, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



Εικόνα 5.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Πόρτο Κασίκι, Λευκάδα

5.2 Μεθοδολογία

Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία Πόρτο Κασίκι πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner, όπου δημιουργήθηκαν νέφη της τάξης των 50.000.000 σημείων, που αποτυπώνουν την ακριβή μορφολογία του πρανούς.

Στην εργασία υπαίθρου συμπεριλαμβάνεται η τοποθέτηση σημείων ελέγχου και η μέτρηση των τοπικών συντεταγμένων τους με Total Station και εν συνεχεία μετατροπή τους με εξειδικευμένα λογισμικά (Leica Infinity) σε πραγματικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87, μετά από επίλυση με σημεία ελέγχου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (Εικ. 5.2).

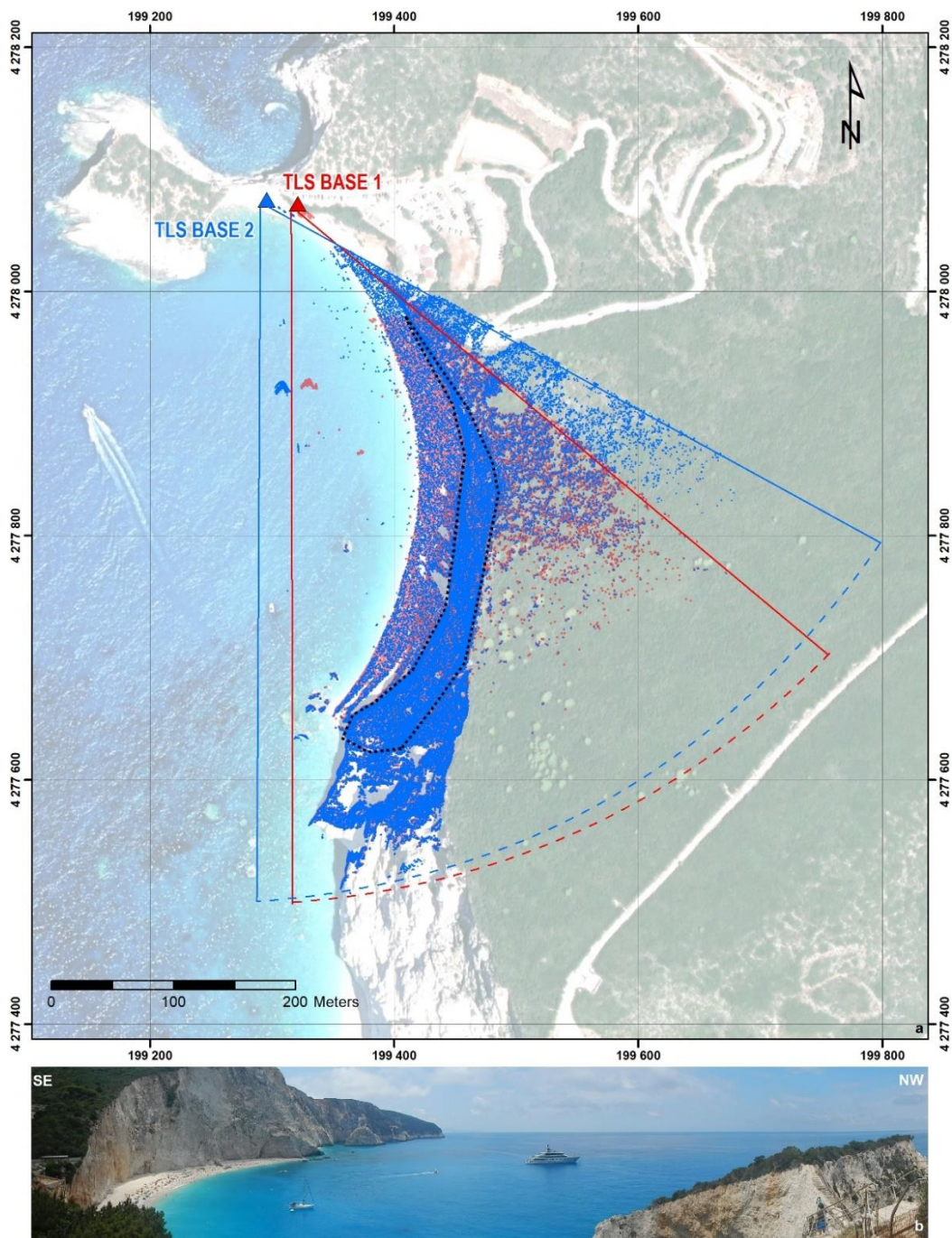
Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δυο στάσεις για τον σαρωτή, όπου και μετρήθηκαν οι συντεταγμένες της βάσης του σαρωτή για κάθε στάση και χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής (Πίν. 5.1). Η μορφολογία της περιοχής και το μεγάλο ύψος του πρανούς κατέστησαν αδύνατη την πραγματοποίηση στάσεων με τον σαρωτή από την παραλία καθώς επίσης και τη χρήση περισσότερων επίγειων σημείων ελέγχου. Η αποτύπωση του πρανούς πραγματοποιήθηκε σε μέση απόσταση 267 μέτρων από την πρώτη στάση και 290 μέτρων από τη δεύτερη στάση (Εικ. 5.3).

Πίνακας 5.1: Στοιχεία θέσεων τοποθέτησης του Σαρωτή.

Στάσεις Σαρωτή	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
1η Στάση	199.321,02	4.278.071,459	34,643
2η Στάση	199.295,6348	4.278.074,8313	31,787



Εικόνα 5.2. Θέσεις σαρωτή και μέτρηση των στοιχείων τους με τον εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας.



Εικόνα 5.3. (α) Οι δυο στάσεις με το σαρωτή (με κόκκινο χρώμα η 1η στάση και με μπλε η δεύτερη) τοποθετημένες στο χώρο με πραγματικές συντεταγμένες x, y, z στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (β) Πανοραμική φωτογραφία της παραλίας Πόρτο Κατσίκι. Στα δεξιά της εικόνας διακρίνεται ο επίγειος σαρωτής.

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με την εμβέλεια του σαρωτή λέιζερ να ορίζεται στα 570m (μέγιστη απόσταση), με ανάλυση στα 0,8mm ανά 10m (πολύ υψηλή).

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις ασκήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Cyclone Register 360, όπου και έγινε η ένωση των δυο στάσεων και των δυο νεφών σημείων αντίστοιχα (**Εικ. 5.4**).



Εικόνα 5.4. Ενοποίηση των δυο νεφών σημείων.

Η ένωση των δυο νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι επιτυγχάνεται η συνένωση τους. Η χρήση στόχων ως σημεία αναφοράς για την ένωση των δεδομένων ήταν αδύνατη λόγω της τοποθεσίας

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων ελέγχουμε την απόκλιση που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των δυο νεφών σημείων. Το σφάλμα της ενοποίησης των στάσεων σε ένα ενιαίο νέφος σημείων υπολογίστηκε 0,013m, η αλληλοεπικάλυψη υπολογίστηκε 90% και η σχετική ακαμψία του μοντέλου 51% (**Εικ. 5.5**).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αφαίρεση τυχόν θορύβων και ο καθαρισμός του τελικού νέφους σημείων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone 3DReshaper και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα για το βέλτιστο των αποτελεσμάτων.

Bundle Error 0.013 m ✓	
Overlap 90 % ✓	Strength 51 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.013 m ✓	Target Error --

Εικόνα 5.5. Αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων έχουμε σαν αποτέλεσμα:

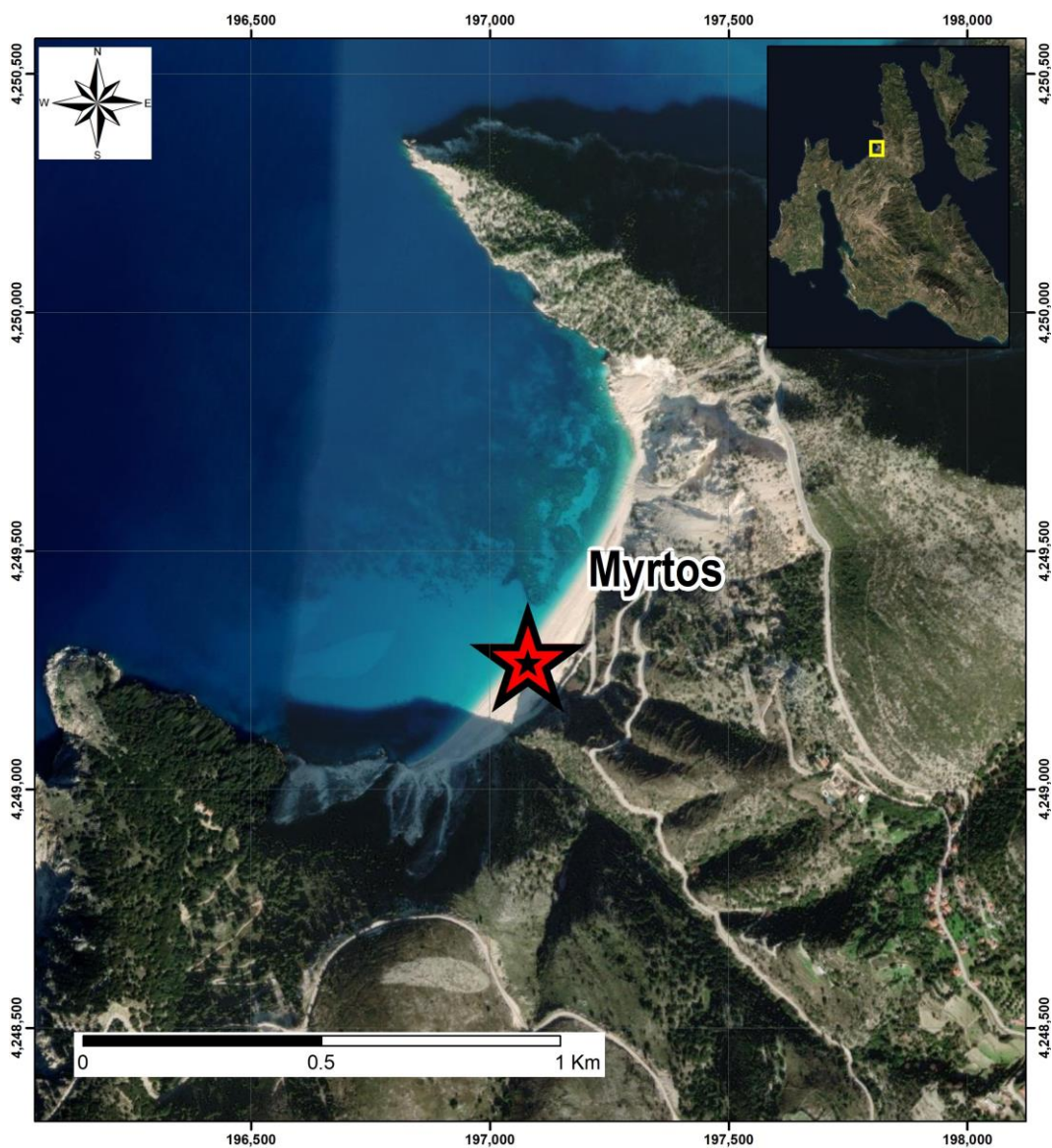
- Τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 99.270.566 σημεία.
- Εντοπισμό θέσεων δυνητικών καταπτώσεων
- Χάραξη εγκάρσιων τομών σε θέσεις υψηλής επικινδυνότητας

6. ΠΑΡΑΛΙΑ ΜΥΡΤΟΣ (Κεφαλονιά)

6.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Μύρτος βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, στο Δήμο Πυλαρέων, 30 km βόρεια του Αργοστολίου. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $38^{\circ}20'34.7''\text{N } 20^{\circ}32'09.2''\text{E}$ (Εικ. 6.1) και αποτελείται από ασβεστόλιθους του Κρητιδικού έως και του Ολιγόκαινου της ζώνης Παξών, καθώς και από μεταλλικά ιζήματα του Μειοκαίνου, με μέγιστη κλίση τις 35° .

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Μύρτος καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 918, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



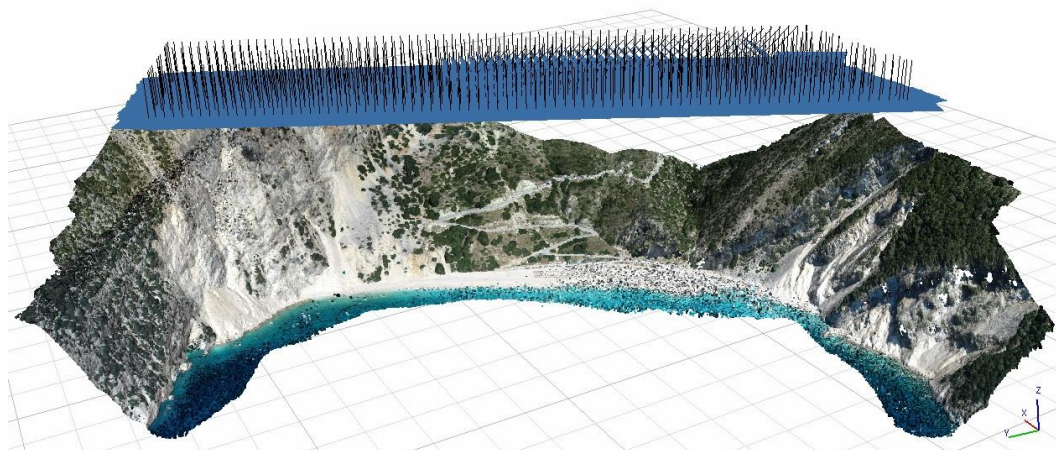
Εικόνα 6.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Μύρτος, Κεφαλονιά

6.2 Μεθοδολογία

Η αποτύπωση (Εικ. 6.2) ολοκληρώθηκε με το ΣμηΕΑ να κινείται οριζόντια πάνω από την περιοχή και με την κάμερα να είναι σε γωνία 60° σε σχέση με τον ορίζοντα, επιλέγοντας σαν μεθοδολογία αποτύπωσης την τρισδιάστατη λήψη, δημιουργώντας έτσι ένα δικτυωτό πλέγμα στην λήψη των αεροφωτογραφιών (Εικ. 6.3) και επιτυγχάνοντας πολύ υψηλή ανάλυση.



Εικόνα 6.2. Συναρμολόγηση εξοπλισμού πριν τη λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Μύρτος.



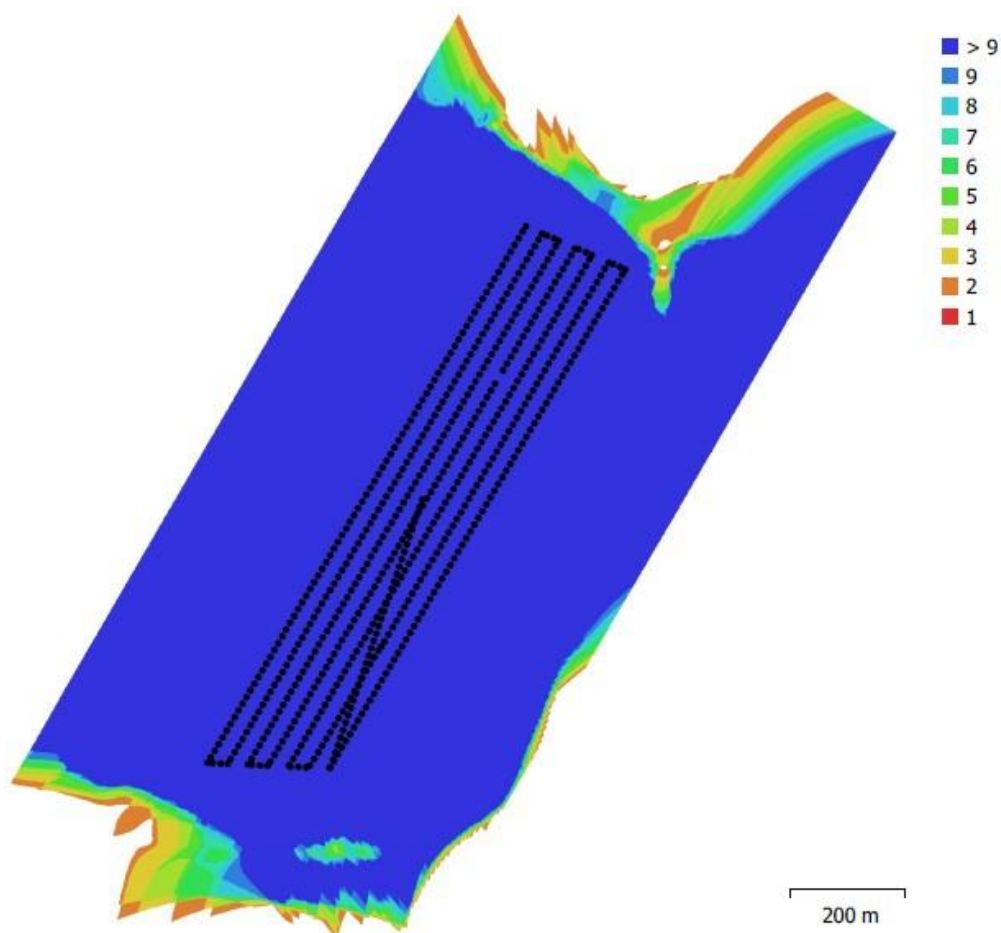
Εικόνα 6.3. Λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Μύρτος με πολύ υψηλή ανάλυση.

Από την αποτύπωση της περιοχής, ελήφθησαν συνολικά 595 αεροφωτογραφίες από σταθερό απόλυτο υψόμετρο 375 μέτρων, καλύπτοντας μια περιοχή με εμβαδόν 1,15 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Εικ. 6.4). Χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ τύπου DJI Phantom-4, εφοδιασμένο με κάμερα τύπου FC6310x με φακό εστιακής απόστασης 8,8 mm.

Καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των τελικών προϊόντων αποτέλεσε το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης (75%) των εικόνων τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος (Εικ. 6.5). Η εμφάνιση των ομόλογων σημείων σε μεγάλο αριθμό εικόνων, αφενός ενισχύει σημαντικά τη γεωμετρία κατά την επίλυση επιτρέποντας ακριβή υπολογισμό του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των λήψεων, αφετέρου αυξάνει την πιστότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής (Εικ. 6.6).

Number of images:	595	Camera stations:	595
Flying altitude:	375 m	Tie points:	53,579
Ground resolution:	9 cm/pix	Projections:	732,165
Coverage area:	1.15 km ²	Reprojection error:	1.04 pix

Εικόνα 6.4. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.



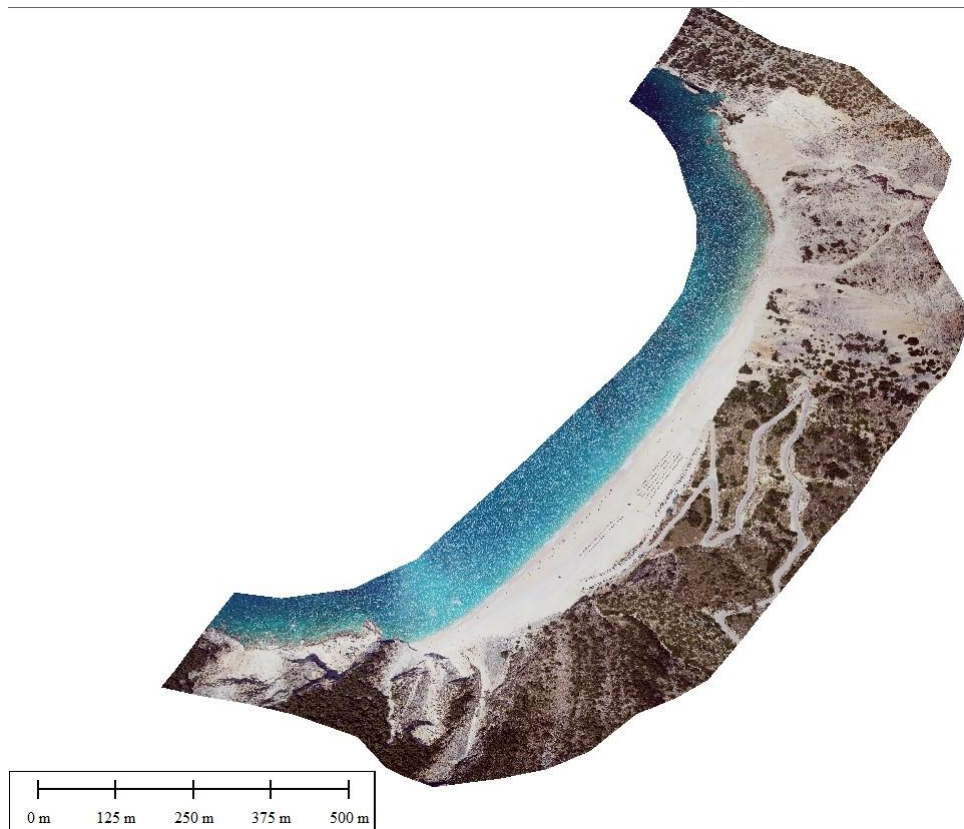
Εικόνα 6.5. Θέσεις λήψεων και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την κάλυψη της περιοχής από αριθμό αεροφωτογραφιών.

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3676.39	0.082	1.00	-0.00	0.08	-0.30	0.18	-0.19	-0.04	-0.10
Cx	-36.0164	0.025		1.00	-0.10	-0.02	0.02	-0.02	0.08	0.06
Cy	13.463	0.023			1.00	0.02	-0.01	0.00	-0.10	-0.05
K1	-0.262185	1.9e-05				1.00	-0.94	0.86	-0.04	0.00
K2	0.103002	3.1e-05					1.00	-0.98	0.06	0.02
K3	-0.0271777	1.6e-05						1.00	-0.06	-0.02
P1	-0.000218453	4.2e-07							1.00	-0.09
P2	-9.55518e-05	4.9e-07								1.00

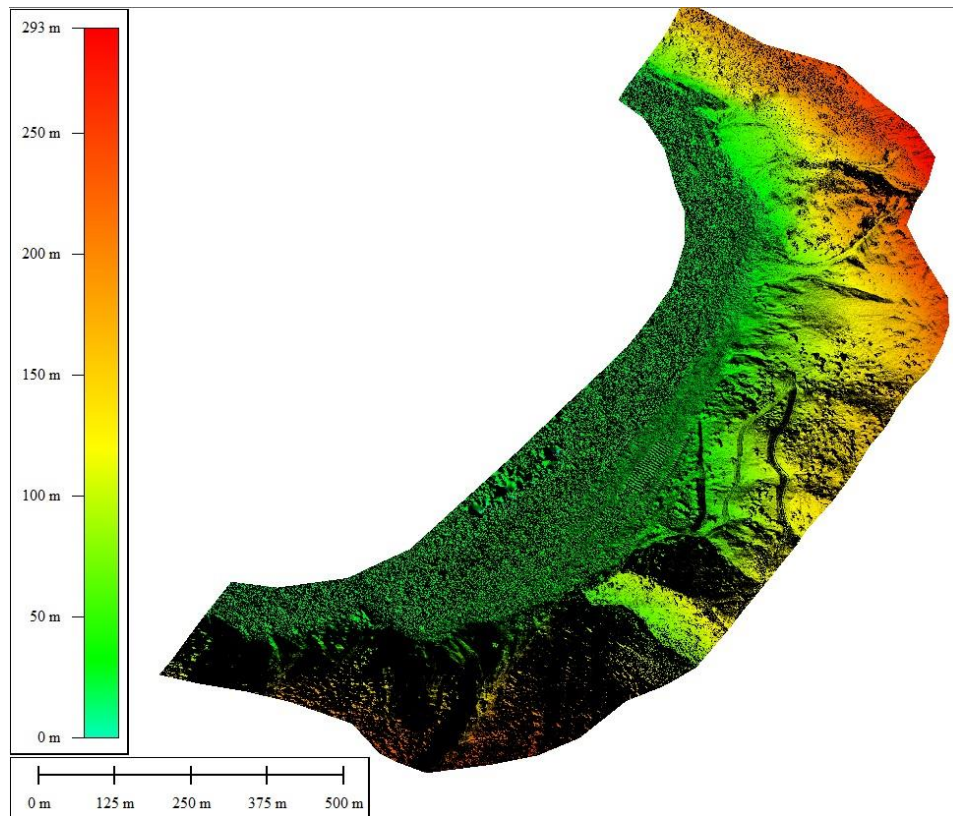
Εικόνα 6.6. Πίνακας επίλυσης παραμέτρων εξωτερικού προσανατολισμού.

Τα βήματα επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional v.1.7.5, είναι:

- Η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών (Agisoft, 2020). Το σύνολο των εικόνων (595) καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικ. 6.3**). Υπολογίζεται η θέση της φωτογραφικής μηχανής για την κάθε εικόνα ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται τα κοινά σημεία (53.579) στις φωτογραφίες που έχουν αλληλοεπικάλυψη.
- Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 77.455.077 σημεία.
- Ακολουθεί η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος πολυγώνων (polygon mesh) το οποίο προσομοιώνει την επιφάνεια του αντικειμένου με 12.366.772 όψεις.
- Η κατασκευή της υψής των εικόνων. Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθο-φωτο-χαρτών.
- Παράγεται ο τελικός ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 0,09 μέτρα και χρωματικό βάθος πραγματικού χρώματος 32-bit (**Εικ. 6.7**), σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- Παράγεται ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διακριτική ικανότητα 0,18 μέτρα με πυκνότητα σημείων 30,8 ανά τετραγωνικό μέτρο και χρωματικό βάθος 32-bit και μέγιστο υψόμετρο 350 μέτρα (**Εικ. 6.8**) σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 6.7. Ορθο-φωτο-μωσαϊκό που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.



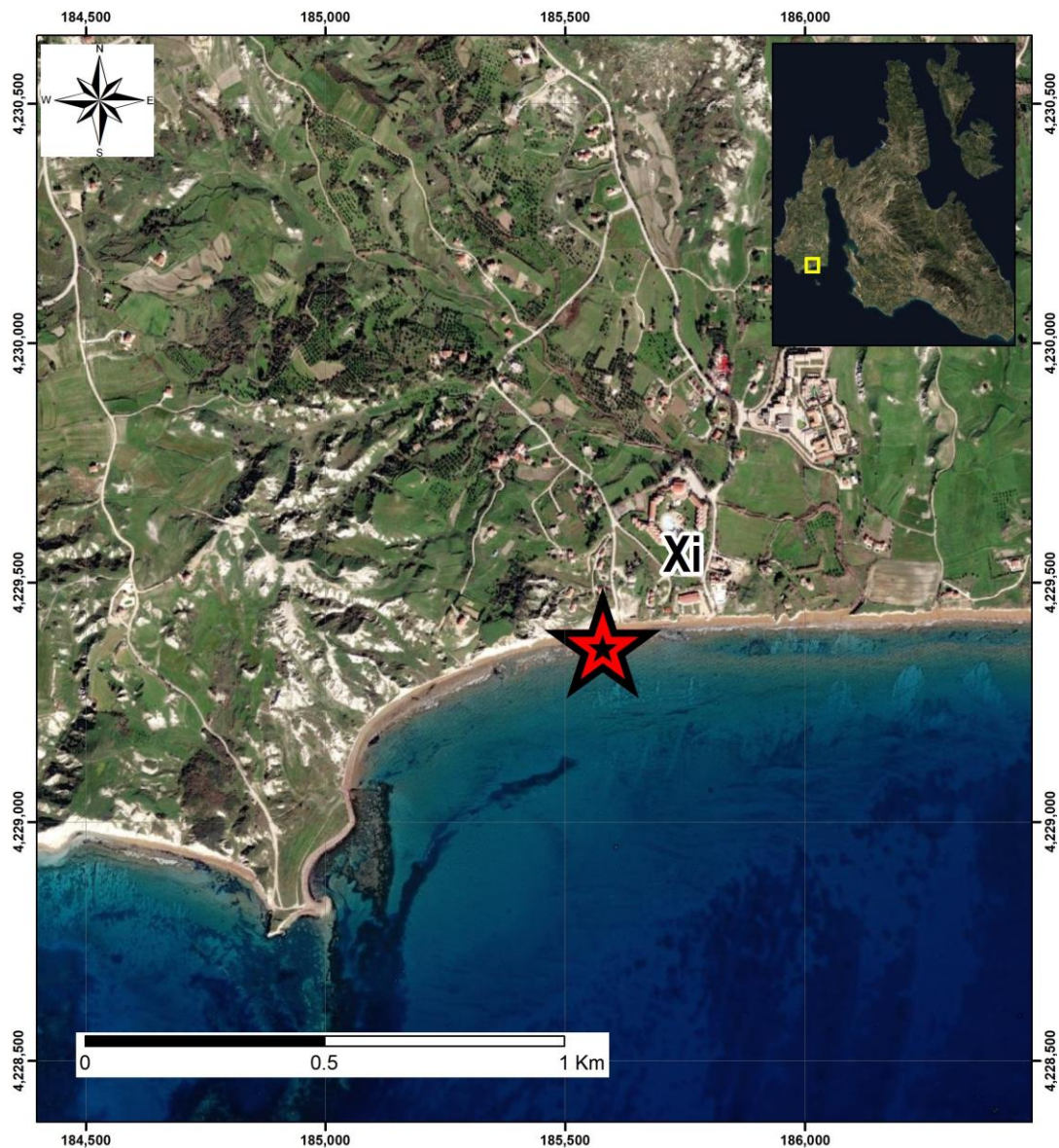
Εικόνα 6.8. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.

7. ΠΑΡΑΛΙΑ ΞΙ (Κεφαλονιά)

7.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Ξι βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, στο Δήμο Ληξουρίου, περίπου 8 km νότια του οικισμού. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $38^{\circ}09'37.7''\text{N}$ $20^{\circ}24'52.1''\text{E}$ (Εικ. 7.1) και αποτελείται από πλειο-πλειστοκαινικούς φαμμίτες, ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή, με κλίσεις που φτάνουν μέχρι και τις 70-80°.

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Ξι καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 934, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



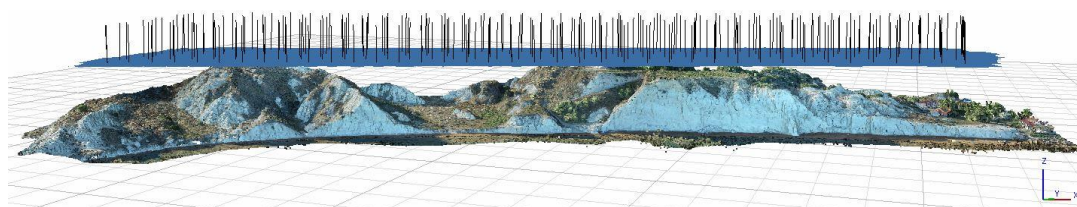
Εικόνα 7.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Ξι, Κεφαλονιά

7.2 Μεθοδολογία

Η τρισδιάστατη αποτύπωση της παραλίας Ξι πραγματοποιήθηκε και με τις δυο μεθόδους αποτύπωσης. Λόγω της πολυπλοκότητας της περιοχής, του πολύ μικρού πλάτους παραλίας και ταυτόχρονα του μεγάλου ύψους πρανούς πίσω από την παραλία, οδήγησε στην συνδυαστική αποτύπωσή της με τη χρήση ΣμηΕΑ καθώς και με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner με αποτέλεσμα το πολύ μεγάλης ανάλυσης τρισδιάστατο μοντέλο (3D model).

ι) Αποτύπωση με τη χρήση ΣμηΕΑ

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με το ΣμηΕΑ να κινείται οριζόντια πάνω από την περιοχή και με την κάμερα να είναι σε γωνία 60° σε σχέση με τον ορίζοντα, επιλέγοντας σαν μεθοδολογία αποτύπωσης την τρισδιάστατη λήψη, δημιουργώντας έτσι ένα δικτυωτό πλέγμα στην λήψη των αεροφωτογραφιών (**Εικ. 7.2**) και επιτυγχάνοντας πολύ υψηλή ανάλυση.



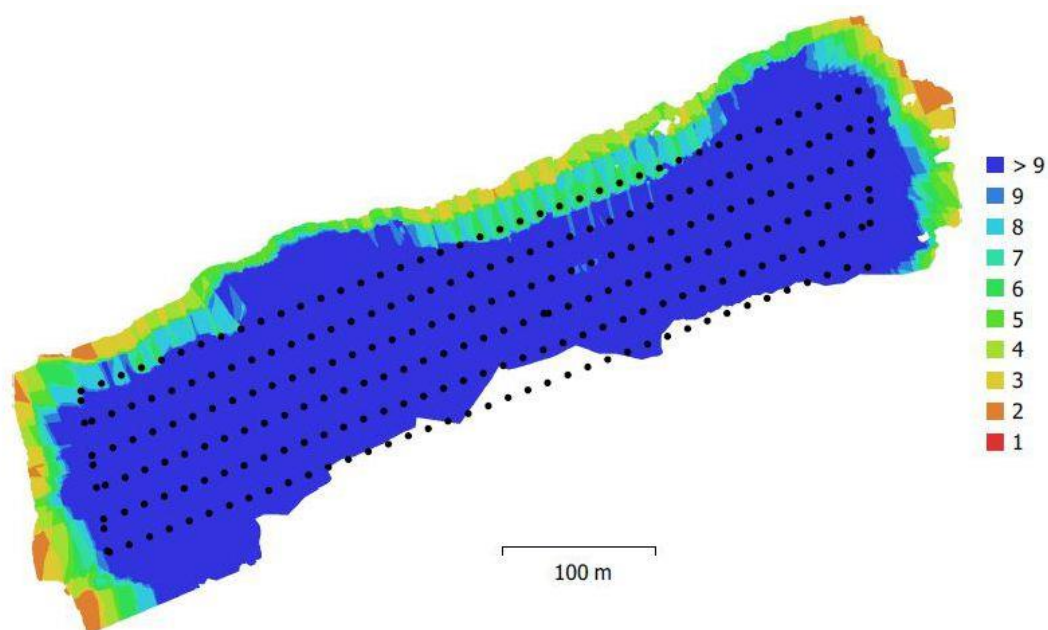
Εικόνα 7.2. Λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Ξι με πολύ υψηλή ανάλυση.

Από την αποτύπωση της περιοχής, ελήφθησαν συνολικά 248 αεροφωτογραφίες από σταθερό απόλυτο υψόμετρο 70.5 μέτρων, καλύπτοντας μια περιοχή με εμβαδόν 0,0952 τετραγωνικά χιλιόμετρα (**Εικ. 7.3**). Χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ τύπου DJI Phantom-4, εφοδιασμένο με κάμερα τύπου FC6310x με φακό εστιακής απόστασης 8,8 mm.

Καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των τελικών προϊόντων αποτέλεσε το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης (75%) των εικόνων τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος (**Εικ. 7.4**).

Number of images:	248	Camera stations:	248
Flying altitude:	70.5 m	Tie points:	472,569
Ground resolution:	1.69 cm/pix	Projections:	1,449,845
Coverage area:	0.0952 km ²	Reprojection error:	0.821 pix

Εικόνα 7.3. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.



Εικόνα 7.4. Θέσεις λήψεων και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την κάλυψη της περιοχής από αριθμό αεροφωτογραφιών.

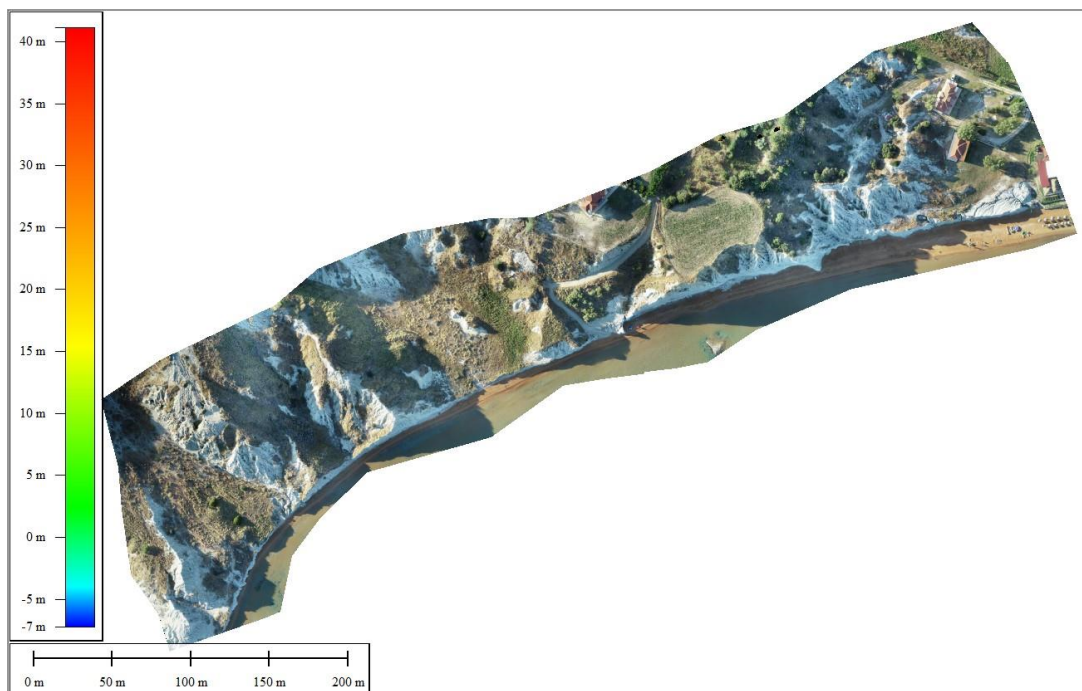
Η εμφάνιση των ομόλογων σημείων σε μεγάλο αριθμό εικόνων, αφενός ενισχύει σημαντικά τη γεωμετρία κατά την επίλυση επιτρέποντας ακριβή υπολογισμό του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των λήψεων, αφετέρου αυξάνει την πιστότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής (Εικ. 7.5).

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3702.93	0.72	1.00	0.08	0.47	-0.03	0.03	-0.95	0.64	-0.40	0.28	-0.19	-0.77
Cx	-38.7156	0.028		1.00	0.10	-0.02	-0.05	-0.07	0.05	-0.03	0.02	-0.10	-0.04
Cy	11.5817	0.037			1.00	-0.02	-0.03	-0.44	0.30	-0.18	0.13	-0.08	-0.30
B1	-0.213996	0.011				1.00	-0.01	0.03	-0.03	0.03	-0.03	0.01	-0.03
B2	0.759304	0.01					1.00	-0.03	0.02	-0.01	0.01	0.05	-0.02
K1	-0.269776	0.00011						1.00	-0.84	0.64	-0.52	0.20	0.73
K2	0.122366	0.00015							1.00	-0.95	0.88	-0.15	-0.50
K3	-0.0521461	0.00016								1.00	-0.98	0.09	0.31
K4	0.0112284	6.8e-05									1.00	-0.06	-0.22
P1	-0.000245609	7.9e-07										1.00	0.13
P2	-8.37701e-05	1.1e-06											1.00

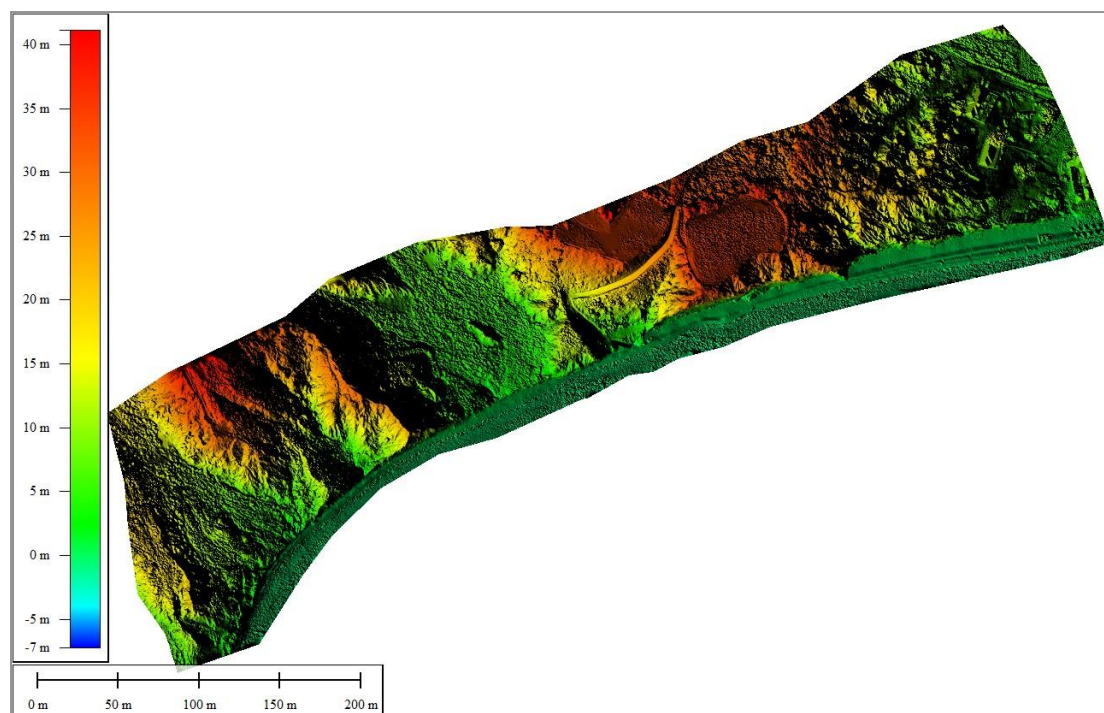
Εικόνα 7.5. Πίνακας επίλυσης παραμέτρων εξωτερικού προσανατολισμού.

Τα βήματα επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional v.1.7.5, είναι:

- Η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών (Agisoft, 2020). Το σύνολο των εικόνων (248) καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικ. 7.2**). Υπολογίζεται η θέση της φωτογραφικής μηχανής για την κάθε εικόνα ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται τα κοινά σημεία (472.569) στις φωτογραφίες που έχουν αλληλοεπικάλυψη.
- Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 123.099.015 σημεία.
- Ακολουθεί η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος πολυγώνων (polygon mesh) το οποίο προσομοιώνει την επιφάνεια του αντικειμένου με 19.709.733 όψεις.
- Η κατασκευή της υψής των εικόνων. Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθο-φωτο-χαρτών.
- Παράγεται ο τελικός ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 0,09 μέτρα και χρωματικό βάθος πραγματικού χρώματος 32-bit (**Εικ. 7.6**), σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- Παράγεται ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διακριτική ικανότητα 0,18 μέτρα με πυκνότητα σημείων 30,8 ανά τετραγωνικό μέτρο και χρωματικό βάθος 32-bit και μέγιστο υψόμετρο 350 μέτρα (**Εικ. 7.7**) σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 7.6. Ορθο-φωτο-μωσαϊκό που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.



Εικόνα 7.7. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.

ii) Αποτύπωση με τη χρήση σαρωτή λέιζερ

Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία Ξι πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner, όπου δημιουργήθηκαν νέφη της τάξης των 100.000.000 σημείων, που αποτυπώνουν την ακριβή μορφολογία του πρανούς.

Στην εργασία υπαίθρου συμπεριλαμβάνεται η τοποθέτηση σημείων ελέγχου και η μέτρηση των τοπικών συντεταγμένων τους με Total Station και εν συνεχεία μετατροπή τους με εξειδικευμένα λογισμικά (Leica Infinity) σε πραγματικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87, μετά από επίλυση με σημεία ελέγχου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (Εικ. 7.8).

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις στάσεις με τον σαρωτή για την αποτύπωση ολόκληρου του πρανούς με μεγάλη ακρίβεια (Πίν. 7.1) με αποτέλεσμα την συλλογή τεσσάρων νεφών σημείων με 93.054.669, 104.722.777, 45.930.234 και 168.345.588 σημεία αντίστοιχα. Επίσης, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες οκτώ σημείων ελέγχου τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ένωση των δεδομένων των τεσσάρων στάσεων (Πίν. 7.2). Η αποτύπωση του πρανούς πραγματοποιήθηκε σε μέση απόσταση 15 μέτρων από την πρώτη και τη δεύτερη στάση, 80 μέτρων από τη τρίτη στάση, όπου χρησιμοποιήθηκε μια νησίδα (TLS Base 3) για την τοποθέτηση του σαρωτή και 10 μέτρων από την τέταρτη στάση (Εικ. 7.9).

Πίνακας 7.1: Στοιχεία θέσεων τοποθέτησης του Σαρωτή.

Στάσεις Σαρωτή	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
TLS Base 1	185.506,6472	4.229.387,985	0,5958
TLS Base 2	185.465,1011	4.229.377,397	0,6498
TLS Base 3	185.358,3875	4.229.316,923	0,7791
TLS Base 4	185.406,1261	4.229.363,771	0,7449

Πίνακας 7.2: Στοιχεία θέσεων σημείων ελέγχου.

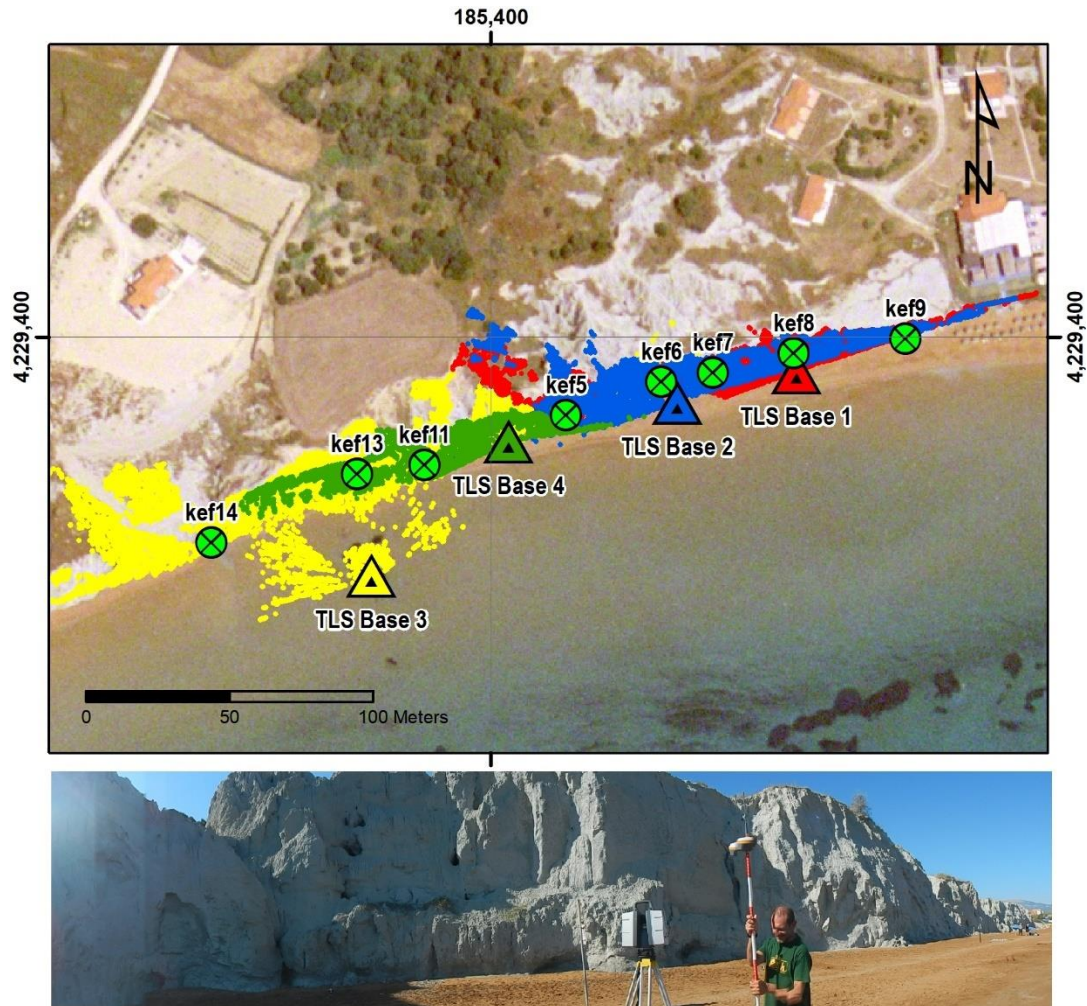
Σημεία Ελέγχου	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
kef5	4.229.372,391	185.426,2741	1,0817
kef6	4.229.384,084	185.459,5394	1,4441
kef7	4.229.387,397	185.477,4965	1,4353
kef8	4.229.394,081	185.505,6263	1,4704
kef9	4.229.399,214	185.544,6198	1,1814
kef11	4.229.355,177	185.376,9187	0,8835
kef13	4.229.351,854	185.353,4933	1,0938
kef14	4.229.327,967	185.302,6126	1,0749



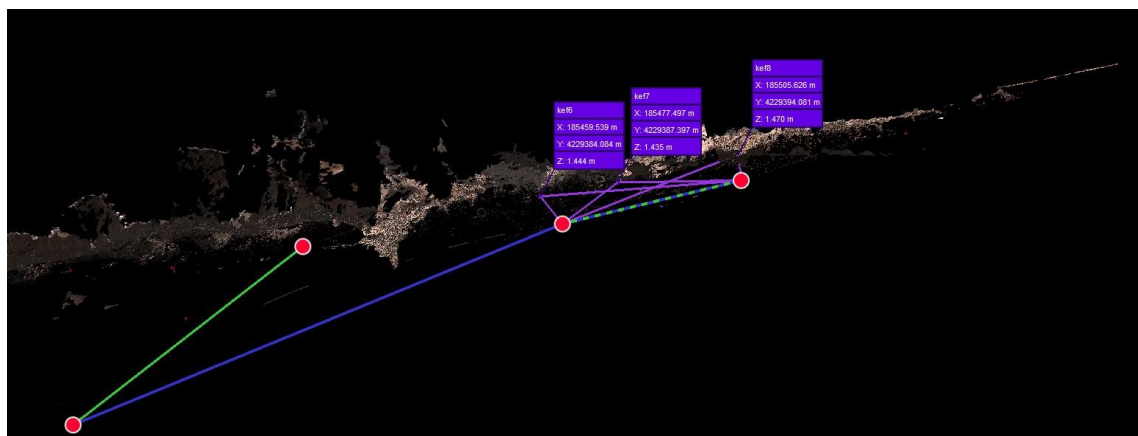
Εικόνα 7.8. Θέσεις στάσεων του σαρωτή και σημεία ελέγχου στην παραλία

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με την εμβέλεια του σαρωτή λέιζερ να ορίζεται στα 120m (μέγιστη απόσταση) για την πρώτη, τη δεύτερη και την τέταρτη στάση και στα 270m για την τρίτη στάση (νησιδα), με ανάλυση στα 1,6mm ανά 10m (πολύ υψηλή).

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις ασκήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Cyclone Register 360, όπου και έγινε η ένωση των τεσσάρων στάσεων και των τεσσάρων νεφών σημείων αντίστοιχα. (Εικ. 7.10).



Εικόνα 7.9. (α) Οι τέσσερις στάσεις με το σαρωτή (με κόκκινο χρώμα η 1η στάση, με μπλε η δεύτερη, με κίτρινο χρώμα η 3η στάση και με πράσινο χρώμα η 4η στάση) τοποθετημένες στο χώρο με πραγματικές συντεταγμένες x,y,z στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (β) Πανοραμική φωτογραφία της παραλίας Ξι.



Εικόνα 7.10. Ενοποίηση των τεσσάρων νεφών σημείων

Η ένωση των πέντε νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Match Targets, όπου η χρήση πολλαπλών στόχων και με τη χρήση κοινών στόχων (τουλάχιστον τρεις) ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στάσεις κάθε φορά (1^η με 2^η) επιτύγχανε τη συνένωση των δύο πρώτων νεφών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι βελτιστοποιήθηκε η συνένωση των δεδομένων (2^η με 3^η και 3^η με 4^η). Η χρήση στόχων ήταν απαραίτητη και για την γεωαναφορά του τελικού νέφους σημείων.

Η ένωση των τεσσάρων νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι επιτυγχάνεται η συνένωση τους. Επιπλέον, ήταν εφικτή και η χρήση στόχων ως σημεία αναφοράς για την ένωση των δεδομένων η οποία έγινε για τη βελτιστοποίηση της γεωαναφοράς των δεδομένων.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων ελέγχουμε την απόκλιση που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των δυο νεφών σημείων. Το σφάλμα της ενοποίησης των στάσεων σε ένα ενιαίο νέφος σημείων υπολογίστηκε 0,005m, η αλληλοεπικάλυψη υπολογίστηκε 60% και η σχετική ακαμψία του μοντέλου 57% (Εικ. 7.11).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αφαίρεση τυχόν θορύβων και ο καθαρισμός του τελικού νέφους σημείων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone 3DReshaper και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα για το βέλτιστο των αποτελεσμάτων.

Bundle Error 0.005 m ✓	
Overlap 60 % ✓	Strength 57 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.005 m ✓	Target Error 0.006 m ✓

Εικόνα 7.11. Αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων έχουμε σαν αποτέλεσμα:

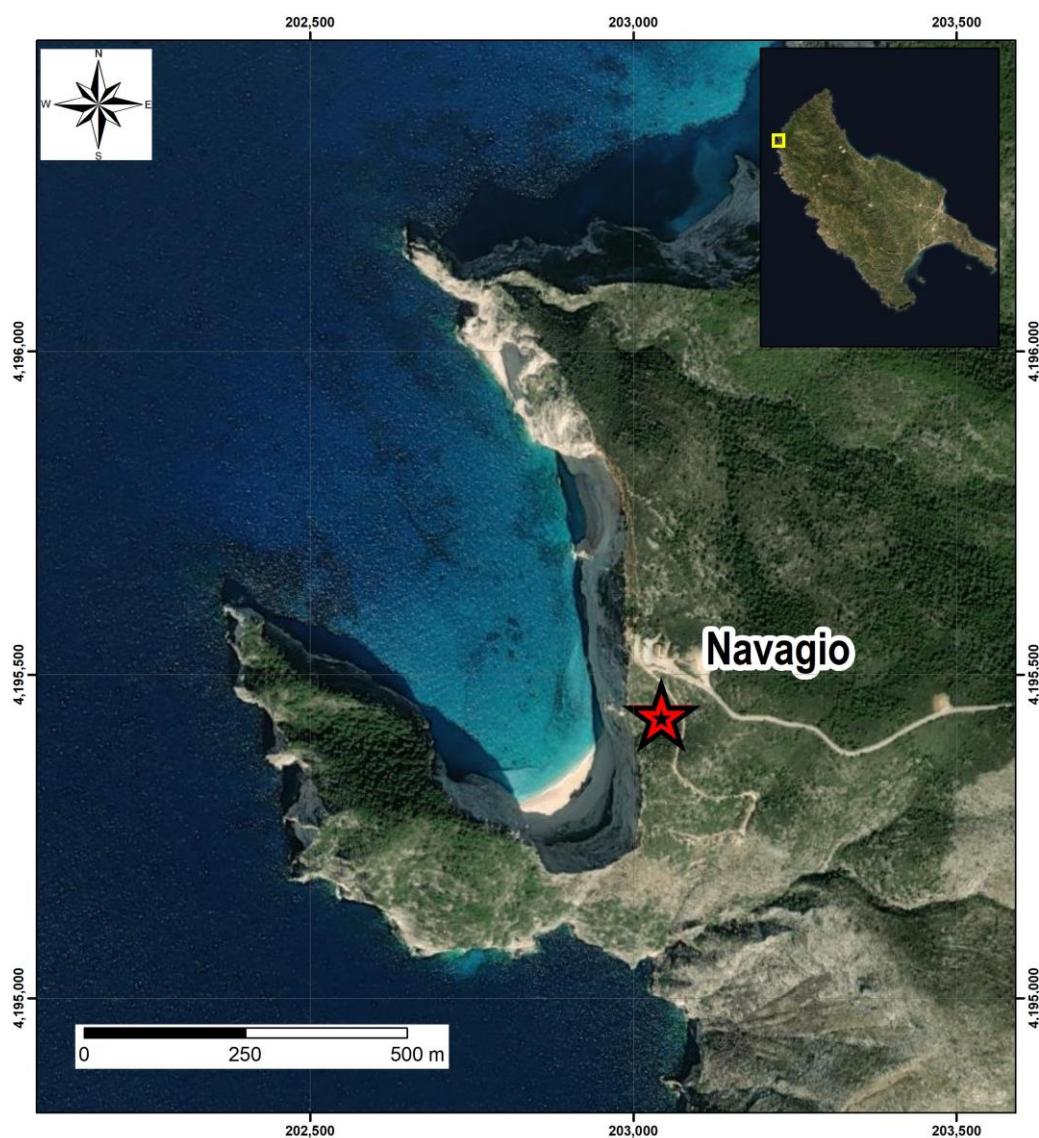
- Τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 333.467.303 σημεία.
- Εντοπισμό θέσεων δυνητικών καταπτώσεων
- Χάραξη εγκάρσιων τομών σε θέσεις υψηλής επικινδυνότητας

8. ΠΑΡΑΛΙΑ ΝΑΥΑΓΙΟ (Ζάκυνθος)

8.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Ναυάγιο βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου Ζακύνθου, νοτιοδυτικά του οικισμού Βολίμες. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $37^{\circ}51'33.6''\text{N}$ $20^{\circ}37'30.4''\text{E}$ (Εικ. 8.1) και η προσέγγιση γίνεται μόνο μέσω θαλάσσης. Αποτελείται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Παξών και με κλίσεις που μπορεί να φτάσουν μέχρι και τις 80° .

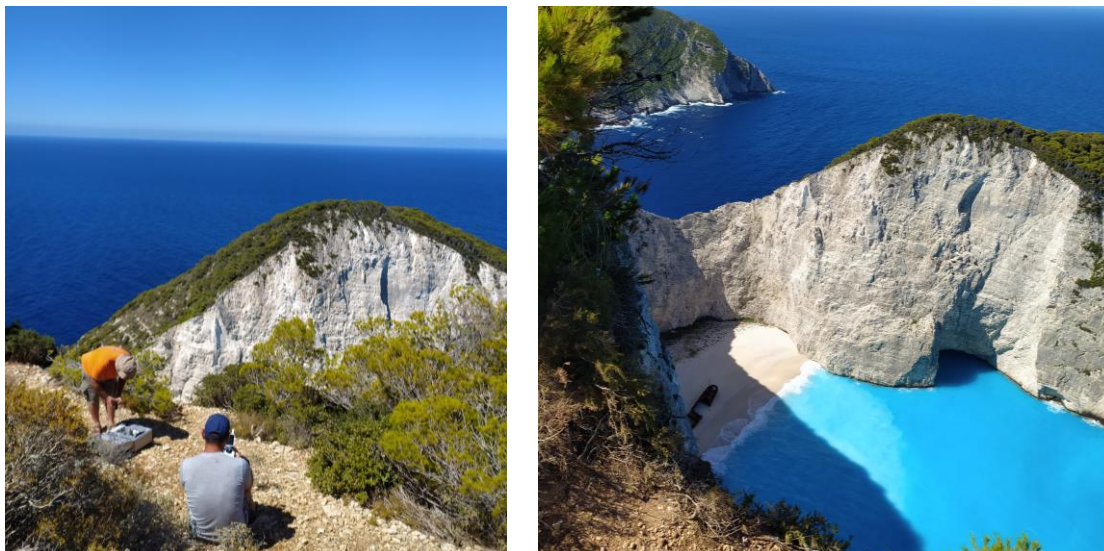
Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Ναυάγιο καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 726, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



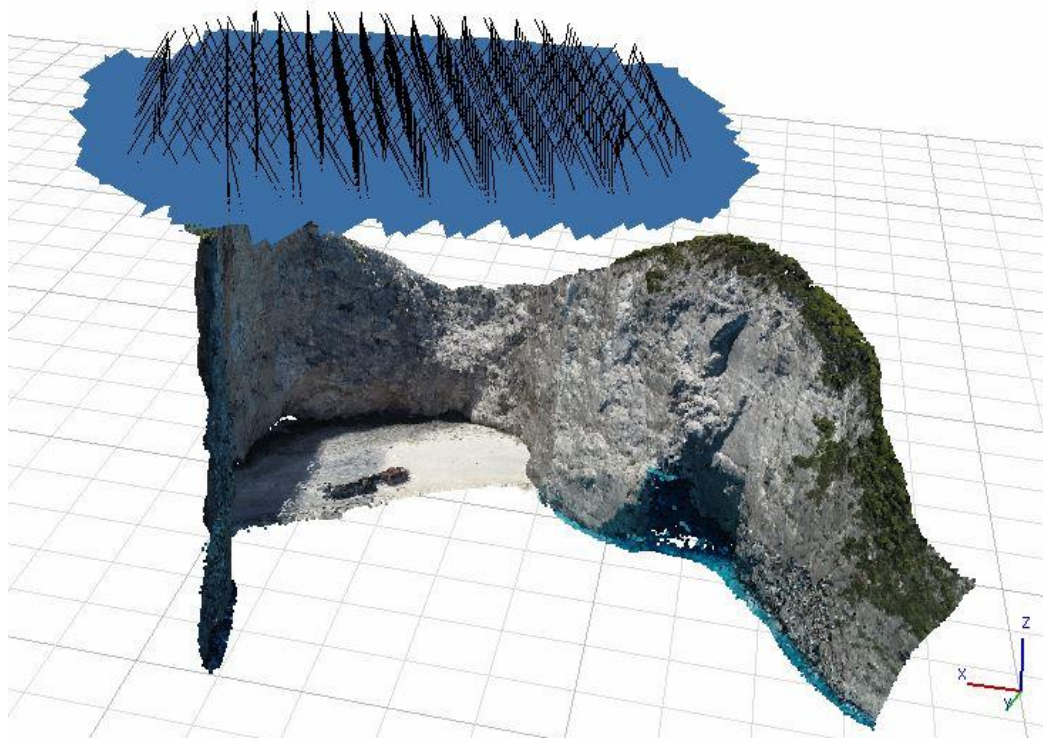
Εικόνα 8.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Ναυάγιο, Ζάκυνθος

8.2 Μεθοδολογία

Η αποτύπωση (Εικ. 8.2) ολοκληρώθηκε με το ΣμηΕΑ να κινείται οριζόντια πάνω από την περιοχή και με την κάμερα να είναι σε γωνία 60° σε σχέση με τον ορίζοντα, επιλέγοντας σαν μεθοδολογία αποτύπωσης την τρισδιάστατη λήψη, δημιουργώντας έτσι ένα δικτυωτό πλέγμα στην λήψη των αεροφωτογραφιών (Εικ. 8.3) και επιτυγχάνοντας πολύ υψηλή ανάλυση.



Εικόνα 8.2. Εργασία πεδίου στη θέση απογείωσης του ΣμηΕΑ και πανοραμική εικόνα της περιοχής μελέτης.



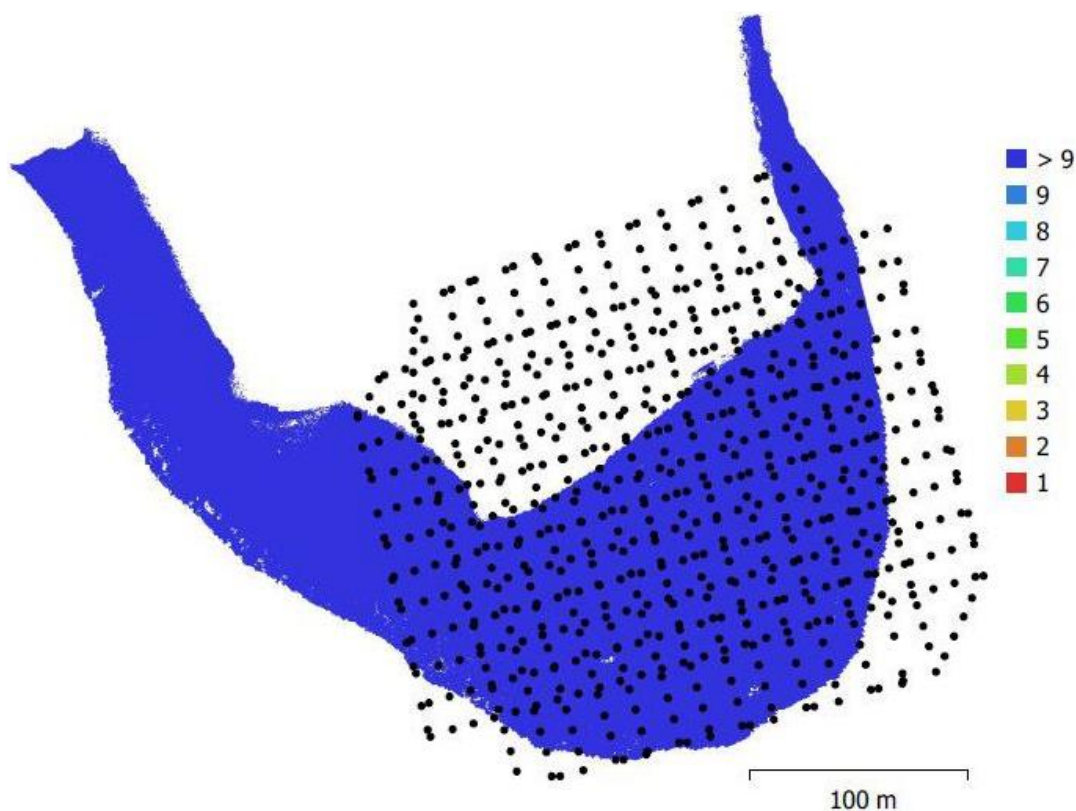
Εικόνα 8.3. Λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Ναυαγιο με πολύ υψηλή ανάλυση.

Από την αποτύπωση της περιοχής, ελήφθησαν συνολικά 706 αεροφωτογραφίες από σταθερό απόλυτο υψόμετρο 192 μέτρων, καλύπτοντας μια περιοχή με εμβαδόν 0.0475 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Εικ. 8.4). Χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ τύπου DJI Phantom-4, εφοδιασμένο με κάμερα τύπου FC6310x με φακό εστιακής απόστασης 8,8 mm.

Number of images:	706	Camera stations:	706
Flying altitude:	192 m	Tie points:	378,777
Ground resolution:	4.37 cm/pix	Projections:	2,564,328
Coverage area:	0.0475 km ²	Reprojection error:	1.32 pix

Εικόνα 8.4. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.

Καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των τελικών προϊόντων αποτέλεσε το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης (75%) των εικόνων τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος (Εικ. 8.5). Η εμφάνιση των ομόλογων σημείων σε μεγάλο αριθμό εικόνων, αφενός ενισχύει σημαντικά τη γεωμετρία κατά την επίλυση επιτρέποντας ακριβή υπολογισμό του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των λήψεων, αφετέρου αυξάνει την πιστότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής (Εικ. 8.6).



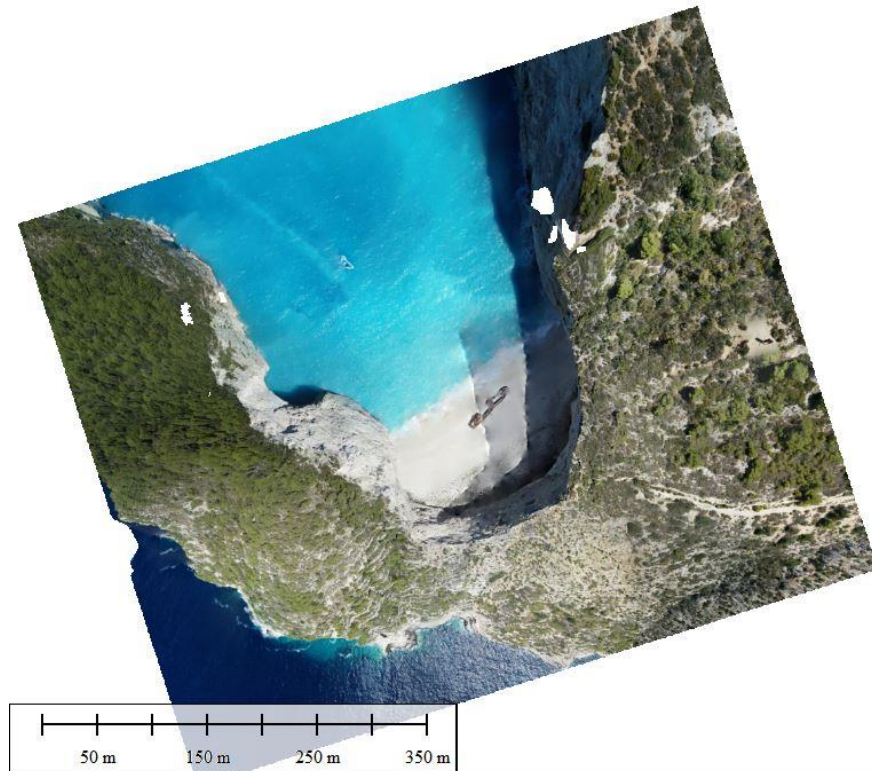
Εικόνα 8.5. Θέσεις λήψεων και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την κάλυψη της περιοχής από αριθμό αεροφωτογραφιών.

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3696.58	0.042	1.00	-0.00	-0.90	0.69	0.03	-0.42	0.27	-0.22	0.20	-0.06	0.79
Cx	-34.7163	0.026		1.00	0.01	-0.01	-0.16	-0.01	0.01	-0.00	-0.00	0.36	0.02
Cy	10.7611	0.059			1.00	-0.78	-0.04	0.20	-0.05	0.03	-0.02	0.07	-0.85
B1	-0.590561	0.015				1.00	-0.00	-0.19	0.03	0.00	-0.01	-0.06	0.88
B2	0.713279	0.006					1.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.28	0.02
K1	-0.268079	2.8e-05						1.00	-0.96	0.90	-0.85	0.02	-0.20
K2	0.120788	8.9e-05							1.00	-0.98	0.95	-0.01	0.04
K3	-0.051654	0.00011								1.00	-0.99	0.01	-0.01
K4	0.0114046	4.7e-05									1.00	-0.02	0.00
P1	-0.000224938	5.8e-07										1.00	-0.07
P2	-6.30772e-05	2.5e-06											1.00

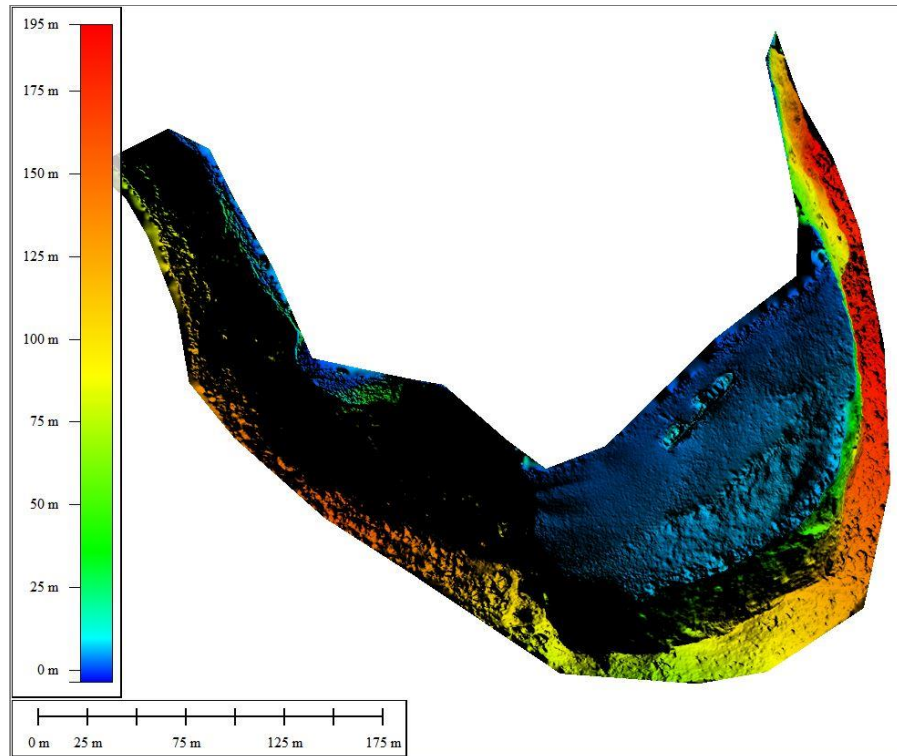
Εικόνα 8.6. Πίνακας επίλυσης παραμέτρων εξωτερικού προσανατολισμού.

Τα βήματα επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional v.1.7.5, είναι:

- Η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών (Agisoft, 2020). Το σύνολο των εικόνων (706) καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικ. 8.3**). Υπολογίζεται η θέση της φωτογραφικής μηχανής για την κάθε εικόνα ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται τα κοινά σημεία (378.777) στις φωτογραφίες που έχουν αλληλοεπικάλυψη.
- Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 29.833.369 σημεία.
- Ακολουθεί η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος πολυγώνων (polygon mesh) το οποίο προσομοιώνει την επιφάνεια του αντικειμένου με 5.966.673 όψεις.
- Η κατασκευή της υφής των εικόνων. Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθο-φωτο-χαρτών.
- Παράγεται ο τελικός ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 0.04 μέτρα και χρωματικό βάθος πραγματικού χρώματος 32-bit (**Εικ. 8.7**), σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- Παράγεται ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διακριτική ικανότητα 0.08 μέτρα με πυκνότητα σημείων 131 ανά τετραγωνικό μέτρο και χρωματικό βάθος 32-bit και μέγιστο υψόμετρο 200 μέτρα (**Εικ. 8.8**) σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 8.7. Ορθο-φωτο-μωσαϊκό που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.



Εικόνα 8.8. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.

9. ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΑΛΑΜΑΚΙ - Crystal (Ζάκυνθος)

9.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η παραλία Καλαμάκι - Crystal βρίσκεται στο νότιο τμήμα της νήσου Ζακύνθου, στον κόλπο του Λαγανά και σε απόσταση 6 km από την πόλη της Ζακύνθου. Πιο συγκεκριμένα, η τοποθεσία της παραλίας βρίσκεται στη θέση $37^{\circ}44'13.9''\text{N}$ $20^{\circ}54'26.1''\text{E}$ (Εικ. 9.1) και αποτελείται από μειοκαινικούς ψαμμίτες, ιλυόλιθους και μάργες της ζώνης Παξών με κλίσεις της τάξης των $35-45^{\circ}$.

Σύμφωνα με το παραδοτέο Π1.7.1. Έκθεση Επικίνδυνων Παραλιών όπου αναλύθηκαν οι θέσεις των πιο επικίνδυνων παραλιών όπως καταγράφηκαν κατά την έρευνα πεδίου, η παραλία Καλαμάκι καταγράφηκε στη χωρική βάση δεδομένων με κωδικό (object ID) 672, ως μια από τις πλέον ευάλωτες παράκτιες γεωμορφές.



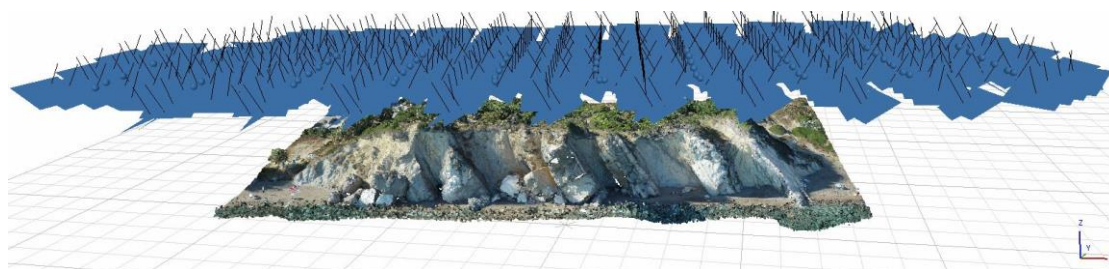
Εικόνα 9.1. Γεωγραφική τοποθέτηση της παραλίας Καλαμάκι - Crystal, Ζάκυνθος

9.2 Μεθοδολογία

Η τρισδιάστατη αποτύπωση της παραλίας Crystal πραγματοποιήθηκε και με τις δυο μεθόδους αποτύπωσης. Λόγω της πολυπλοκότητας της περιοχής, του πολύ μικρού πλάτους παραλίας και ταυτόχρονα του μεγάλου ύψους πρανούς πίσω από την παραλία, οδήγησε στην συνδυαστική αποτύπωσή της με τη χρήση ΣμηΕΑ καθώς και με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner με αποτέλεσμα το πολύ μεγάλης ανάλυσης τρισδιάστατο μοντέλο (3D model).

ι) Αποτύπωση με τη χρήση ΣμηΕΑ

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με το ΣμηΕΑ να κινείται οριζόντια πάνω από την περιοχή και με την κάμερα να είναι σε γωνία 60° σε σχέση με τον ορίζοντα, επιλέγοντας σαν μεθοδολογία αποτύπωσης την τρισδιάστατη λήψη, δημιουργώντας έτσι ένα δικτυωτό πλέγμα στην λήψη των αεροφωτογραφιών (**Εικ. 9.2**) και επιτυγχάνοντας πολύ υψηλή ανάλυση.



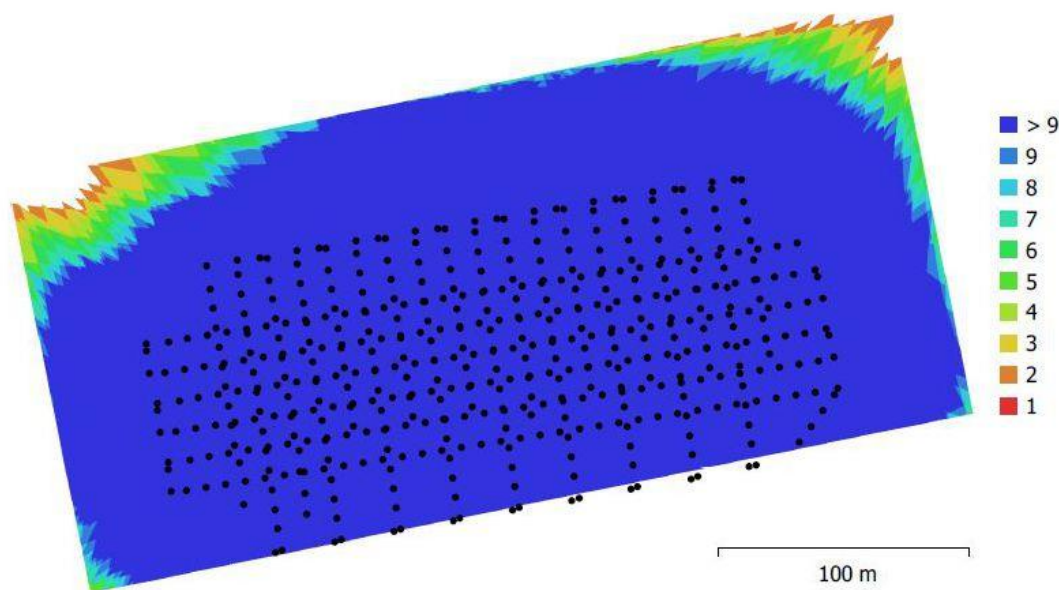
Εικόνα 9.2. Λήψη αεροφωτογραφιών στην παραλία Ξι με πολύ υψηλή ανάλυση.

Από την αποτύπωση της περιοχής, ελήφθησαν συνολικά 540 αεροφωτογραφίες από σταθερό απόλυτο υψόμετρο 48,7 μέτρων, καλύπτοντας μια περιοχή με εμβαδόν 0,0591 τετραγωνικά χιλιόμετρα (**Εικ. 9.3**). Χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ τύπου DJI Phantom-4, εφοδιασμένο με κάμερα τύπου FC6310x με φακό εστιακής απόστασης 8,8 mm.

Καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των τελικών προϊόντων αποτέλεσε το μεγάλο ποσοστό επικάλυψης (75%) των εικόνων τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος (**Εικ. 9.4**). Η εμφάνιση των ομόλογων σημείων σε μεγάλο αριθμό εικόνων, αφενός ενισχύει σημαντικά τη γεωμετρία κατά την επίλυση επιτρέποντας ακριβή υπολογισμό του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού των λήψεων, αφετέρου αυξάνει την πιστότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής (**Εικ. 9.5**).

Number of images:	540	Camera stations:	487
Flying altitude:	48.7 m	Tie points:	313,170
Ground resolution:	1.19 cm/pix	Projections:	1,077,055
Coverage area:	0.0591 km ²	Reprojection error:	0.657 pix

Εικόνα 9.3. Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας.



Εικόνα 9.4. Θέσεις λήψεων και κατηγοριοποίηση ανάλογα με την κάλυψη της περιοχής από αριθμό αεροφωτογραφιών.

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3693.86	0.04	1.00	0.01	-0.96	-0.17	0.09	-0.10	-0.02	0.56
Cx	-37.051	0.015		1.00	-0.03	0.01	-0.02	0.01	0.24	0.02
Cy	10.1796	0.045			1.00	0.03	0.00	0.01	0.01	-0.48
K1	-0.263776	7.7e-06				1.00	-0.96	0.90	-0.00	-0.18
K2	0.103931	1.6e-05					1.00	-0.98	-0.01	0.07
K3	-0.0275624	9.8e-06						1.00	0.01	-0.07
P1	-0.000193336	2.9e-07							1.00	0.02
P2	-3.4623e-05	6.4e-07								1.00

Εικόνα 9.5. Πίνακας επίλυσης παραμέτρων εξωτερικού προσανατολισμού.

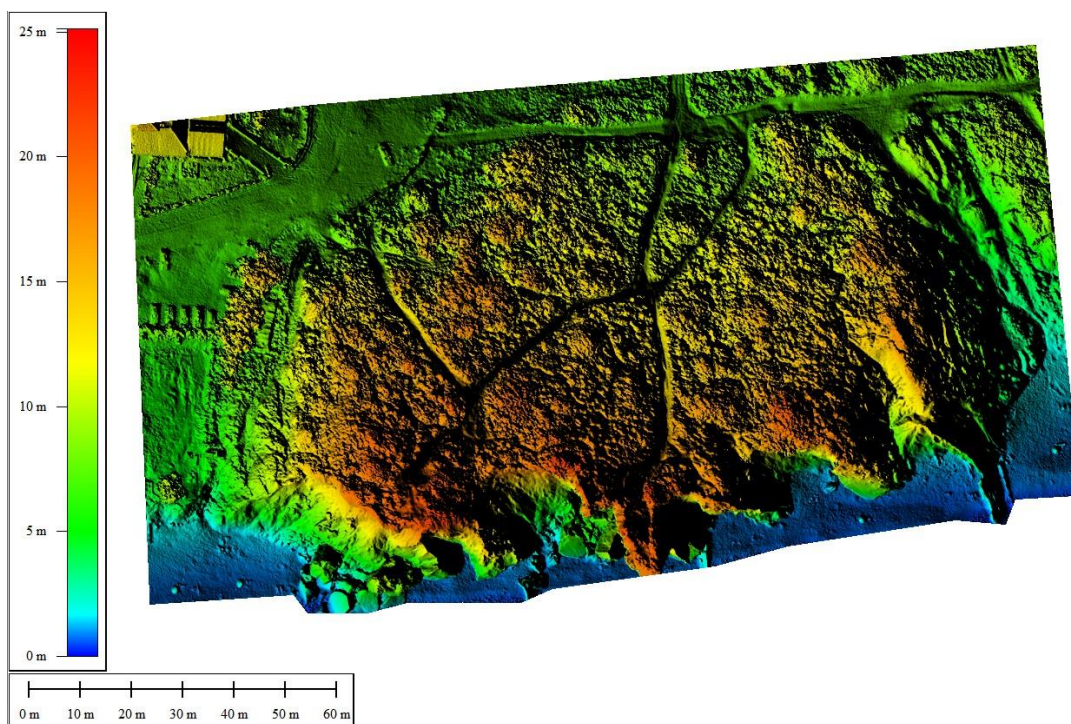
Τα βήματα επεξεργασίας των αεροφωτογραφιών μέσω του λογισμικού Agisoft Metashape Professional v.1.7.5, είναι:

- Η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών (Agisoft, 2020). Το σύνολο των εικόνων (540) καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικ. 9.2**). Υπολογίζεται η θέση της φωτογραφικής μηχανής για την κάθε εικόνα ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται τα κοινά σημεία (313.170) στις φωτογραφίες που έχουν αλληλοεπικάλυψη.
- Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 69.940.408 σημεία.

- Ακολουθεί η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος πολυγώνων (polygon mesh) το οποίο προσομοιώνει την επιφάνεια του αντικειμένου με 14.426.587 όψεις.
- Η κατασκευή της υφής των εικόνων. Μετά τη δημιουργία της γεωμετρίας (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθο-φωτο-χαρτών.
- Παράγεται ο τελικός ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 0,01 μέτρα και χρωματικό βάθος πραγματικού χρώματος 32-bit (**Εικ. 9.6**), σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- Παράγεται ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διακριτική ικανότητα 0,02 μέτρα με πυκνότητα σημείων 0,178 ανά τετραγωνικό εκατοστό και χρωματικό βάθος 32-bit και μέγιστο υψόμετρο 47 μέτρα (**Εικ. 9.7**) σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.



Εικόνα 9.6. Ορθο-φωτο-μωσαϊκό που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.



Εικόνα 9.7. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις αεροφωτογραφίες.

ii) Αποτύπωση με τη χρήση σαρωτή λέιζερ

Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία Crystal πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Terrestrial Laser Scanner, όπου δημιουργήθηκαν νέφη της τάξης των 15.000.000 σημείων, που αποτυπώνουν την ακριβή μορφολογία του πρανούς.

Στην εργασία υπαίθρου συμπεριλαμβάνεται η τοποθέτηση σημείων ελέγχου και η μέτρηση των τοπικών συντεταγμένων τους με Total Station και εν συνεχεία μετατροπή τους με εξειδικευμένα λογισμικά (Leica Infinity) σε πραγματικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87, μετά από επίλυση με σημεία ελέγχου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (**Εικ. 9.10**).

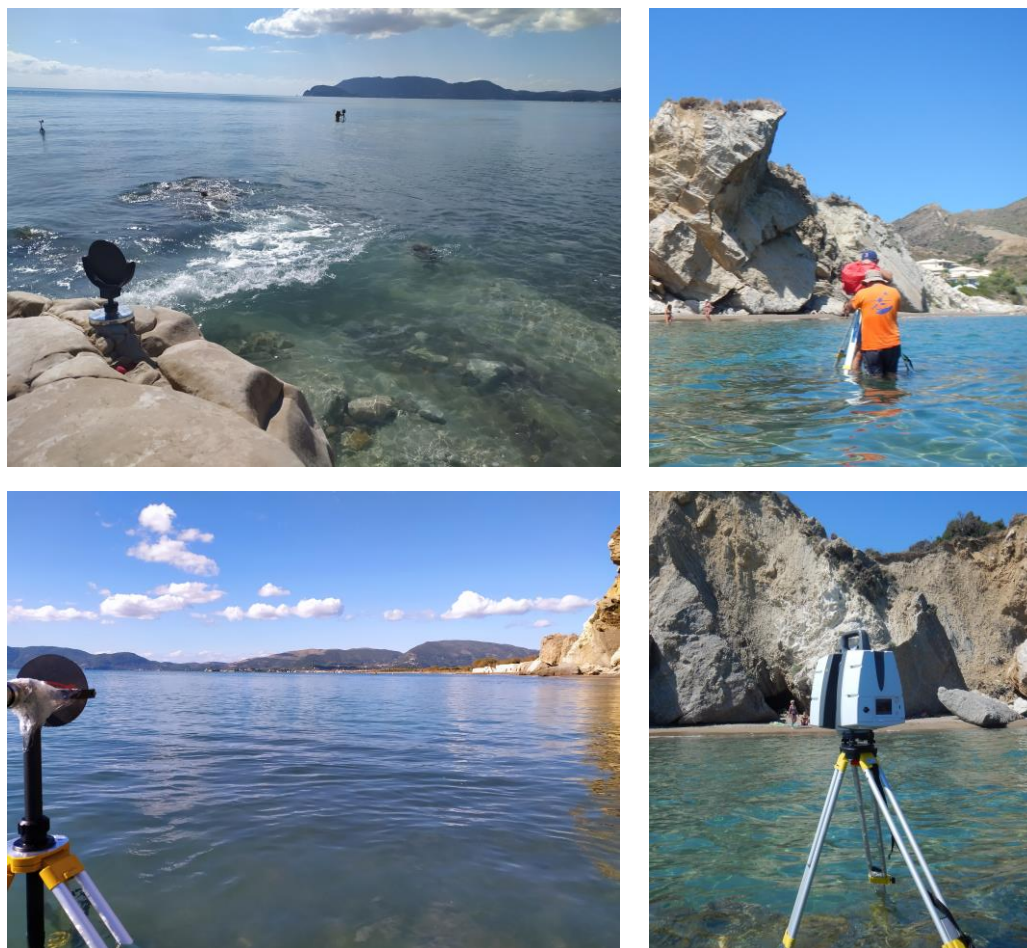
Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πέντε στάσεις με τον σαρωτή για την αποτύπωση ολόκληρου του πρανού με μεγάλη ακρίβεια (**Πίν. 9.1**) με αποτέλεσμα την συλλογή πέντε νεφών σημείων με 19.759.869, 19.796.181, 14.444.24, 8.952.043 και 21.501.155 σημεία αντίστοιχα. Επίσης, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες έξι σημείων ελέγχου τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ένωση των δεδομένων των πέντε στάσεων (**Πίν. 9.2**). Η αποτύπωση του πρανού πραγματοποιήθηκε σε μέση απόσταση 35 μέτρων από την πρώτη στάση, 45 μέτρων από τη δεύτερη, 40 μέτρων από τη τρίτη και την τέταρτη στάση και 25 μέτρων από την πέμπτη και τελευταία στάση. Όλες οι στάσεις πραγματοποιήθηκαν σε ρηχά νερά εντός θαλάσσης (**Εικ. 9.11**).

Πίνακας 9.1: Στοιχεία θέσεων τοποθέτησης του Σαρωτή.

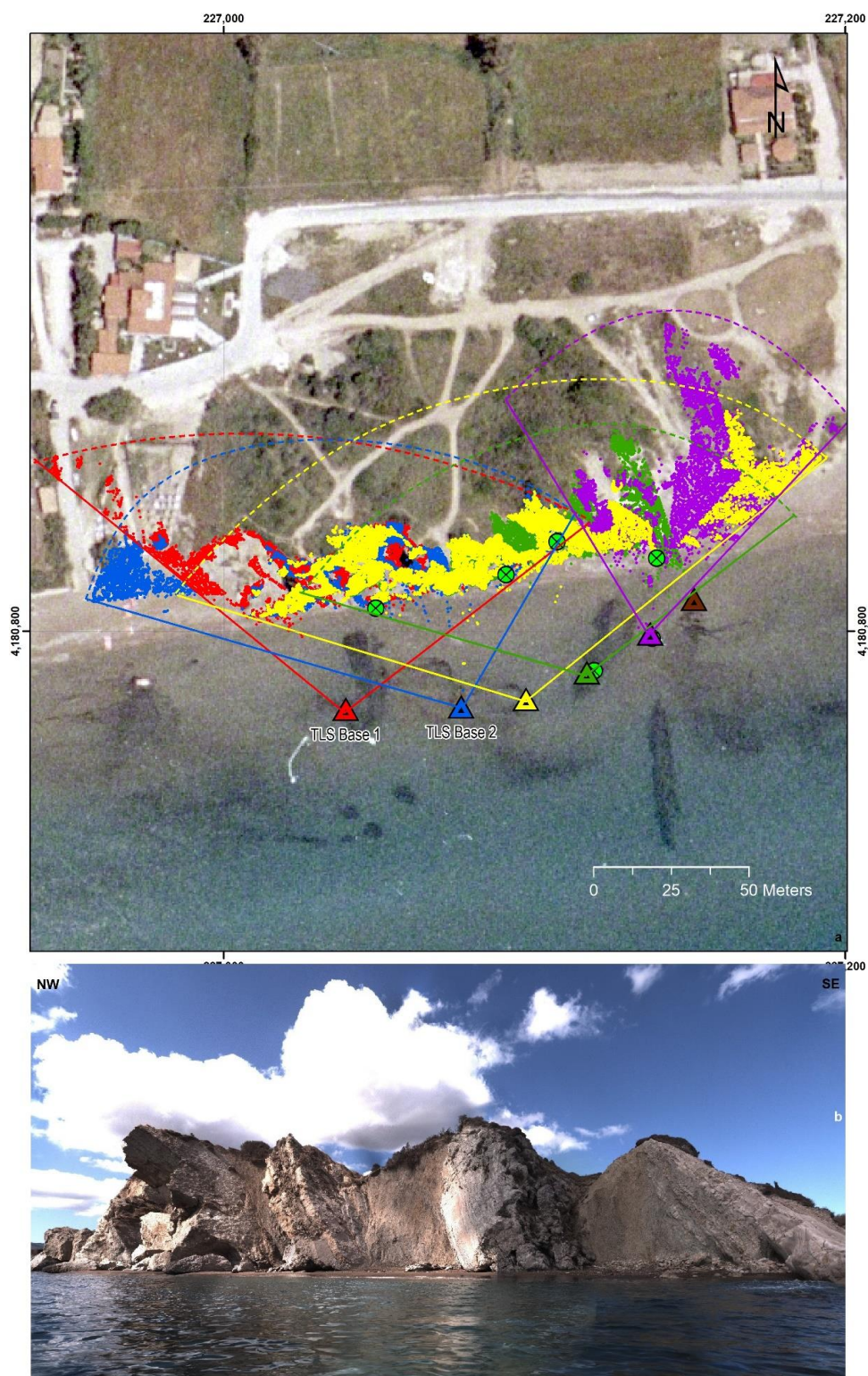
Στάσεις Σαρωτή	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
TLS Base 1	227.039,2233	4.180.775,092	0,7598
TLS Base 2	227.076,4118	4.180.775,902	0,7073
TLS Base 3	227.097,3041	4.180.778,279	0,5336
TLS Base 4	227.116,8063	4.180.786,844	0,6316
TLS Base 5	227.137,2545	4.180.799,334	0,5979

Πίνακας 9.2: Στοιχεία θέσεων σημείων ελέγχου.

Σημεία Ελέγχου	Συντεταγμένες x	Συντεταγμένες y	Συντεταγμένες z
kef26	227.048,9936	4.180.807,338	1,5887
kef27	227.090,9498	4.180.818,070	0,9198
kef28	227.107,3715	4.180.828,626	1,2516
kef29	227.139,4061	4.180.823,424	1,7613
kef30	227.137,8991	4.180.797,671	0,9851
kef37	227.119,2866	4.180.787,213	0,7389



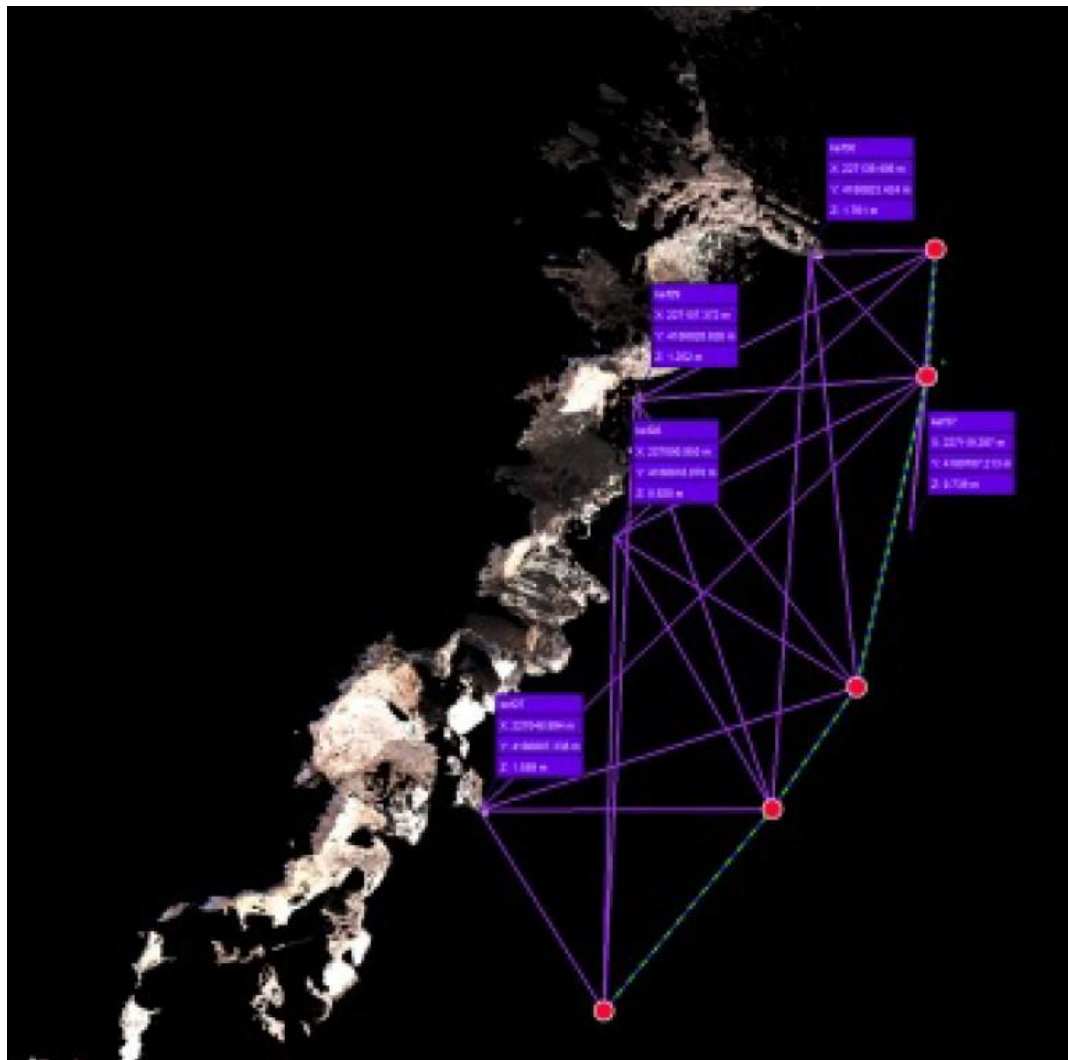
Εικόνα 9.10. Θέσεις στάσεων του σαρωτή και σημεία ελέγχου στην ακτή



Εικόνα 9.11. (α) Οι πέντε στάσεις με το σαρωτή (με κόκκινο χρώμα η 1η στάση και με μπλε η δεύτερη, με κίτρινο η τρίτη, με πράσινο η τέταρτη στάση και με μωβ χρώμα η πέμπτη) τοποθετημένες στο χώρο με πραγματικές συντεταγμένες x,y,z στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 (β) Πανοραμική φωτογραφία της παραλίας *Crystal*.

Η αποτύπωση ολοκληρώθηκε με την εμβέλεια του σαρωτή λέιζερ να ορίζεται στα 120m (μέγιστη απόσταση), με ανάλυση στα 1,6mm ανά 10m (πολύ υψηλή).

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις ασκήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Cyclone Register 360, όπου και έγινε η ένωση των πέντε στάσεων και των πέντε νεφών σημείων αντίστοιχα (Εικ. 9.12).



Εικόνα 9.12. Ενοποίηση των πέντε νεφών σημείων με τις θέσεις του σαρωτή και τα έξι σημεία ελέγχου.

Η ένωση των πέντε νεφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Match Targets, όπου η χρήση πολλαπλών στόχων και με τη χρήση κοινών στόχων (τουλάχιστον τρεις) ανάμεσα σε δύο διαδοχικές στάσεις κάθε φορά (1^η με 2^η, 2^η με 3^η, 3^η με 4^η και 4^η με 5^η στάση) επιτύγχανε τη συνένωση των νεφών. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε και με τη μέθοδο Cloud-to-Cloud, όπου με την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των νεφών (τουλάχιστον 5) γίνεται η αντιστοίχιση όλων των σημείων των νεφών και έτσι βελτιστοποιήθηκε η συνένωση των δεδομένων. Η χρήση στόχων ήταν απαραίτητη και για την γεωαναφορά του τελικού νέφους σημείων.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων ελέγχουμε την απόκλιση που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των νεφών σημείων. Το σφάλμα της ενοποίησης των στάσεων σε ένα ενιαίο νέφος σημείων υπολογίστηκε 0,032m, η αλληλοεπικάλυψη υπολογίστηκε 63% και η σχετική ακαμψία του μοντέλου 58% (Εικ. 9.13).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αφαίρεση τυχόν θορύβων και ο καθαρισμός του τελικού νέφους σημείων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone 3DReshaper και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα για το βέλτιστο των αποτελεσμάτων.

Bundle Error 0.032 m ✓	
Overlap 63 % ✓	Strength 58 % ✓
Cloud-to-Cloud 0.017 m ✓	Target Error 0.047 m ✓

Εικόνα 9.13. Αριθμητικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων έχουμε σαν αποτέλεσμα:

- Τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων στο χώρο με 84.453.489 σημεία.
- Εντοπισμό θέσεων δυνητικών καταπτώσεων
- Χάραξη εγκάρσιων τομών σε θέσεις υψηλής επικινδυνότητας

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος



Δρ. Ευθύμης Λέκκας

Καθηγητής

Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης

Γεωλογίας και

Φυσικών Καταστροφών

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

British Petroleum Co., University of Munich & Μιγκίρος, Γ. (1985). Γεωλογικός χάρης της Ελλάδας, «Φύλλο Νήσος Κεφαλληνία (Βόρειο και Νότιο τμήμα)», κλίμακα 1:50000, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), Αθήνα.

Lekkas, E., Danamos, G., Mavrikas, G. (2001). Geological structure and evolution of Cefallonia and Ithaki Islands. Bulletin of the Geological Society of Greece, XXXIV/1, 11-17.

Lekkas, E.L., Mavroulis, S.D. (2015). Earthquake environmental effects and ESI 2007 seismic intensities of the early 2014 Cephalonia (Ionian Sea, western Greece) earthquakes (January 26 and February 3, Mw 6.0). Nat. Hazards 78, 1517–1544. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1791-x>

Lekkas, E.L., Mavroulis, S.D. (2016). Fault zones ruptured during the early 2014 Cephalonia Island (Ionian Sea, Western Greece) earthquakes (January 26 and February 3, Mw 6.0) based on the associated co-seismic surface ruptures. J. Seismol. 20, 63–78. <https://doi.org/10.1007/s10950-015-9510-3>

Mavroulis, S., Stanota, E.-S., Lekkas, E. (2019). Evaluation of environmental seismic intensities of all known historical and recent earthquakes felt in Zakynthos Island, Greece using the Environmental Seismic Intensity (ESI 2007) scale. Quaternary International, 532, 1-22, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.09.006>

Κωνσταντοπούλου, Γ. (2014). Τεχνικογεωλογική εξέταση των σπηλαίων Μελισσάνης και Δρογκαράτης της Δ.Ε. Σάμης του Δήμου Κεφαλληνίας. Ε.Κ.Β.Α.Α., Ι.Γ.Μ.Ε.Μ., Διεύθυνση Γεωλογίας, Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας, 24 σελ.

Λέκκας, Ε. (1996). Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο «Νήσοι Κεφαλονιά-Ιθάκη», κλίμακα 1:100000. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κεφαλονιάς, 144 σελ.

Πετρόχειλος, Ι. (1959α). Σπηλαιολογικά έρευναι εις Κεφαλληνίαν. Δελτίον Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας, τομ. 5, τεύχ. 2-3 (Απρ. - Σεπτ. 1959), 23-70.

Πετρόχειλος, Ι. (1959β). Εκθεσις περί των καρστικών ερευνών εις την νήσον Κεφαλληνίαν. Αθήνα: Υπουργείο Συντονισμού. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους.

Πετροχείλου, Α. (1994). Τα σπήλαια της Ελλάδας. Αθήνα, Εκδοτική Αθηνών.

Σκούρτσος, Εμμ. (2002). Γεωλογική έκθεση της ευρύτερης περιοχής του σπηλαιολογικού πάρκου Σάμης. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κεφαλονιάς - Ιθάκης. 52 σελ.

Φραγκόπουλος, Ι., Μαλεφάκης, Ι. (1963). Υδρογεωλογική και γεωχημική μελέτη της νήσου Κεφαλληνίας. Δελτίον Επιστημονικών Ερευνών Αριθμ. 1 (ΥΔ). Γενική Διεύθυνση Γεωργίας, Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων, Διεύθυνσις 1, Τμήμα Υδρογεωλογικών, Αθήνα.