



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας - Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

Διπλωματική Εργασία

Γεωμετρική Τεκμηρίωση Βυθισμένου Μνημείου

Ιωάννα Χουβαρδά

Επιβλέπων καθηγητής:

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Γεωργόπουλος Α.

© 2014 Ι. Χουβαρδά (Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή του παρόντος κειμένου, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτού, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Προλογικό Σημείωμα

Αφόρμηση για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής υπήρξε η παρακολούθηση -κατά τη διάρκεια των σπουδών μου- μαθημάτων που περιελάμβαναν αναφορές σε αποτυπώσεις μνημείων και κυρίως σε υποβρύχιες αποτυπώσεις, οι οποίες κατάφεραν να καθρεφτίσουν το θαλασσινό κομμάτι του εαυτού μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον καθηγητή κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο που με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, και στη συνέχεια, για την ενεργή και άμεση βοήθεια και επιστημονική καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Την Εφορία Εναλίων Αρχαιοτήτων για τη χορήγηση της απαραίτητης άδειας για την διεξαγωγή των μετρήσεων και φωτογραφήσεων. Την καταδυόμενη αρχαιολόγο κα. Δέσποινα Κουτσούμπα, τους δύτες της Εφορίας Εναλίων Αρχαιοτήτων και τον κο. Γιώργο Καλλιάνο για την προθυμία τους να βοηθήσουν στις μετρήσεις. Επίσης ευχαριστώ το δήμαρχο Κρανιδίου για τη φιλοξενία του.

Τον Παναγιώτη Αγραφιώτη για τη συμμετοχή του στη φωτογράφιση και τις συμβουλές που μου παρείχε, τον Πέτρο Πουλίδη και τη Δέσποινα Καραβία. Την Ελένη Διαμαντή για την ουσιαστική βοήθειά της και την προθυμία της.

Την υποψήφια Διδάκτωρ κα. Σεβαστή Ταπεινάκη για την επίλυση αποριών που προέκυψαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ευχαριστώ τις συμφοιτήτριες και φίλες μου, Σοφία Χατζηθωμά-Παναγιώτου, Αγγελική Μπρέγιαννη, Αλεξάνδρα Λέλλη και Ισμήνη Λόκκα για την έμπρακτη αλλά και ηθική στήριξη τους.

Την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση και τη στήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ABSTRACT.....	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ	15
2.1 Ενάλια Αρχαιολογία στην Ελλάδα	15
2.2 Αναγκαιότητα Προστασίας.....	17
2.3 Δυσκολίες Υποβρύχιων Αποτυπώσεων	17
2.3.1 Διάθλαση	19
2.3.2 Μέθοδοι Αποτύπωσης.....	20
2.4 Περιπτωσιολογικές Μελέτες	21
2.4.1. Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές σε Περιβάλλον Αέρα – Νερού.....	21
2.4.2. Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές σε Υδάτινο Περιβάλλον.....	23
3. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	27
3.1 Περιοχή Αρχαιολογικού Χώρου	27
3.2 Δυσκολίες.....	30
3.3 Συλλογή Δεδομένων	31
3.3.1 Αναγνώριση Περιοχής Αντικειμένου	31
3.3.2 Προγραμματισμός - Φωτογράφιση	32
3.3.3 Απόκρυψη Πληροφορίας κατά τη Φωτογράφιση	35
3.3.4 Επιλογή Φωτοσταθερών Σημείων	36
3.3.5 Γεωδαιτικές Μετρήσεις Φωτοσταθερών.....	36
3.3.6 Προβλήματα κατά τις Γεωδαιτικές Μετρήσεις.....	37
3.4 Επεξεργασία Δεδομένων	38
3.4.1. Διόρθωση από Διάθλαση	38
3.4.2 Εκτέλεση Προσανατολισμών	41
3.4.3 Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM)	45
3.4.4. Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας.....	47
3.4.5 Ραδιομετρική Επεξεργασία.....	48
3.4.6 Σύνθεση Φωτομωσαϊκού.....	48
3.5 Έλεγχος Γεωμετρικής Ακρίβειας	50
3.5.1 Αξιολόγηση Γεωμετρικής Ακρίβειας.....	52
3.6 Απεικόνιση Υψομετρικής Πληροφορίας.....	54

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ.....	59
4.1 Σταδιακή Αξιολόγηση της Φωτογραμμετρικής Διαδικασίας	59
4.2 Προϋποθέσεις Βελτίωσης Ακρίβειας.....	60
4.3 Προοπτικές για Περαιτέρω Ανάπτυξη	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	77

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1:	Costa Concordia προς αποτύπωση σε πλωτές συνθήκες.....	24
Εικόνα 3.1:	Περιοχή αρχαιολογικού χώρου.....	27
Εικόνα 3.2:	Ποντισμένα κτηριακά κατάλοιπα.....	28
Εικόνα 3.3:	Πώμα, όστρακα αγγείων και χείλος λοπάδος.....	29
Εικόνα 3.4:	Γενικό σκαρίφημα του χώρου.....	30
Εικόνα 3.5:	Βάθη περιοχής αντικειμένου.....	32
Εικόνα 3.6:	Περιοχή αντικειμένου.....	32
Εικόνα 3.7:	Αναγνώριση περιοχής αντικειμένου.....	33
Εικόνα 3.8:	Προγραμματισμός λήψεων.....	34
Εικόνα 3.9:	Κάλυψη από θαλάσσια φυτά.....	35
Εικόνα 3.10:	Απόκρυψη πληροφορίας.....	36
Εικόνα 3.11:	Εντοπισμός φωτοσταθερού.....	37
Εικόνα 3.12:	Τεκμηρίωση φωτοσταθερού.....	37
Εικόνα 3.13:	Αρχική εικόνα.....	39
Εικόνα 3.14:	Εικόνα με ζώνες βαθών και τόνους του γκρι που τους αντιστοιχούν.....	39
Εικόνα 3.15:	Εικόνα διορθωμένη από διάθλαση.....	40
Εικόνα 3.16:	Εμφάνιση μαύρων pixel μετά από διόρθωση λόγω διάθλασης.....	41
Εικόνα 3.17:	Εισαγωγή στοιχείων βαθμονόμησης.....	42
Εικόνα 3.18:	Κατανομή σημείων σύνδεσης και φωτοσταθερών.....	43
Εικόνα 3.19:	Παράμετροι αλγόριθμου συσχέτισης.....	46
Εικόνα 3.20:	Δημιουργία δικτύου ακανόνιστων τριγώνων.....	47
Εικόνα 3.21:	Σημεία με ψεύτικο υψόμετρο περιμετρικά των τοίχων.....	48
Εικόνα 3.22:	Φωτομωσαϊκό φωτογραφισθέντος αντικειμένου.....	50
Εικόνα 3.23:	Τελικό Φωτομωσαϊκό.....	51
Εικόνα 3.24:	Θέσεις μηκοτομών.....	56
Εικόνα 3.25:	Μηκοτομή Ανατολικού τοίχου.....	57
Εικόνα 3.26:	Μηκοτομή Δυτικού τοίχου.....	58
Εικόνα 3.27:	Υπόμνημα Μηκοτομών.....	59

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1:	Αποτελέσματα σχετικού προσανατολισμού	44
Πίνακας 3.2:	Στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού.....	45
Πίνακας 3.3:	Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα τελικού Φωτομωσαϊκού.....	52
Πίνακας 3.4:	Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα δεύτερου Φωτομωσαϊκού.....	54

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση βυθισμένου μνημείου. Αρχικά γίνεται επισκόπηση σε αντίστοιχες φωτογραμμετρικές εφαρμογές σε περιβάλλον αέρα – νερού και σε υποβρύχιο περιβάλλον. Οι δυσκολίες αντίστοιχων αποτυπώσεων βυθισμένων αντικειμένων προκύπτουν από τις συνθήκες του δυναμικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται και από την επίδραση της διάθλασης - όταν πρόκειται για φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις. Εν συνεχεία περιγράφεται η εφαρμογή σε ποντισμένα κτιριακά κατάλοιπα. Το αντικείμενο μελέτης βρίσκεται στην περιοχή Δάρδιζας δ.δ. Ερμιόνης, σε βάθος έως 2.5m και βάσει αρχαιολογικής έρευνας τοποθετείται χρονικά στην υστερορωμαϊκή/πρωτοβυζαντινή περίοδο. Λόγω συνδυασμού δυσκολιών, που αναφέρονται, τελικά δεν τεκμηριώθηκε γεωμετρικά το αντικείμενο στο σύνολό του. Το τμήμα του μνημείου που αποτυπώθηκε βρίσκεται σε βάθος έως 1.20m. Φωτογραφήθηκε με ειδικό τρίποδα με δυνατότητα ανύψωσης 7.5m έως 8m και μετρήθηκαν ως φωτοσταθερά σημεία, φυσικά σημεία στο αντικείμενο και στο βυθό.

Με την εκτέλεση των απαραίτητων φωτογραμμετρικών διαδικασιών, που συνοψίζονται σε αποκατάσταση εσωτερικού προσανατολισμού- εκτέλεση σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού- δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (ΨΜΕ), παρήχθη τελικά το φωτομωσαϊκό του αντικειμένου το οποίο και παρατίθεται. Γίνεται ο έλεγχος γεωμετρικής ακρίβειας του φωτομωσαϊκού με επιτόπιες μετρήσεις στο αντικείμενο και ελέγχεται η πιθανότητα ύπαρξης συστηματικού σφάλματος. Στη συνέχεια, συγκρίνεται με ένα δεύτερο φωτομωσαϊκό που προέκυψε από τις γειτονικές φωτογραφίες των ίδιων στερεομοντέλων και διαπιστώνεται η ταύτιση της οριζοντιογραφικής τους ακρίβειας. Επιπλέον, παρατίθενται δύο μηκοτομές για την ενδεικτική απεικόνιση του βαθμού διατήρησης της υφιστάμενης τοιχοποιίας στο χρόνο. Τέλος, αξιολογείται η φωτογραμμετρική διαδικασία σταδιακά αλλά και στο σύνολό της, και αναφέρονται οι παράγοντες που υποβάθμισαν την ακρίβεια του τελικού προϊόντος και οι προϋποθέσεις βελτίωσής της.

ABSTRACT

The objective of this diploma thesis is the geometric documentation of a submerged monument. At first, a brief representation of the relevant photogrammetric procedures is being done both in air-water and in an underwater environment. Several difficulties which may occur in underwater documentations result from the conditions of the dynamic environment in which the monuments are located along with the effect of refraction- when dealing with photogrammetric documentation. Then the application on submerged buildings is described. The part of the monument, which has been examined, is located in the area of Dardiza of the Municipality of Hermione and in depth of 2.5m underwater. According to the archaeological findings, the monument belongs to the Late Roman era. Due to the difficulties which have been mentioned, the whole object was not eventually geometrically documented. The part of the monument that was documented is located in a depth of 1.20m. It was photographed with a special tripod with the capability to elevate the camera up to 7.5m - 8m. The ground control points measured were situated both on the monument and on the seabed.

Having performed all the necessary photogrammetric procedures, which include the restoration of interior orientation, the relative orientation, the bundle adjustment and the production of a digital surface model (DTM), the photo-mosaic of the object was finally produced. The geometric accuracy of the photo-mosaic was examined by applying measurements on the monument. The possibility of the existence of systematic error is also checked. Additionally, a second photo-mosaic was produced in order to compare it with the original. This photo-mosaic resulted from nearby photos of the same stereo-pairs. From this comparison, it was established that the two photo-mosaics shared the same horizontal accuracy. In order to have a better representation of the existing masonry through time, two longitudinal profiles were produced. In conclusion, the whole photogrammetric procedure was evaluated both step by step and in total and different parameters, which may have affected the accuracy of the final product, as well as the preconditions for its improvement were presented.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα τοποθετείται στη δέκατη θέση της παγκόσμιας κατάταξης χωρών κατά μήκος ακτογραμμής με 16.300km. Η γεωγραφική της θέση και τα γεωμορφολογικά της στοιχεία, ώθησαν τους κατοίκους της, από την αρχή της ιστορίας, στη δημιουργία θαλάσσιων διαδρόμων στη μεσόγειο, για την επικοινωνία και τις εμπορικές συναλλαγές. Με εύλογο τρόπο μπορεί να υποστηριχτεί, λοιπόν, ότι ένα σημαντικό κομμάτι της Ενάλιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς κείται στο βυθό της ελληνικής θάλασσας. Υποβρύχιοι αρχαίοι οικισμοί, πλήθος ναυαγίων αρχαίων πλοίων, και άλλα πολλά αντικείμενα κοσμούν τον ελληνικό βυθό.

Η ανάγκη γεωμετρικής τεκμηρίωσης της μορφής των υποβρύχιων μνημείων, όπως αυτή διατηρείται στο παρόν, με σκοπό τη διαφύλαξή τους και προστασία τους στο μέλλον είναι επιτακτική. Αν ληφθούν υπόψιν οι δραστηριότητες αρχαιοκαπηλίας που τείνουν να γίνουν σύνηθες φαινόμενο και η αλματώδης εκμετάλλευση του βυθού, η αναγκαιότητα αυτή επιβεβαιώνεται και γίνεται όλο και περισσότερο επιτακτική.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθόδων για τη γεωμετρική τεκμηρίωση τμήματος ποντισμένων κτιριακών καταλοίπων στην περιοχή Δάρδιζας Ερμιόνης Αργολίδας και η εκτίμηση των δυνατοτήτων τους μετά από αξιολόγηση του τελικού παραγώγου. Απώτερος σκοπός υπήρξε ο καθορισμός των προϋποθέσεων του περιβάλλοντος και των συνθηκών εφαρμογής των μεθόδων αυτών για την επιτυχή χρήση τους σε επόμενες περιπτώσεις γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η εργασία αναλύεται στα τρία κεφάλαια που έπονται. Συγκεκριμένα στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο γενικότερο πλαίσιο των υποβρύχιων αποτυπώσεων, την αναγκαιότητα εκπόνησής τους και τις δυσκολίες που επιφυλάσσει το υδάτινο περιβάλλον. Επιπλέον γίνεται σύντομη αναφορά σε ορισμένες προηγούμενες προσπάθειες υποβρύχιων αποτυπώσεων που επιλέχθηκαν είτε για την πρωτοπορία τους είτε επειδή καθιστούν προφανή την αναγκαιότητά τους.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται η πρακτική εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου. Περιγράφεται το αντικείμενο μελέτης και αναφέρεται η ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου στον οποίο υφίσταται. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την προσπάθεια εφαρμογής της φωτογραμμετρικής μεθόδου στο συγκεκριμένο μνημείο, στη διαδικασία συλλογής δεδομένων καθώς και στην επεξεργασία αυτών. Επιπλέον παρουσιάζεται το τελικό παράγωγο που είναι το φωτομωσαϊκό που προέκυψε ως τελικό παράγωγο, ελέγχεται γεωμετρικά και αξιολογείται.

Το 4^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει συμπερασματικά σχόλια για το σύνολο της διαδικασίας που ακολουθήθηκε αξιολογώντας την σταδιακά μέχρι το τελικό αποτέλεσμά της. Επιπλέον αναφέρονται προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη του θέματος.

2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ

2.1 Ενάλια Αρχαιολογία στην Ελλάδα

Από την αρχή της ελληνικής ιστορίας, η θάλασσα έπαιξε σημαντικότερο ρόλο στην ζωή των κατοίκων της Ελλάδας. Περιβαλλόμενοι από θάλασσα ήταν αναμενόμενο να έχουν άμεση σχέση μαζί της, να ταξιδεύουν να εμπορεύονται και να αναζητούν την τροφή τους σε αυτή. Η ενάλια αρχαιολογία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της σχέσης του ανθρώπου με τη θάλασσα μέσα από υποβρύχια ιστορικά τεκμήρια που οδηγούν στην εξερεύνηση του παρελθόντος μας.

Το πρώτο καταδυτικό σκάφανδρο χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα γύρω στο 1860 από Δωδεκανήσιους σφουγγαράδες και αποτέλεσε τον εξοπλισμό για τις πρώτες υποβρύχιες έρευνες.

Το 1884, ο Χ. Τσουντας, θεμελιωτής της ελληνικής προϊστορικής αρχαιολογίας, μαζί με σφουγγαράδες αναζήτησε λείψανα της αρχαίας ναυμαχίας στα στενά της Σαλαμίνας. Η έρευνα αυτή αποτελεί ουσιαστικά την πρώτη επιστημονική εξερεύνηση του βυθού στην Μεσόγειο.

Επόμενη υποβρύχια έρευνα στην Ελλάδα ήταν το «ναυάγιο των Αντικυθήρων», το οποίο ανακαλύφθηκε τυχαία από Σύμιους σφουγγαράδες το 1900. Το ναυάγιο του πλοίου, το οποίο κατά βάση μετέφερε μια συλλογή χάλκινων και μαρμάρινων αγαλμάτων από την Ελλάδα στην Ρώμη γύρω στο 80 π.Χ., ερευνήθηκε από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία. Ανάμεσα στα ευρήματα ξεχώρισε ο χάλκινος Έφηβος των Αντικυθήρων, καθώς και ο περίφημος Υπολογιστής των Αντικυθήρων φανερώνοντας στο ευρύ κοινό τον αρχαιολογικό πλούτο των ελληνικών θαλασσών.

Όπως αναφέρει ο Νάκας στο ενημερωτικό δελτίο ΑΩ, στα επόμενα χρόνια παρά την ύπαρξη κάποιων εντυπωσιακών τυχαίων ευρημάτων (του Ποσειδώνα και του Αναβάτη του Αρτεμισίου, καθώς και του Εφήβου του Μαραθώνα), δεν πραγματοποιήθηκαν ενάλιες έρευνες στην Ελλάδα. Η εφεύρεση όμως της συσκευής αυτόνομης κατάδυσης το 1946 θα σημάνει τη συνέχεια της εξερεύνησης των θαλασσών.

Την δεκαετία του 1950, άρχισαν οι πρώτες υποβρύχιες αναγνωριστικές έρευνες, αρχικά από την Αγγλική Αρχαιολογική Σχολή (Κρήτη, Χίος, Ηραίο Περαχώρας, Κεγχραιές) και αργότερα από την Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία στο λιμάνι της αρχαίας Φειάς στην Ηλεία, υπό την διεύθυνση του Ν. Γιαλούρη, του πρώτου Έλληνα καταδυόμενου αρχαιολόγου. Την δεκαετία του 1960, πραγματοποιήθηκαν αρκετές αναγνωριστικές έρευνες στο Αιγαίο με πρωτοπόρο τον Αμερικανό ερευνητή Π. Θροκμόρτον. Ωστόσο, οι φιλότιμες αυτές προσπάθειες απέβησαν άκαρπες, αφού συνάντησαν την αδιαφορία και την καχυποψία τόσο της επίσημης πολιτείας όσο και των ακαδημαϊκών.

Με την ανάπτυξη του καταδυτικού τουρισμού κατέστη αναγκαία η προστασία της υποβρύχιας πολιτισμικής κληρονομιάς. Το 1970, η συστηματική σύλληψη του κεραμικού φορτίου ενός βυζαντινού ναυαγίου του 12ου αιώνα στο Πελαγονήσι, στις Σποράδες, οδήγησε τον γενικό επιθεωρητή αρχαιοτήτων Σ. Μαρινάτο να επιτρέψει στον Χ. Κριτζά και στον Π. Θροκμόρτον να προχωρήσουν στην ανασκαφή του ναυαγίου. Στην έρευνα αυτή εφαρμόστηκαν πρώτη φορά νέες επιστημονικές μέθοδοι και τεχνικές υποβρύχιας ανασκαφής. Έναν χρόνο αργότερα, ο Χάρολντ Έτζερτον, ένας ακόμη πρωτοπόρος της υποβρύχιας έρευνας, αναζήτησε απομεινάρια της ναυμαχίας της Ναυπάκτου και της χαμένης αρχαίας πόλης της Ελίκης χρησιμοποιώντας ηχοβολιστικά συστήματα, sonar (sound navigation and ranging). Παράλληλα, η Αρχαιολογική Υπηρεσία ερεύνησε εκ νέου την Φειά και το νεολιθικό σπήλαιο της Αλεπότρυπας Δυρού.

Κατά τη διάρκεια των προαναφερθέντων εγχειρημάτων προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας ενός ιδιωτικού φορέα, ο οποίος, απαγκιστρωμένος από την κρατική γραφειοκρατία, θα ασχολείται αποκλειστικά με την ενάλια αρχαιολογική κληρονομιά της χώρας. Έτσι, το 1973, ο Χ. Κριτζάς, ο Π. Θροκμόρτον, ο Γ. Παπαθανασόπουλος και ο Ν. Τσούχλος ίδρυσαν το Ινστιτούτο Εναλίων Αρχαιολογικών Ερευνών (Ι.ΕΝ.Α.Ε.). Στηριζόμενο στην ιδιωτική πρωτοβουλία και στην υποστήριξη Ελλήνων και ξένων εθελοντών, το Ι.ΕΝ.Α.Ε. αποτελεί σημαντικότατο κεφάλαιο για την ελληνική ενάλια αρχαιολογία.

Η απουσία μίας αντίστοιχης κρατικής υπηρεσίας οδήγησε στην ίδρυση της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων (Ε.Ε.Α) το 1976. Ο Ζακ-Υβ Κουστύ υπήρξε από τους πρώτους που συνεργάστηκε μαζί της, εξερευνώντας διάφορα ναυάγια, μεταξύ των οποίων τα ναυάγια του Βρετανικού στην Κέα και της γαλλικής ναυαρχίδας La Thégèse στο Ηράκλειο.

Η δεκαετία του 1980 ήταν, σε γενικές γραμμές, μια δύσκολη περίοδος. Από την μια πλευρά, η Ε.Ε.Α., με περιορισμένα μέσα και προσωπικό, καθώς και με τεράστια ζώνη ευθύνης, πραγματοποίησε καταγραφές ναυαγίων, ελάχιστες σωστικές έρευνες σε καταβυθισμένους οικισμούς (Παυλοπέτρι Λακωνίας και Αστακός Αιτωλο-ακαρνανίας) και περιορίστηκε ουσιαστικά στον ρόλο του επιβλέποντος τα θαλάσσια τεχνικά έργα. Από το 1978, απαγορεύτηκε η αυτόνομη κατάδυση σε όλη την επικράτεια, πέραν των περιοχών που έχουν καθοριστεί από την Ε.Ε.Α. ως τόποι μη αρχαιολογικής σημασίας, προκαλώντας συνεχείς προστριβές μεταξύ των καταδυτικών κέντρων και της πολιτείας.

Ωστόσο το 1989 το Ι.ΕΝ.Α.Ε., ξεκίνησε σε συνεργασία με την Ε.Ε.Α., την ανασκαφή του φορτίου του ναυαγίου της νήσου Δοκού, στον Αργολικό Κόλπο, του αρχαιότερου γνωστού ναυαγίου στον κόσμο (2400 π.Χ.). Η αποκάλυψη του κεραμικού φορτίου του ναυαγίου προσέφερε πολύτιμες πληροφορίες για τον πολιτισμό της Πρώιμης Εποχής του Χαλκού στο Αιγαίο και επιπλέον αποτέλεσε υποδειγματική έρευνα με εφαρμογή των πλέον σύγχρονων τεχνικών και μεθόδων. Ακολούθησαν οι ανασκαφές στο κυπρομικηναϊκό ναυάγιο των Ιρίων Αργολίδας (1200 π.Χ.) και στο πρώιμο ελληνιστικό ναυάγιο στην Αντιδραγονέρα Κυθήρων. Ταυτόχρονα, το πρώτο ελληνικό επιστημονικό περιοδικό για την ενάλια αρχαιολογία, με τίτλο Ενάλια, άρχισε να εκδίδεται από το Ι.ΕΝ.Α.Ε. Το 1998 οργανώθηκε η έκθεση του φορτίου του ναυαγίου των Ιρίων στο Μουσείο Σπετσών, η πρώτη έκθεση

αρχαίου ναυαγίου στην Ελλάδα. Τέλος, την ίδια εποχή, άρχισε και η πρώτη ελληνική υποβρύχια έρευνα στο εξωτερικό, στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου, από το Ελληνικό Κέντρο Αλεξανδρινών Μελετών.

Παράλληλα, άρχισε να δραστηριοποιείται και η Ε.Ε.Α. Ερευνήθηκαν τα σημαντικά κλασικά ναυάγια της Αλοννήσου (Περιστέρα και Κυρά Παναγιά), το εμπορικό πλοίο του 16ου αιώνα στην Ζάκυνθο, οι οικισμοί της Μεθώνης και της Τορώνης, καθώς και το αρχαίο λιμάνι της Σάμου (Νάκας, 2007).

2.2 Αναγκαιότητα Προστασίας

Μετά από μακροχρόνιες έρευνες γίνεται φανερό ότι η μελέτη των βυθισμένων επιφανειών της γης από τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και η μελέτη τεκμηρίων ναυαγίου έχει επεκτείνει τις γνώσεις για την αρχαιότητα, αποκαλύπτοντας πληροφορίες για πολλούς αρχαίους παραθαλάσσιους οικισμούς, λιμάνια, αγκυροβόλια, ναυάγια, που συνθέτουν μία τεκμηριωμένη εικόνα για τις θαλάσσιες μεταφορές και το εμπόριο στο βάθος της ανθρώπινης ιστορίας. Η ανάγκη μέτρησης, αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης των υποθαλάσσιων ευρημάτων και μνημείων, ειδικότερα στην Ελλάδα στην οποία αφθονούν αντίστοιχα υπολείμματα παλαιότερων εποχών, επιβάλλεται τόσο για την αξιοποίηση αυτού του αρχαιολογικού πλούτου όσο και για την προστασία του από δραστηριότητες αρχαιοκαπηλείας ή από οποιαδήποτε άλλη φθορά ή καταστροφή (Δουκάκης, 1999).

2.3 Δυσκολίες Υποβρύχιων Αποτυπώσεων

Η διαφοροποίηση των υποβρύχιων τοπογραφικών εργασιών από τις επίγειες έγκειται στο ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον των μετρήσεων. Τα αντικείμενα μελέτης και τα μέλη του συνεργείου βρίσκονται σε δυναμικό περιβάλλον. Έτσι ο δύτης ή κολυμβητής είναι απαραίτητο να σταθεροποιεί το δικό του σώμα κατ' αρχάς ώστε να μπορέσει να διατηρήσει τα όργανα και τα παρελκόμενα σταθερά στη θέση που απαιτείται για να εκπονηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις. Η κατασκευή και η τελειοποίηση της αυτόνομης καταδυτικής συσκευής καθώς και η βελτίωση της καταδυτικής τεχνικής επέκτειναν τις δυνατότητες των υποβρύχιων μετρήσεων και παρατηρήσεων. Οι δυσκολίες των υποβρύχιων αποτυπώσεων προκαλούνται κυρίως από τις συνθήκες που επικρατούν στα θαλάσσιο δυναμικό περιβάλλον.

Ένας σημαντικός παράγοντας που δυσκολεύει τις υποβρύχιες εργασίες είναι το υποθαλάσσιο ρεύμα. Ανάλογα με την έντασή του δυσχεραίνονται οι μετακινήσεις, η πραγματοποίηση ήρεμων και ελεγχόμενων κινήσεων για τον χειρισμό των οργάνων καθώς και η διατήρηση των μετρητικών οργάνων στη θέση ισορροπίας που είναι ιδανική κάθε

φορά. Στις μετρήσεις μηκών και στην υδραυλική χωροστάθμηση υποβαθμίζονται οι ακρίβειες και οι πραγματοποιήσεις των μετρήσεων απαιτεί περισσότερο χρόνο. Εκτός από το ρεύμα σταθερής διεύθυνσης υπάρχουν και μη-σταθερά ρεύματα τα οποία έχουν μικρότερη ένταση και επιβαρύνουν σε μικρότερο βαθμό τις μετρήσεις.

Η επιφανειακή κατάσταση της θάλασσας επηρεάζει δραματικά κυρίως τις τοπογραφικές μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε μικρό βάθος και η αρνητική επίδραση γίνεται εντονότερη όσο πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας γίνονται οι μετρήσεις αυτές. Σε περιπτώσεις αναβιβασμού σημείων η ακρίβεια μέτρησής τους υποβαθμίζεται αρκετά όταν υπάρχει κυματισμός. Επίσης καθιστά πιο δύσκολη τη σταθερότητα του συνεργείου. Σε αποτυπώσεις μεγαλύτερου βάθους (άνω των 5m) η επιφανειακή κατάσταση της θάλασσας δεν έχει ισχυρή επίδραση στις μετρήσεις και συνήθως δε γίνεται αντιληπτή από το δύτε. Οι συνθήκες που επικρατούν βαθύτερα είναι συνήθως διαφορετικές. Πολλές φορές παρατηρείται ότι όταν η θάλασσα είναι κυματώδης το υποθαλάσσιο ρεύμα είναι περιορισμένης έντασης και με την αύξηση του βάθους παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερη ύφεση.

Η ορατότητα εξαρτάται από την ύπαρξη ρεύματος, το βάθος, τη γεωμορφολογία και τη σύσταση βυθού και δυσχεραίνει επίσης την εκτέλεση των εργασιών. Εξαρτάται από την ένταση του φωτός που είναι συνάρτηση των καιρικών συνθηκών και του βάθους. Προβλήματα ορατότητας δημιουργούν επίσης η διάθλαση των ακτίνων. Ο δύτες βλέπει μέσα από τη μάσκα του με αποτέλεσμα οι οπτικές ακτίνες να φτάνουν στο μάτι του μέσα από τρία διαφορετικά υλικά. Το νερό, το γυαλί της μάσκας και τον αέρα που υπάρχει μέσα σε αυτήν. Έτσι οι ακτίνες διαθλώνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μικραίνει η γωνία του οπτικού πεδίου του δύτε, ενώ αλλοιώνονται συγχρόνως και οι εικόνες του. Τα αντικείμενα φαίνονται μεγαλύτερα κατά το 1/3 του μεγέθους τους ενώ οι αποστάσεις μικρότερες κατά το 1/3 του μήκους τους. Σημαντική επίσης είναι η αλλοίωση των χρωμάτων. Το νερό λειτουργεί σαν φίλτρο και απορροφά με διαφορετικό τρόπο το φάσμα του φωτός. Έτσι το κόκκινο και το πορτοκαλί απορροφώνται εντελώς σε βάθος μεγαλύτερο των 10m ενώ ένα αντικείμενο με αυτά τα χρώματα δε φαίνεται καθόλου σε απόσταση μεγαλύτερη των 10m. Σε βάθη πάνω από 25m τα μόνα ορατά χρώματα είναι το μπλε και το πράσινο. Οι παράγοντες αυτοί δυσκολεύουν τη διαδικασία της αναγνώρισης της περιοχής και την επισήμανση χαρακτηριστικών σημείων. Επίσης σε εφαρμογές φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων η καλή ορατότητα είναι από τις πιο σημαντικές προϋποθέσεις για τη λήψη των απαραίτητων ποιοτικών φωτογραφιών.

Η κατάσταση του βυθού αφορά στη μορφολογία και σύσταση του βυθού και επηρεάζει τη δυνατότητα εργασιών και μετρήσεων, την ταχύτητα διεξαγωγής τους καθώς και την επικινδυνότητά τους. Ένας αμμώδης βυθός πολύ εύκολα θολώνει από τις κινήσεις του συνεργείου είτε από θαλάσσια ρεύματα με αποτέλεσμα να μειώνεται η ορατότητα. Ο βυθός που είναι καλυμμένος από φύκια εμποδίζει τη μετακίνηση του συνεργείου, το στήσιμο των τριπόδων, την ίδρυση των στάσεων, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει τις μετρήσεις αφού καλύπτει το ανάγλυφο του βυθού και πολλές φορές αποκρύπτει πληροφορία από το αντικείμενο της αποτύπωσης. Ο βραχώδης βυθός είναι καλύτερος από άποψη ορατότητας

αλλά ενδεχομένως να κρύβει μεγάλες δυσκολίες και στην ίδρυση των στάσεων και την επισήμανση σημείων.

Επιπρόσθετος παράγοντας που δυσχεραίνει τις υποβρύχιες αποτυπώσεις είναι η δυσκολία προσανατολισμού στο βυθό. Μέσα στη θάλασσα ο δύτης χάνει τον προσανατολισμό του πολύ εύκολα. Επίσης δεν υπάρχει η αίσθηση της οριζοντίωσης με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εκτιμηθεί η κλίση του βυθού και το βάθος, ενώ δημιουργούνται προβλήματα στην κατακορύφωση των ακοντίων και στην οριζοντίωση των οργάνων.

Επιπρόσθετος παράγοντας η άνωση, δύναμη που ασκείται σε κάθε αντικείμενο μέσα στη θάλασσα με φορά προς τα πάνω, αυξάνεται όσο μεγαλώνει το βάθος και ασκείται τόσο στα μέλη του συνεργείου όσο και στα όργανα μέτρησης. Έτσι δυσχεραίνεται τόσο η σταθεροποίηση των οργάνων στη σωστή τους θέση όσο και η σταθεροποίηση των μελών του συνεργείου. Αντιμετωπίζεται με την προσθήκη βαρών στα μέλη του συνεργείου αλλά έτσι αυτά γίνονται πιο δυσκίνητα.

Η τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης αφορούν κυρίως στις μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα σε μεγαλύτερα βάθη δεδομένου ότι με την αύξηση του βάθους μειώνεται η θερμοκρασία και αυξάνεται η πίεση. Μειώνουν το χρόνο παραμονής και την ασφάλεια των δυτών και καθιστούν τη διαδικασία των μετρήσεων περισσότερο κουραστική. Αντιμετωπίζεται ως ένα βαθμό με κατάλληλο εξοπλισμό και καταδυτικές τεχνικές.

Επιπλέον δυσκολίες προκύπτουν από τον περιορισμένο ατμοσφαιρικό αέρα που έχουν στην διάθεσή τους οι δύτες και δεσμεύει το χρόνο και την άνεση των μετρήσεων. Σημαντική είναι και η δυσκολία συνεννόησης στο υποθαλάσσιο περιβάλλον που επιλύεται με τη χρήση ενός συγκεκριμένου νοηματικού κώδικα (Δουκάκης 1999, Μπαλοδήμος 1993).

2.3.1 Διάθλαση

Γίνεται προφανές ότι οι βασικές ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι υποβρύχιες αποτυπώσεις έναντι των επίγειων σχετίζονται με τις συνθήκες του δυναμικού υποβρύχιου περιβάλλοντος. Όσον αφορά στις φωτογραμμετρικές μεθόδους που εφαρμόζονται σε υποβρύχιες αποτυπώσεις μία σημαντική επιπρόσθετη παράμετρος που επιδρά σε αυτές είναι το φαινόμενο της διάθλασης που προκύπτει. Σύμφωνα με το νόμο του Snell όταν μία ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία από υλικό ορισμένης πυκνότητας σε ένα άλλο διαφορετικής πυκνότητας τότε η ακτίνα αλλάζει ταχύτητα και διεύθυνση. Το φαινόμενο της διάθλασης έχει επίδραση όταν το βυθισμένο αντικείμενο φωτογραφίζεται έξω από το νερό (περιβάλλον αέρας-νερό) αλλά και όταν φωτογραφίζεται υποβρυχίως αφού οι οπτικές ακτίνες περνούν μέσα από το νερό και στη συνέχεια διέρχονται από τον αέρα που μεσολαβεί μεταξύ του φακού της μηχανής και της υδατοστεγούς θήκης (αέρας- housing-νερό). Άμεση συνέπεια της διάθλασης είναι η μεταβολή της εστιακής απόστασης. Ένας φακός σε περιβάλλον αέρα-νερού συμπεριφέρεται σαν να έχει μεγαλύτερη εστιακή απόσταση από την πραγματική του. Για το λόγο αυτό προτιμώνται ευρυγώνιοι φακοί σε

υποβρύχιες αποτυπώσεις εκτιμώντας πάντα και τις επιπρόσθετες εκτροπές που δημιουργούν (Παπαγεωργίου 2001, Διαμαντή 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες που προσθέτει το περιβάλλον κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας γίνεται φανερό ότι για την πραγματοποίηση τοπογραφικών μετρήσεων είναι απαραίτητος ο αυστηρός προγραμματισμός και συντονισμός τους και η απόλυτη εξοικείωση του συνεργείου με το θαλάσσιο περιβάλλον (Δουκάκης 1999, Μπαλοδήμος 1993).

2.3.2 Μέθοδοι Αποτύπωσης

Ο περιορισμός στο χρόνο παραμονής στο βυθό, το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του αντικειμένου καθώς και η ανάγκη χρήσης οργάνων που μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά στο υδάτινο περιβάλλον οδηγούν στη χρήση ειδικών οργάνων και μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης υποβρυχίως. Αναφορικά οι μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται είναι αναβιβασμού σημείων, τριπλευρισμού, πολικών συντεταγμένων, καρτεσιανών συντεταγμένων, καννάβου, και μέθοδοι που χρησιμοποιούν σύγχρονα ηχοβολιστικά όργανα.

Οι μετρήσεις μηκών πραγματοποιούνται είτε άμεσα με μετροταινίες είτε έμμεσα με χρήση ηχοβολιστικών συστημάτων, sonar (sound navigation and ranging). Η διαδικασία μέτρησης μιας απόστασης με μετροταινία είναι όμοια με τις επίγειες μετρήσεις. Για την αποφυγή του βέλους κάμψης, το οποίο εμφανίζεται μεγαλύτερο όταν κυριαρχούν ρεύματα στην περιοχή, γίνεται πύκνωση της ευθυγραμμίας για τη μέτρηση της απόστασης τμηματικά. Η διαδικασία αυτή γίνεται με τη χρήση ορθόγων. Το ορθόγωνο που χρησιμοποιείται είναι ένα κοινό πεντάπρισμα με στυλεό για την εύκολη υλοποίηση του σημείου πύκνωσης. Τοποθετείται στη μέση της μετρούμενης απόστασης και έχει τη δυνατότητα να εξαλείψει το βέλος κάμψης και άρα να διπλασιάσει την απόσταση που μπορεί να μετρηθεί. Σε υποβρύχιες εργασίες που γίνονται σε περιοχές με μεγάλα ρεύματα και περιορισμένη ορατότητα οι μετρήσεις αποστάσεων μπορούν να γίνουν με συστήματα sonar. Η μέτρηση ενός μήκους με χρήση sonar πραγματοποιείται με την τοποθέτηση του πομπού στο ένα άκρο και του πομπού-δέκτη στο άλλο. Συγχρόνως λαμβάνονται τιμές της θερμοκρασίας του νερού και της πυκνότητας του άλατος για να καθοριστεί η ταχύτητα του ήχου στο θαλασσινό νερό. Με τη μέθοδο αυτή μετρώνται κεκλιμένες αποστάσεις, επομένως, είναι απαραίτητη η μέτρηση υψομετρικών διαφορών για να αναχθούν οι κεκλιμένες αποστάσεις σε οριζόντιες. Επιπλέον υστερεί σε ακρίβεια από τις μετρήσεις με μετροταινία και συνήθως χρησιμοποιείται σε υδρογραφικές αποτυπώσεις «μεγάλης κλίμακας» και όχι σε περιπτώσεις γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων.

Οι μετρήσεις γωνιών υποβρυχίως εκτελούνται σπανιότερα και προτιμώνται οι πλευρομετρήσεις. Ωστόσο μετρήσεις γωνιών μπορούν να γίνουν με ειδικές στεγανοποιημένες πυξίδες, γραφικά με χρήση μετροτράπεζας και εκ των υστέρων μέτρηση

των γωνιών στην ξηρά, και γενικά με χρήση σκοπευτικών διατάξεων που προσομοιάζουν τη λειτουργία ενός θεοδόλιχου και μπορούν να λειτουργήσουν στο νερό.

Όσον αφορά στις υψομετρικές διαφορές αυτές μετρώνται είτε με γεωμετρική χωροστάθμιση, με ειδικό χωροβάτη ανθεκτικό στο νερό, είτε με υδραυλική χωροστάθμιση με χρήση αλφαδολάστιχου, είτε με μέτρηση της διαφοράς υδροστατικής πίεσης μεταξύ δύο σημείων με διαφορικό βαθύμετρο. (Δουκάκης 1999, Μπαλοδήμος 1993).

2.4 Περιπτωσιολογικές Μελέτες

2.4.1. Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές σε Περιβάλλον Αέρα – Νερού

Ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία εντοπίζονται αρκετές εφαρμογές τόσο της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας όσο και περιπτώσεις όπου η φωτογραφική μηχανή βρίσκεται έξω από το νερό και το αντικείμενο μέσα σε αυτό.

Για την αποτύπωση ποντισμένων περιοχών και τη λήψη φωτογραφιών που οδηγούν σε προϊόντα μεγάλης κλίμακας έχει χρησιμοποιηθεί υπερυψωμένη πλατφόρμα για την υποστήριξη της φωτογραφικής μηχανής (Elfick, Fryer, 1983). Οι εφαρμογές αυτές έχουν υποδείξει μια διόρθωση από την επιρροή της διάθλασης κατά τη διάδοση των ακτίνων διαμέσου της επιφάνειας αέρα-νερού. Ακόμα, αεροφωτογραφίες έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να καταγραφούν λεπτομέρειες του πυθμένα της θάλασσας (Byrne and Honey, 1978, Harris and Umbach, 1972, Masry, 1975). Τα αποτελέσματα των εφαρμογών αυτών ήταν ακρίβειας της τάξης του 10% του βάθους σε περιοχές με καθαρά νερά και βάθη από 5m έως 10m.

- Σε εφαρμογή των Elfick και Fryer (1983) για τη χαρτογράφηση υποβρύχιας περιοχής σχηματίστηκε μία πλατφόρμα από plexiglas η οποία προσαρμόστηκε στην επιφάνεια της θάλασσας και επάνω της σταθεροποιήθηκαν δύο φωτογραφικές μηχανές. (Fryer, 1983). Χρησιμοποιήθηκαν φωτοσταθερά διαμέτρου 10mm που τοποθετήθηκαν στον πυθμένα της περιοχής προς αποτύπωση. Η επιδράσεις της διάθλασης εκτιμήθηκαν από το νόμο του Snell γνωρίζοντας τις γωνίες πρόσπτωσης των οπτικών ακτίνων, το βάθος, το ύψος λήψης από την επιφάνεια της θάλασσας, την οριζόντια απόσταση από το πρωτεύον σημείο καθώς και την εστιακή απόσταση του φακού, υπολογίστηκε η απόσταση d κάθε σημείου στη φωτογραφία, ως προς την κατακόρυφο στο σημείο εξόδου της ακτίνας από το νερό. Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν είναι της τάξης των 4mm οριζοντιογραφικά και 14mm υψομετρικά. (Elfick & Fryer 1983).
- Οι Butler, Lane, Chandler και Porfiri (2002), εφάρμοσαν τη φωτογραμμετρική μέθοδο σε δύο μέσα για την αποτύπωση της δομής του πυθμένα ενός ποταμού. Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (ΨΜΥ) που αποκτήθηκαν υπέστησαν διόρθωση από

τις επιδράσεις της διάθλασης με εφαρμογή ενός αλγορίθμου που αναπτύχθηκε και ο οποίος διόρθωνε το υψόμετρο του σημείου ανάλογα με το βάθος που προέκυπτε από το αρχικό ΨΜΥ και τη γωνία πρόσπτωσης της οπτικής ακτίνας. Έτσι δημιουργήθηκε το τελικό ΨΜΥ απαλλαγμένο από τις επιδράσεις της διάθλασης και με πραγματικά υψόμετρα σημείων. Για να θεωρηθεί επίπεδη η επιφάνεια του ποταμού και να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις από τους κυματισμούς τοποθετήθηκε κομμάτι plexiglas πάνω από την προς φωτογράφιση επιφάνεια. Η επιδράσεις της διάθλασης λόγω της επιφάνειας αυτής θεωρήθηκαν αμελητέες σύμφωνα με τους Fryer (1983) και Newton (1989). Πραγματοποιήθηκαν λήψεις από απόσταση 1.2m, με νερό ύψους 12cm ή χωρίς νερό και δεν παρατηρήθηκαν συστηματικές διαφορές μεταξύ των ΨΜΥ. Τα προβλήματα που προέκυψαν φαίνεται να οφείλονται στην ελαφρά εξασθένηση της έντασης του φωτός αλλά και στην υπολειπόμενη παράλλαξη. Στα δύο προαναφερθέντα περιβάλλοντα λήψης, επιχειρήθηκε η συλλογή δεδομένων με φωτοσταθερά στον πυθμένα ή φωτοσταθερά στο plexiglas. Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου διόρθωσης, είναι της τάξης των 3mm για τις λήψεις με σημεία ελέγχου στο plexiglas και της τάξης των 40mm για τις λήψεις με φωτοσταθερά στον πυθμένα του ποταμού.

Σε εφαρμογές αυτοματοποιημένων μεθόδων και συγκεκριμένα στην αυτόματη ψηφιακή συνταύτιση (stereomatching algorithms), που είναι μια σύγχρονη εξέλιξη της Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας και της Όρασης Υπολογιστών, η αβεβαιότητα επιτυχίας των σχετικών αλγορίθμων είναι αυξημένη για τις περιπτώσεις που μεσολαβεί νερό.

- Όσον αφορά στην ελληνική βιβλιογραφία συναντάται η εφαρμογή (Αγραφιώτης, 2012) που περιλαμβάνει την αποτύπωση ποντισμένου αρχαιολογικού χώρου στην περιοχή της Επιδαύρου σε βάθος που κυμαίνεται από 0.5m έως 2m και επιχειρεί την ανάπτυξη τέτοιων Φωτογραμμετρικών μεθόδων δύο μέσων για την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Επιπλέον αναφέρεται στα ειδικά προβλήματα που προκαλούνται από την παρουσία του νερού καθώς και στην αντιμετώπισή τους, στην πρόκληση σφαλμάτων λόγω των κυματισμών, στην αλλοίωση των χρωμάτων και στην μέθοδο αντιμετώπισής της. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις επιδράσεις της διάθλασης της οπτικής ακτίνας στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα/νερού στις φωτογραμμετρικές εργασίες δύο μέσων και στη Συνθήκη Συγγραμμικότητας και σχεδιάζεται ειδικό πρόγραμμα διόρθωσής τους βασισμένο στην αναλυτική γεωμετρία. Ο αλγόριθμος αυτός, εφαρμόζεται πριν το στάδιο της καθαυτό φωτογραμμετρικής επεξεργασίας και προτείνεται η εφαρμογή του σε αντίστοιχες φωτογραμμετρικές εφαρμογές. (Αγραφιώτης, 2012)

2.4.2. Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές σε Υδάτινο Περιβάλλον

- Σημαντική εφαρμογή υποβρύχιας φωτογραμμετρίας αφορά στην φωτογραμμετρική τεκμηρίωση αρχαίου ναυαγίου (2ος-1ος αι. π.Χ.) που εντοπίστηκε στο νότιο Ευβοϊκό. Το ναυάγιο βρίσκεται σε βάθος 39-47m σε επικλινή και αμμώδη βυθό (Διαμαντή, 2011). Το ναυάγιο φωτογραφήθηκε από απόσταση 5-6m σε τέσσερις λωρίδες λήψεων. Η βαθμνόμενη της μηχανής έγινε στο περιβάλλον του νερού. Προϊόντα της εφαρμογής ήταν το φωτομωσαϊκό του ναυαγίου και το τρισδιάστατο μοντέλο του. Επίσης αναφέρεται η φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου 4ου αι. στον Μαζωτό (Κύπρος) σε βάθος 45m με όμοια προϊόντα και καθιστά προφανή και αδιαμφισβήτητη την αποτελεσματικότητα της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας σε βάθη όπου καμία άλλη μέθοδος δε μπορεί να εφαρμοστεί με την ακρίβεια που απαιτεί η αποτύπωση ενός μνημείου. (Demesticha, 2010)
- Μία καινοτόμα φωτογραμμετρική εφαρμογή που αξίζει να αναφερθεί είναι η αποτύπωση του Costa Concordia, που αποτελεί την πρώτη αποτύπωση πλωτού αντικειμένου. Στις 12/01/2012, το ιταλικό κρουαζιερόπλοιο Costa Concordia βυθίστηκε μερικώς ανοικτά των ακτών της Isola del Giglio αφότου προσέκρουσε με την πλαϊνή του πλευρά σε έναν ύφαλο γνωστό ως Le Sciole. Μετά την πρόσκρουση, το πλοίο, χωρίς έλεγχο του τιμονιού και χωρίς προωθητική δύναμη, προσάραξε κοντά στην είσοδο του λιμανιού Giglio Porto, με τη δεξιά του πλευρά να σχηματίζει με τον πυθμένα μια τελική γωνία κλίσης περίπου 70 μοιρών. Το ατύχημα είναι γνωστό σε όλο τον κόσμο, για τη δυναμική (η επίδραση συνέβη πολύ κοντά στην ακτογραμμή και σε πολύ ρηχά νερά), για τα θύματά του και για τις συνέπειες από την άποψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο της ένδικης διαδικασίας, ορίστηκε να μετρηθούν διαστάσεις και να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της διαρροής που παράγεται από την σύγκρουση του πλοίου με τα βράχια, με υψηλή ακρίβεια και με μη επεμβατική τεχνική.



Εικόνα 2.1: Costa Concordia προς αποτύπωση σε πλωτές συνθήκες (google)

Η δυσκολία της αποτύπωσης σχετιζόταν αφενός με το γεγονός ότι το πλοίο ήταν ημιβυθισμένο και έπρεπε να αποτυπωθεί σε πλωτές συνθήκες (το κόστος ρυμούλκησης ήταν πολύ υψηλό) αφετέρου με το ότι η πλευρά προς αποτύπωση, όπου υπήρχε η διαρροή, δεν ήταν ορατή από τη στεριά ώστε να γίνουν από εκεί οι απαραίτητες μετρήσεις. Η διαρροή εμφανιζόταν σε μήκος 52m και σε πλάτος 5m (1m πάνω από την ισάλο γραμμή και 4m κάτω). Ζητούμενο της αποτύπωσης ήταν να επιτευχθεί η ίδια ακρίβεια για το βυθισμένο τμήμα του πλοίου και για το τμήμα πάνω από την ισάλο γραμμή επομένως ήταν αδύνατο να εφαρμοστούν διαφορετικές τεχνικές πχ. Οπτικές μέθοδοι (σάρωση με λέιζερ, φωτογραμμετρία) για το ξηρό τμήμα και ακουστικές μέθοδοι για το βρεχόμενο τμήμα. Για το λόγο αυτό φωτογραφήθηκε το πάνω τμήμα έξω από το νερό και το κάτω τμήμα υποβρυχίως, αφού προηγουμένως έγινε μία δοκιμαστική εφαρμογή της μεθόδου σε πλωτή βάρκα 6m η οποία ήταν επιτυχής. Στη συνέχεια η εφαρμογή έγινε στο πλοίο μήκους 300m περίπου με επιφάνεια διαρροής προς αποτύπωση 60m επί 5m. Χρησιμοποιήθηκαν 5 συσκευές προσανατολισμού (orientation devices) που έφεραν κωδικοποιημένους στόχους, των οποίων οι σχετικές θέσεις είχαν μετρηθεί με υψηλή ακρίβεια στο εργαστήριο, και κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα στο τμήμα της διαρροής ώστε να καλύπτουν και το πάνω και το κάτω τμήμα της ισάλου. Επίσης στόχοι διαμέτρου 30mm προσαρμόστηκαν ομοιόμορφα με ισχυρούς μαγνήτες στο τμήμα της διαρροής. Οι στόχοι πυκνώθηκαν πλησίον της ισάλου γραμμής. Οι συνεταγμένες των στόχων των συσκευών προσανατολισμού προσδιορίστηκαν με υποβρυχίως μετρήσεις και με γνωστές τις σχετικές τους θέσεις από το εργαστήριο συνδέθηκαν τα δύο συστήματα αναφοράς (άνω της ισάλου - κάτω της ισάλου). Επίσης τοποθετήθηκαν μπάρες κλίμακας για να αποκτήσει κλίμακα το μοντέλο. Η

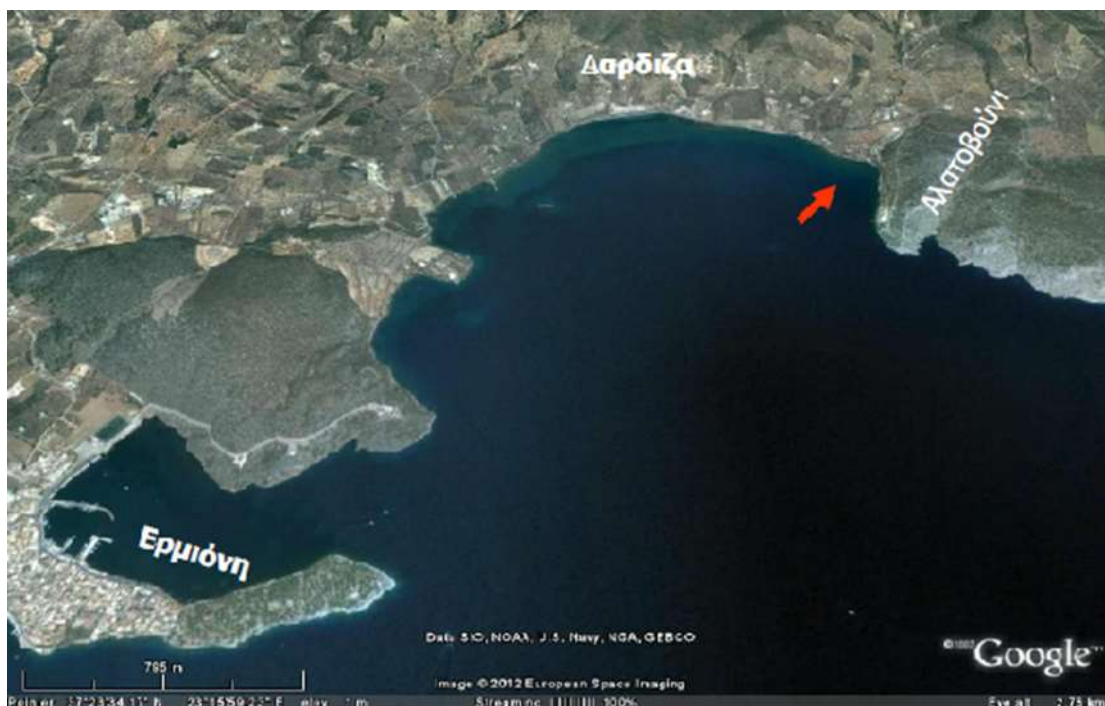
διαδικασία βαθμονόμησης στην ξηρά ήταν ίδια με τη βαθμονόμηση υποβρυχίως. Για την υποβρύχια φωτογράφιση χρησιμοποιήθηκε διορθωτικός φακός για την εξάλειψη της επίδρασης της διάθλασης. Για τον προγραμματισμό της φωτογράφισης ελήφθησαν δεδομένα από τον παλιρροιογράφο του κοντινού νησιού Έλβα και εκτιμήθηκε εύρος παλίρροιας ίσο με 25cm. Οι λήψεις έξω από το νερό έγιναν κατά τη διάρκεια της άμπωτης σε λωρίδες απο διαφορετικά ύψη και αποστάσεις (7-12m) χρησιμοποιώντας διαφορετικές βάρκες. Οι υποβρύχιες λήψεις έγιναν σε διαφορετική ώρα κατά τη διάρκεια της πλυμμυρίδας από μέση απόσταση 3 m. Οι διαδικασίες συνταύτισης έγιναν με ημιαυτόματο τρόπο και εφαρμόστηκε αυτοβαθμονόμηση στη συνόρθωση με δέσμες με αρχικές προσεγγιστικές τιμές. Παρήχθη τελικά νέφος σημείων πυκνότητας 1/10 mm για το πάνω τμήμα και 1/5mm για το κάτω τμήμα τα οποία συνενώθηκαν με ακρίβεια $\sigma_X = 7.2\text{mm}$, $\sigma_Y = 4.1\text{mm}$ $\sigma_Z = 11.1\text{mm}$ σε ένα μοναδικό νέφος που απεικονίζει τις ρωγμές και τις παραμορφώσεις γύρω από την κύρια ρωγμή και υπολογίστηκε ο ρυθμός ροής αφού μετρήθηκε η επιφάνεια της ρωγμής. Η μέθοδος αυτή προτείνεται για αποτύπωση σε κυμαινόμενα ημι-βυθισμένα αντικείμενα με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας (2pts/cm). (Menna & Nocerino & Troisi & Remondino 2013)

3. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Περιοχή Αρχαιολογικού Χώρου

Το Νοέμβριο του 2004 κλιμάκιο της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων κατά την αυτοψία για την αδειοδότηση επαναλειτουργίας εξέδρας φόρτωσης υλικών, στην περιοχή του όρμου Δάρδιζας Θερμησίας στο Δήμο Ερμιόνης εντόπισε στην ανατολική πλευρά του όρμου ποντισμένα κατάλοιπα δύο κτηριακών συγκροτημάτων.

Στο ανατολικό πέρας της παραλίας της Δάρδιζας βρίσκονται εγκαταστάσεις λατομικών εργασιών Μποδοσάκη που λειτουργούσαν κατά τις δεκαετίες 1950, 1960. Στην ανατολική πλευρά του όρμου ο βυθός είναι κατάσπαρτος από σύγχρονα υλικά. «Ανάμεσά τους εντοπίστηκαν όστρακο βυζαντινού αμφορέα, καθώς και επίπεδη βάση παραδοσιακού αγγείου. Και τα δύο αντικείμενα φαίνεται να αποτελούν τυχαίες απορρίψεις από πλοία που χρησιμοποίησαν τον προστατευμένο όρμο ως αγκυροβόλιο. Κατά μήκος της παραλίας του όρμου μία ζώνη πλάτους 100m περίπου, η οποία καταλήγει σε βάθος 4 με 5m αποτελεί βυθισμένη αρχαία ακτή» (Θεοδούλου, 2012). Το φαινόμενο παρατηρείται σε όλες τις ακτές της Πελοποννήσου πλην της βόρειας, όπως μαρτυρούν αντίστοιχα ευρήματα στις Κεγχρεές, την Επίδαυρο, το Φούρκαρι, την Ερμιόνη, το Πορτοχέλι, το Σαλάντι, την Πλάκα Λεωνιδίου, το Παυλοπέτρι, την Πλύτρα, τη Μεθώνη, τη Φειά, κ.α.

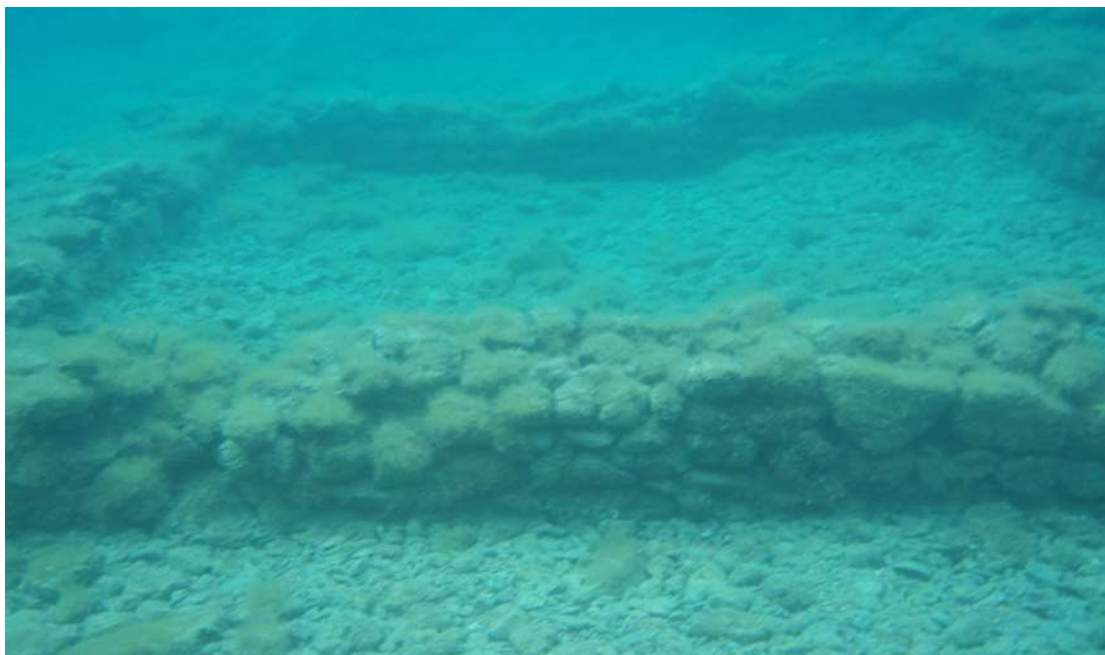


Εικόνα 3.1: Περιοχή αρχαιολογικού χώρου (google maps, Θεοδούλου)

Στη θαλάσσια περιοχή μπροστά από το κτήριο του σχολείου των εγκαταστάσεων Μποδοσάκη εντοπίζονται τα βυθισμένα κατάλοιπα δύο συγκροτημάτων κτηρίων (15m X 15m και 8m X 8m περίπου). Οι τοίχοι σώζονται σε ύψος μέχρι 1m στο κτήριο που εντοπίζεται σε βάθη 2.40m έως 1.50m και συνεχίζουν εγκάρσια προς την παραλία με βαθμιαία μειούμενο σωζόμενο ύψος μέχρι την ακτή. Το πάχος των τοίχων ποικίλλει από 0.50m στους εσωτερικούς μέχρι 0.80m στους εξωτερικούς. Το άνω σωζόμενο τμήμα τους είναι κτισμένο με αργολιθοδομή, ενώ διακρίνεται και στρώση κεραμικών. Στη βάση των τοίχων και στις γωνίες χρησιμοποιούνται και λιθόπλινθοι.

«Το βορειότερο σύμπλεγμα αποτελείται από οκτώ τουλάχιστον κλειστούς ορθογώνιους χώρους στα νότια, ενώ ένας μεγάλος χώρος, ίσως αυλή στα βόρεια δε σώζει τέταρτο βόρειο τοίχο. Στα δυτικά του συμπλέγματος ένας παράλληλος εξωτερικός τοίχος σχηματίζει διάδρομο πλάτους 1.5m περίπου. Στο βορειότερο τμήμα του προς την παραλία, το δάπεδό του είναι στρωμένο με τετράγωνες κεραμικές πλάκες, πλευράς 0.40m περίπου. Κάποιες βρίσκονται κατά χώραν, ενώ οι υπόλοιπες είναι διαταραγμένες.

Το νοτιότερο σύμπλεγμα, γύρω στα 5m διαγωνίως νοτιοδυτικά από το βόρειο, αποτελείται από τρεις τετράπλευρους χώρους, δύο στα νότια και ένα στα βόρεια. Εφαπτόμενη στη βόρεια πλευρά του βόρειου χώρου εντοπίζεται ημικυκλική κατασκευή με χοντρούς τοίχους, πιθανόν φούρνος, κλίβανος ή κλιμακοστάσιο. Σημειώνεται η περίπτωση του κλιβάνου γιατί η έντονη παρουσία κεραμικών θραυσμάτων και τμημά των πύθων πιθανόν να υπονοεί την ύπαρξη κεραμικού εργαστηρίου, εάν όχι αποθηκευτικού χώρου. Στον χώρο εντοπίστηκε επίσης τμήμα στομίου πηγαδιού» (Θεοδούλου, 2012).



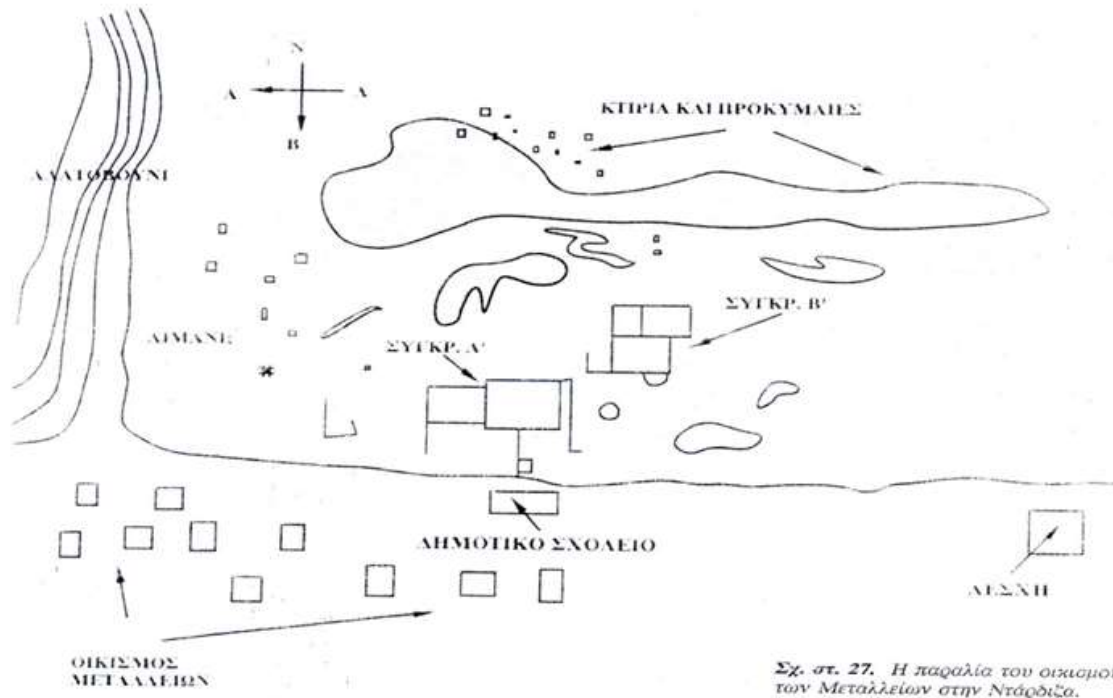
Εικόνα 3.2: Ποντισμένα κτηριακά κατάλοιπα

Από τα διάσπαρτα κεραμικά ευρήματα το μνημείο τοποθετείται χρονικά στην υστερορωμαϊκή/πρωτοβυζαντινή περίοδο. Ενδεικτικό της περιόδου αυτής είναι και η χρήση κεραμικών στη δόμηση. Σύμφωνα με αρχαιολογική έρευνα θεωρείται πιθανό οι κτιριακοί σχηματισμοί να αποτελούν κατάλοιπα αγρεπαύλεως, όπως υπονοεί η ισχυρή κατασκευή και η χρήση κεραμικών πλακών στο δάπεδο του διαδρόμου, η οποία περιελάμβανε αποθηκευτικούς ή/και εργαστηριακούς χώρους. Η παρακείμενη πεδιάδα, μεγαλύτερη στην αρχαιότητα πριν από την αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης, θα μπορούσε να υποστηρίξει μια τέτοια εγκατάσταση με την αγροτική της παραγωγή. Επίσης η δυτική πλευρά του όρμου αποτελούσε απάνεμο μέρος κατάλληλο για προσόρμιση, δημιουργώντας ναυτική σύνδεση με τους γειτονικούς οικισμούς, όπως π.χ. της ακμάζουσας στην ρωμαϊκή περίοδο Ερμιόνης. Η ύπαρξη μεταλλευμάτων στην περιοχή θα μπορούσε να αποτελεί άλλο ένα λόγο εγκατάστασης στη συγκεκριμένη θέση. Ωστόσο ασφαλέστερα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν έπειτα από περαιτέρω αρχαιολογική έρευνα.



Εικόνα 3.3: Πώμα, όστρακα αγγείων και χείλος λοπάδος (Θεοδούλου)

«Αναφορά στα κατάλοιπα κάνει ο Β.Α. Γκάτσος (1996, 182-187). Τα ταυτίζει με τα λείψανα της μυκηναϊκής πόλης των Ηιώνων (Στράβων III.373), γεγονός που αμφισβητούν άλλοι μελετητές και δεν φαίνεται να τεκμηριώνεται από τα επιφανειακά ευρήματα. Ο ερευνητής σημειώνει και άλλα βυθισμένα κτηριακά κατάλοιπα, καθώς και περιοχή με όστρακα πίστων δυτικότερα από τα δύο συγκροτήματα, ενώ αναφέρει και ίχνη κρηπιδώματος στα νότια των δύο συγκροτημάτων. Σημειώνει δε ότι και στους αγρούς της παρακείμενης πεδιάδας εντοπίζονται όστρακα κεραμικής σε διάφορες θέσεις. Προφανώς, η περιοχή, χερσαία και θαλάσσια χρήζει περεταίρω συστηματικής και ενδεδειγμένης έρευνας ώστε να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα για την χρήση και την τοπογραφία της.» (Θεοδούλου, 2012).



Εικόνα 3.4: Γενικό σκαρίφημα του χώρου από το βιβλίο του Β. Γκάτσου, 1996, “Η των Ερμιονέων πόλις” (Θεοδούλου)

3.2 Δυσκολίες

Ο αρχικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η αποτύπωση των δύο κτηριακών συγκροτημάτων με συνδυασμό φωτογραμμετρικών μεθόδων, δηλαδή υποβρύχια φωτογραμμετρία και εφαρμογή φωτογραμμετρικής μεθόδου δύο μέσων, και στη συνέχεια να εκτιμηθούν και να καθοριστούν οι δυνατότητές τους.

Σχεδιάστηκε να αποτυπωθεί το κτηριακό συγκρότημα που βρίσκεται σε βάθος 1.50m έως 2.40m με προσανατολισμό υποβρύχιας φωτογραφιών και το συγκρότημα που βρίσκεται σε βάθος 0.70m έως 1.50m να αποτυπωθεί με προσανατολισμό φωτογραφιών στο περιβάλλον αέρα-νερού με λήψεις από ειδικό τρίποδα με δυνατότητα ανύψωσης 7.5m.

Ωστόσο υπήρξαν αντικειμενικές δυσκολίες τόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όσο και εκ των υστέρων που συντέλεσαν στον αναπρογραμματισμό από τον αρχικό στόχο. Τα μέσα που ήταν διαθέσιμα ήταν τα ελάχιστα και ο χρόνος που απαιτούνταν για τις εργασίες υπαίθρου ήταν πολύ περισσότερος από τον διαθέσιμο. Επιπλέον τα κτηριακά συγκροτήματα είχαν καλυφθεί από φυτά της θάλασσας και έγινε επιτόπου εκτίμηση από μέλη της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων ότι για να καθαριστούν με ειδικές βούρτσες –που ήταν απαραίτητο για να φωτογραφηθούν- χρειαζόταν περίπου μία εβδομάδα εργασιών, ενώ οι τοπογραφικές μετρήσεις είχαν προγραμματιστεί να γίνουν σε δύο μέρες και είχε παραχωρηθεί άδεια για αυτό το χρονικό διάστημα. Επίσης μετά τον καθαρισμό του αντικειμένου χρειαζόταν να περάσει ένα διάστημα κάποιων ωρών ώστε να καθαρίσει ο

βυθός από την ανάδυσή του. Επειδή το χρονικό όριο υπήρξε ασφυκτικά μικρό αποφασίστηκε να φωτογραφηθεί μόνο το κτηριακό συγκρότημα που βρισκόταν σε μικρότερο βάθος (0.70m έως 1.50m) και είχε καθαριστεί στοιχειωδώς για το λόγο αυτό. Φωτογραφήθηκε σε δύο μέσα (αέρας-νερό) και ελήφθησαν συμπληρωματικές φωτογραφίες υποβρυχίως. Η αναφορά στο σύνολο των εργασιών στο πεδίο εκτιμάται άσκοπη αφού εντέλει δε χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα που αποκτήθηκαν. Η εργασία ξεκίνησε με σχεδιασμό να εκπονηθεί από δύο άτομα και τελικά ολοκληρώθηκε από ένα. Για το λόγο αυτό τελικά η εργασία προσανατολίστηκε στην εφαρμογή και αξιολόγηση της φωτογραμμετρικής μεθόδου σε περιβάλλον αέρα-νερού σε τμήμα του κτηριακού συγκροτήματος που βρίσκεται στα ρηχότερα νερά.

3.3 Συλλογή Δεδομένων

3.3.1 Αναγνώριση Περιοχής Αντικειμένου

Μετά τη μελέτη των πληροφοριών που παρείχε η εφορεία εναλίων αρχαιοτήτων για τον αρχαιολογικό χώρο και τη θέση του, δρομολογήθηκε η μετάβαση στο πεδίο για την αναγνώριση της περιοχής που ενδιαφέρει. Αυτή περιελάμβανε αναγνώριση από ξηράς παράκτιας περιοχής κοντά στα ποντισμένα κτηριακά κατάλοιπα και του ποντισμένου κτηριακού συγκροτήματος κολυμπώντας με μάσκα. Εκτιμώντας τις υπάρχουσες συνθήκες, (απαιτούμενος χρόνος στο πεδίο, καταλληλότητα αντικειμένου) επιλέχθηκε και οριοθετήθηκε το τμήμα του αντικειμένου προς φωτογραμμετρική αποτύπωση και μετρήθηκαν βασικές διαστάσεις (μήκη- πλάτη- ύψη τοίχων, βάθη) με μετροταινία και έγινε σύνταξη αυτοσχέδιων με σκοπό να αποτελέσουν τη βάση για τον προγραμματισμό των εργασιών.



Εικόνα 3.5: Βάθη περιοχής αντικειμένου (Navionics)



Εικόνα 3.6: Περιοχή αντικειμένου (google maps)



Εικόνα 3.7: Αναγνώριση περιοχής αντικειμένου

3.3.2 Προγραμματισμός - Φωτογράφιση

Για την εκτέλεση των κατακόρυφων λήψεων χρησιμοποιήθηκε ειδικός τρίποδας με δυνατότητα ανύψωσης από 7.5m έως 8m και φωτογραφική μηχανή CANON EOS-1Ds Mark

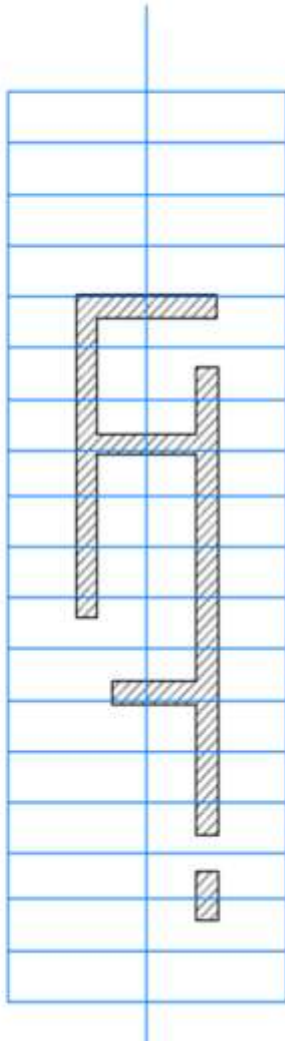
III full frame DSLR 21 Mpixel με μέγεθος pixel 6,4μm, η βαθμονόμηση της οποίας είχε ήδη εκτελεστεί, ύστερα από κατάλληλες μετρήσεις στο πεδίο ελέγχου του κέντρου μετρολογίας της ΣΑΤΜ. Η φωτογραφική μηχανή προσαρμόστηκε σε αυτοσχέδια βάση από Plexiglas ώστε να διατηρείται η κατακορυφότητά της, κατά την ανύψωσή της με τροχαλία και σκοινί στον τρίποδα.

Η φωτογράφιση επιλέχθηκε να γίνει με φακό ονομαστικής εστιακής απόστασης 24mm και το οριζόντιο format της μηχανής να είναι παράλληλο στη διεύθυνση «πτήσης». Η βάση λήψης επιλέχθηκε να είναι 1m, ώστε οι διαδοχικές λήψεις να έχουν 80% επικάλυψη, για λόγους ασφαλείας, και προγραμματίστηκε να ληφθούν 11 φωτογραφίες σε μία λωρίδα λήψεων.

Οι φωτογραφίες ελήφθησαν κατά τις μεσημβρινές ώρες, ώστε να αποφευχθεί η απόκρυψη φωτογραφικής πληροφορίας από σκιές σε τμήματα με υψομετρική διαφορά.

Για να διατηρείται κατά τη φωτογράφιση σταθερή η βάση λήψης και να τοποθετείται η μηχανή στην προγραμματισμένη θέση των κέντρων λήψεων τοποθετήθηκε μετροταινία παράλληλα στη διεύθυνση λήψης και συγκρατήθηκε στο βυθό με πέτρες.

Η μετακίνηση του τρίποδα στο χώρο του μνημείου γινόταν από μέλη του συνεργείου με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να είναι σταθερή και ασφαλής η ανυψωμένη φωτογραφική μηχανή, να διατηρείται ο βυθός καθαρός από τις κινήσεις και να μη μετακινούνται οι ενδεχομένως ασταθείς πέτρες της τοιχοποιίας του μνημείου.



Εικόνα 3.8: Προγραμματισμός λήψεων

3.3.3 Απόκρυψη Πληροφορίας κατά τη Φωτογράφιση

Επειδή το αντικείμενο προς φωτογράφιση ήταν καλυμένο από φυτά της θάλασσας, τα οποία θα απέκρυβαν πληροφορία στη φωτογραφία, καθαρίστηκε από ειδικό κλιμάκιο της εφορίας εναλίων αρχαιοτήτων που μετέβει στην περιοχή για το σκοπό αυτό.



Εικόνα 3.9: Κάλυψη από θαλάσσια φυτά

Ένα από τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη φωτογράφιση ήταν η πρόκληση θόλωσης στο βυθό από τις κινήσεις των μελών του συνεργείου. Για την αντιμετώπιση της θόλωσης κάθε λήψη γινόταν λίγα λεπτά μετά τη μετακίνηση του συνεργείου για να καθαρίσει ο βυθός. Επιπλέον υπήρξε σημαντική απόκρυψη πληροφορίας τόσο από μέλη του συνεργείου, που αναγκαστικά φωτογραφήθηκαν, αφού έπρεπε να εξασφαλίζουν τη σταθερότητα του τρίποδα ανά πάσα στιγμή, όσο και από τις ηλιακές αντανακλάσεις. Η απόκρυψη πληροφορίας από την επίδραση των ηλιακών αντανακλάσεων ήταν αδύνατο να αντιμετωπιστεί τόσο κατά τη διάρκεια των λήψεων όσο και με ραδιομετρική επεξεργασία των εικόνων εκ των υστέρων.



Εικόνα 3.10: Απόκρυψη πληροφορίας

3.3.4 Επιλογή Φωτοσταθερών Σημείων

Για την επιλογή των φωτοσταθερών σημείων εντοπίστηκαν στις φωτογραφίες- μετά από μεγάλη μεγέθυνση στον υπολογιστή- τα φυσικά σημεία που ήταν ορατά σε δύο τουλάχιστον διαδοχικές φωτογραφίες (γωνίες τοίχων, λίθων, πετρών του βυθού) και κάλυπταν υψομετρικά και οριζοντιογραφικά επαρκώς το αντικείμενο.

Στη συνέχεια εκτυπώθηκαν οι φωτογραφίες, χωρίς μεγέθυνση, εντοπίστηκαν και επισημάνθηκαν τα φωτοσταθερά σημεία και αδιαβροχοποιήθηκαν ώστε να χρησιμοποιηθούν ως κροκί για τον εντοπισμό των φωτοσταθερών κατά τις γεωδαιτικές τους μετρήσεις.

3.3.5 Γεωδαιτικές Μετρήσεις Φωτοσταθερών

Για τις γεωδαιτικές μετρήσεις των φωτοσταθερών σημείων χρησιμοποιήθηκε ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TOPCON GPT 3003 LN ακρίβειας μέτρησης γωνιών 10cc και μέτρησης μηκών $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ με χρήση ανακλαστήρα και $\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$ χωρίς ανακλαστήρα. Οι μετρήσεις έγιναν με τη μέθοδο αναβιβασμού σημείων με χρήση στυλεού και ανακλαστήρα, αφού το βάθος το επέτρεπε (βάθος από 0.20m έως 1.20m). Οι μετρήσεις έγιναν σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς όπως συνηθίζεται σε εφαρμογές αποτυπώσεων μνημείων, δεδομένου ότι ενδιαφέρουν οι σχετικές θέσεις των σημείων του

αντικείμενου και οι πραγματικές του διαστάσεις, χωρίς αυτές να έχουν υποστεί παραμόρφωση λόγω χαρτογραφικής προβολής.

Τα βάθη των σημείων μετρήθηκαν από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Μετρήθηκε ένα σημείο στον προβλήτα από σκυρόδεμα το υψόμετρο του οποίου ήταν ίσο με τη στάθμη της θάλασσας εκείνη τη στιγμή. Λαμβάνοντας υπόψιν τις αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας σε διάστημα ενός χρόνου και την εκτιμώμενη ακρίβεια προσδιορισμού υψομετρικής πληροφορίας από το τελικό φωτογραμμετρικό παράγωγο, έγινε η παραδοχή ότι η μέτρηση αυτή προσεγγίζει τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Κάθε φωτοσταθερό σημείο εντοπιζόταν πρώτα στο κροκί, ύστερα στο αντικείμενο με μάσκα, γινόταν η μέτρηση και τελικά φωτογραφιζόταν υποβρυχίως, ώστε να διευκολύνεται αργότερα η αναγνώριση και σκόπευσή του κατά τους προσανατολισμούς στο φωτογραμμετρικό σταθμό.



Εικόνα 3.11: Εντοπισμός φωτοσταθερού



Εικόνα 3.12: Τεκμηρίωση φωτοσταθερού

3.3.6 Προβλήματα κατά τις Γεωδαιτικές Μετρήσεις

Η επιλογή των κατάλληλων καιρικών συνθηκών για την εκτέλεση των μετρήσεων ήταν αδύνατη, δεδομένου ότι η μέρα μετάβασης στο πεδίο ήταν προκαθορισμένη και δεσμευμένη από την άδεια που είχε παραχωρηθεί από την Εφορία Εναλίων Αρχαιοτήτων. Ατυχώς τη δεύτερη μέρα των μετρήσεων οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν ευνοϊκές, με αποτέλεσμα να επιδράσουν αρνητικά στην ακρίβεια μέτρησης των φωτοσταθερών σημείων η οποία εκτιμάται στα 3cm.

Πέραν του έντονου κυματισμού (4+ μποφόρ) και της βροχόπτωσης που δυσχέραιναν τις μετρήσεις του συνεργείου και επιδρούσαν αρνητικά στην κατακορυφότητα του στυλεού, υπήρχε μεγάλη δυσκολία στην αναγνώριση των φωτοσταθερών στο βυθό, αφενός λόγω θολού βυθού, αφετέρου λόγω χόρτων της θάλασσας που είχαν καλύψει τις πέτρες αφού οι γεωδαιτικές μετρήσεις έγιναν μερικούς μήνες μετά τις λήψεις των φωτογραφιών. Κατά συνέπεια για να αναγνωριστούν τα φωτοσταθερά καθαρίζονταν οι πέτρες στοιχειωδώς και

προσεκτικά με το χέρι, αφού είχε εκτιμηθεί περίπου η θέση τους από το κροκί. Την ακρίβεια μέτρησης των φωτοσταθερών επηρέασε και το βάθος στο οποίο βρίσκονταν. Τα σημεία που βρίσκονταν πάνω στους τοίχους και άρα βρίσκονταν σε μικρότερο βάθος εκτιμάται ότι μετρήθηκαν με καλύτερη ακρίβεια από τα σημεία που ήταν στο βυθό. Αυτό, διότι ήταν πιο ευκρινή δεδομένου ότι οι πέτρες της τοιχοποιίας είχαν πιο «αυστηρό» σχήμα από του βυθού. Επίσης λόγω του μικρότερου βάθους στο οποίο βρίσκονταν ήταν πιο εύκολο για το μέλος του συνεργείου να παραμείνει σταθερό και να έχει ακριβέστερη κέντρωση και πιο σταθερή κατακορύφωση του στυλεού κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

3.4 Επεξεργασία Δεδομένων

3.4.1. Διόρθωση από Διάθλαση

Πριν την επεξεργασία των δεδομένων στο φωτογραμμετρικό σταθμό έγινε η διόρθωση των φωτογραφιών από την επίδραση της διάθλασης με χρήση αναπτυγμένου, για το σκοπό αυτό, λογισμικού από τον Π. Αγραφιώτη (2012) στο προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab.

Ο αλγόριθμος απαιτεί την εισαγωγή της αρχικής έγχρωμης εικόνας, της ίδιας εικόνας που αποτελείται από τόνους του γκρι, καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο βάθος, και εξάγει την τελική έγχρωμη, διορθωμένη από διάθλαση εικόνα.

Για τη δημιουργία των εικόνων αποτελούμενων από τόνους του γκρι έγινε επεξεργασία των αρχικών εικόνων στο λογισμικό Adobe Photoshop. Από τις βυθομετρικές πληροφορίες των σημείων του αντικειμένου οριοθετήθηκαν περιοχές με ίδιο βάθος και κάθε ζώνη βαθών αντιστοιχήθηκε με έναν τόνο του γκρι.

Εισήχθησαν οι εικόνες στον αλγόριθμο και παρήχθησαν οι τελικές διορθωμένες από διάθλαση εικόνες.



Εικόνα 3.13: Αρχική εικόνα



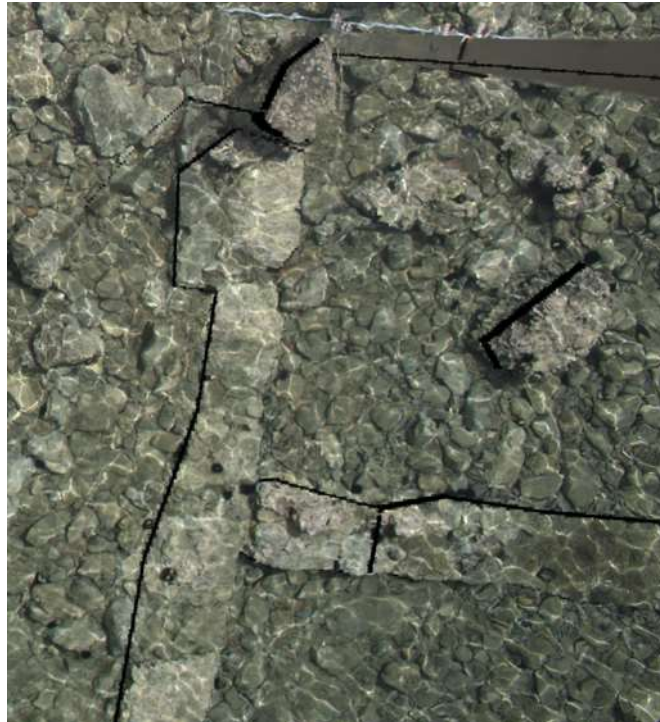
Εικόνα 3.14: Εικόνα με ζώνες βαθών και τόνους του γκρι που τους αντιστοιχούν



Εικόνα 3.15: Εικόνα διορθωμένη από διάθλαση

Προβλήματα

Οι διορθωμένες από διάθλαση εικόνες που προήλθαν από ζώνες αληθινών βαθών παρουσίαζαν λωρίδες με μαυρα Pixel. Αυτό έγινε διότι η διόρθωση είναι μεγαλύτερη όταν αυξάνει το βάθος ή/και η απόσταση από το προβολικό κέντρο. Επομένως κατά τη διόρθωση γειτονικών pixel που αντιστοιχούν σε διαφορετικό βάθος δημιουργήθηκαν “νεκρές ζώνες”.



Εικόνα 3.16: Εμφάνιση μαύρων pixel μετά από διόρθωση λόγω διάθλασης

Στην εικόνα 11 τα μαύρα ρixel κατά μήκος των τοίχων προέκυψαν επειδή τα ρixel που είναι πιο μακριά από το προβολικό κέντρο και αντιστοιχούν σε σημεία με μεγαλύτερο βάθος από τα γειτονικά τους ρixel, έχουν πάρει μεγαλύτερη διόρθωση λόγω διάθλασης.

Αντιμετώπιση

Για να μειωθεί κατά το δυνατόν το προαναφερθέν φαινόμενο ή τουλάχιστον να εμφανίζεται σε σημεία που δεν ενδιαφέρουν (πχ. βυθός) και με δεδομένο ότι απασχολεί το πάνω μέρος των τοίχων έγινε το εξής: δημιουργήθηκαν πάνω στους τοίχους ζώνες αληθινών βαθών και γύρω από αυτούς ζώνες ψεύτικων βαθών, με τιμές πολύ κοντά στα βάθη των τοίχων, έτσι ώστε η διόρθωση της διάθλασης να γίνεται πιο ομαλά και με μεταβολή που να προσεγγίζει τη γραμμική.

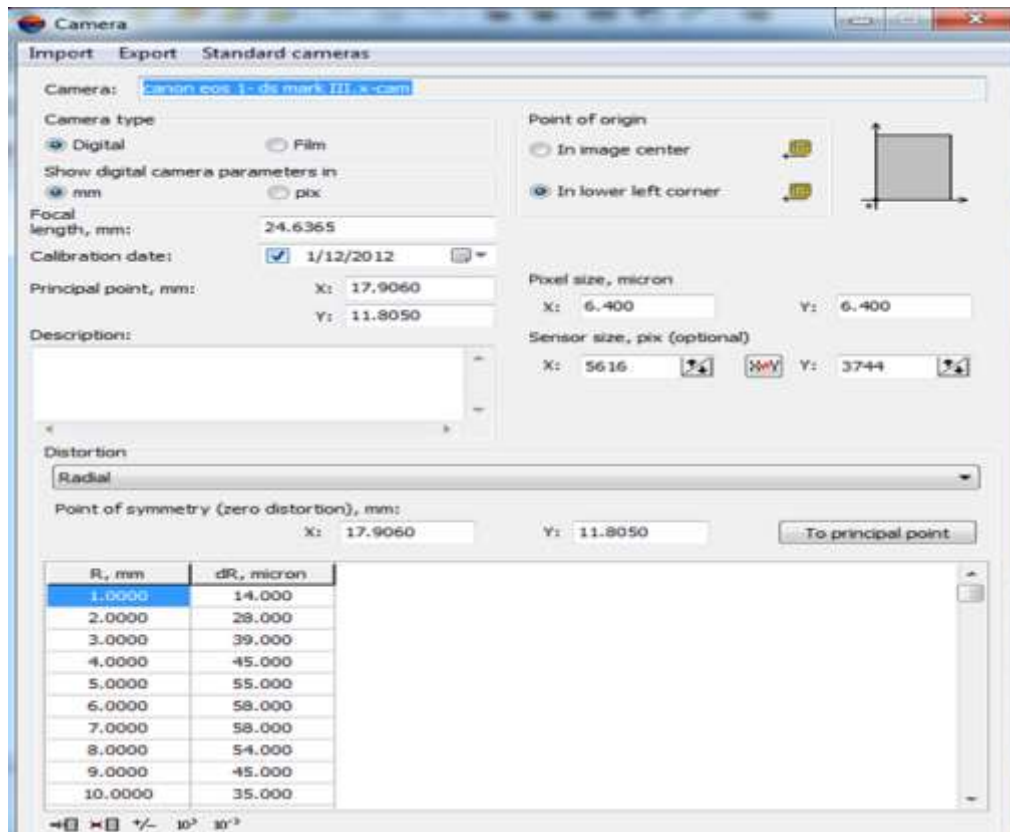
3.4.2 Εκτέλεση Προσανατολισμών

Στη συνέχεια για την περεταίρω επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο φωτογραμμετρικός σταθμός Photomod 5 Lite.

Αρχικά επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν 8 από τις 11 ληφθείσες εικόνες που είχαν καλύτερη φωτογραφική ποιότητα και αρκούσαν για την περιγραφή του τμήματος του αντικειμένου που ενδιέφερε.

Αποκατάσταση Εσωτερικού Προσανατολισμού

Οι 8 διορθωμένες από διάθλαση εικόνες εισήχθησαν στο φωτογραμμετρικό σταθμό Photomod 5 Lite μαζί με τα στοιχεία της μηχανής (βαθμονομημένη σταθερά, συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου, τιμές ακτινικής διαστροφής) από το φύλλο βαθμονόμησής της και εκτελέστηκε η αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού για κάθε εικόνα με αυτόματο τρόπο.



Εικόνα 3.17: Εισαγωγή στοιχείων βαθμονόμησης

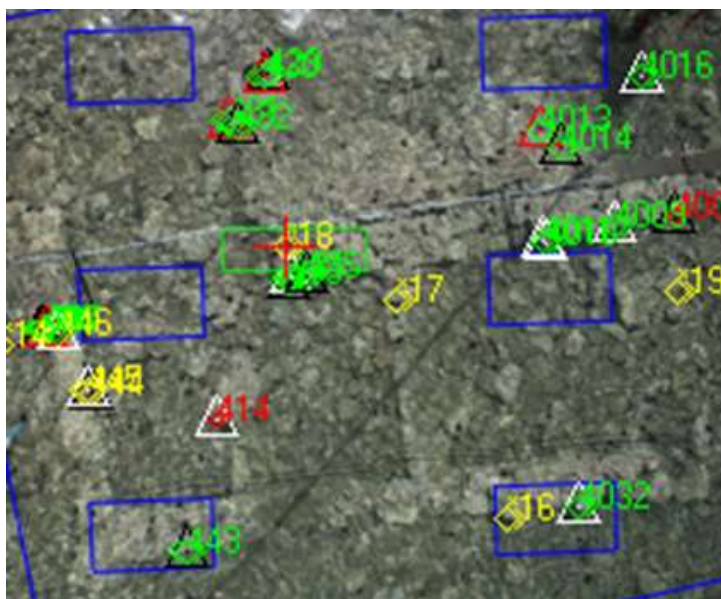
Σχετικός Προσανατολισμός

Για τη δημιουργία στερεομοντέλου είναι απαραίτητη η σκόπευση τουλάχιστον 5 ομόλογων σημείων για την αλληλοτομία των δεσμών όσοι και οι άγνωστοι παράμετροι του Σχετικού Προσανατολισμού ($\Delta\omega$, $\Delta\phi$, $\Delta\kappa$, ΔY , ΔZ) και 6 ομόλογα σημεία για τον έλεγχο της αλληλοτομίας από το εναπομένον σφάλμα. (Πατιάς, 1991)

Σκοπεύθηκαν λοιπόν 6 και περισσότερα ομόλογα σημεία σε δύο διαδοχικές φωτογραφίες για τη δημιουργία των στερεομοντέλων και τουλάχιστον 1 σημείο σε τρεις διαδοχικές φωτογραφίες για να συνδεθούν τα στερεομοντέλα μεταξύ τους.

Τα σημεία που σκοπεύθηκαν για να χρησιμοποιηθούν ως σημεία σύνδεσης (tie points) ήταν σημεία εύκολα διακριτά (πχ. γωνίες λίθων) και όσο το δυνατόν καλύτερα καταναμημένα στο επικαλυπτόμενο τμήμα.

Ωστόσο επειδή οι ίδιες πέτρες σε δύο διαδοχικές φωτογραφίες είτε είχαν σημαντική παραμόρφωση λόγω του διαφορετικού σημείου λήψης είτε ήταν δυσδιάκριτες λόγω των ηλιακών αντανάκλασεων, κατέστη δυσχερής η σκόπευση των σημείων σύνδεσης αυστηρά γύρω από τα σημεία Gruber. Παράλληλα, θεωρήθηκαν τα 1.5 έως 2 pixels ως ένα ανεκτό όριο εναπομένουσας παράλλαξης.



Εικόνα 3.18: Κατανομή σημείων σύνδεσης και φωτοσταθερών

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του σχετικού προσανατολισμού από την αναφορά που εξήχθη από το φωτογραμμετρικό σταθμό.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα σχετικού προσανατολισμού

Στερεοζεύγος	Εναπομένουσα γ - παράλλαξη (pixel)
	RMS
1	1,534
2	1,651
3	1,239
4	1,361
5	0,971
6	1,100
7	1,424
Μέσος όρος	1,326

Αεροτριγωνισμός

Παράλληλα με τη διαδικασία του σχετικού προσανατολισμού των εικόνων έγινε η σκόπευση των φωτοσταθερών σημείων αφού είχαν εισαχθεί προηγουμένως οι συντεταγμένες τους στο φωτογραμμετρικό σταθμό. Τα φωτοσταθερά σκοπεύθηκαν σε όσες εικόνες ήταν ορατά.

Στη συνέχεια, αφού εκτιμήθηκαν τα βάρη των γεωδαιτικά μετρημένων φωτοσταθερών και των μετρήσεων των εικονοσυντεταγμένων τους, εκτελέστηκε ο αεροτριγωνισμός, με μία πρώτη επίλυση με τη μέθοδο των ανεξάρτητων μοντέλων, και σε δεύτερη φάση με τη

μέθοδο των δεσμών. Η προσεγγιστική επίλυση με ανεξάρτητα μοντέλα υπαγορευόταν από το λογισμικό προκειμένου να εφαρμόσει σε δεύτερη φάση συνόρθωση κατά δέσμες.

Κατά τη σκόπευση των φωτοσταθερών παρατηρήθηκε ότι αυτά που βρίσκονταν πάνω στους τοίχους ήταν ευκρινέστερα και σκοπεύονταν με καλύτερη ακρίβεια από αυτά που βρίσκονταν στο βυθό. Έτσι κατά την επιλογή των φωτοσταθερών που θα συμμετείχαν στη συνόρθωση, η καλή κατανομή τους και οι ακριβείς σκοπεύσεις, ήταν κριτήρια που συγκρούονταν ενώ ήταν και τα δύο επιθυμητά. Με συμβιβασμό των παραγόντων αυτών ο αεροτριγωνισμός εκτελέστηκε τελικά με 12 φωτοσταθερά σημεία (ground control points) και 18 σημεία ελέγχου (check points).

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων.

Πίνακας 3.2: Στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού.

(A/A)	Εικόνα	Xo (m)	Yo (m)	Zo (m)	Ω (grad)	Φ (grad)	Κ (grad)
1	1	81.420	97.1867	6.765	3.2769	4.3286	-86.9112
2	2	81.622	95.867	6.348	3.1426	3.3815	-98.2457
3	3	82.128	92.902	6.341	0.7744	3.0921	-104.0885
4	4	82.235	90.004	6.287	2.1017	4.7781	-91.0363
5	5	82.468	87.744	6.073	0.0343	7.4792	-93.7411
6	6	82.747	85.701	6.144	5.2021	4.8860	-90.0542
7	8	83.059	84.155	5.970	5.0545	6.8028	-90.8424
8	10	83.195	82.609	6.022	-16.0487	5.4398	-84.9517

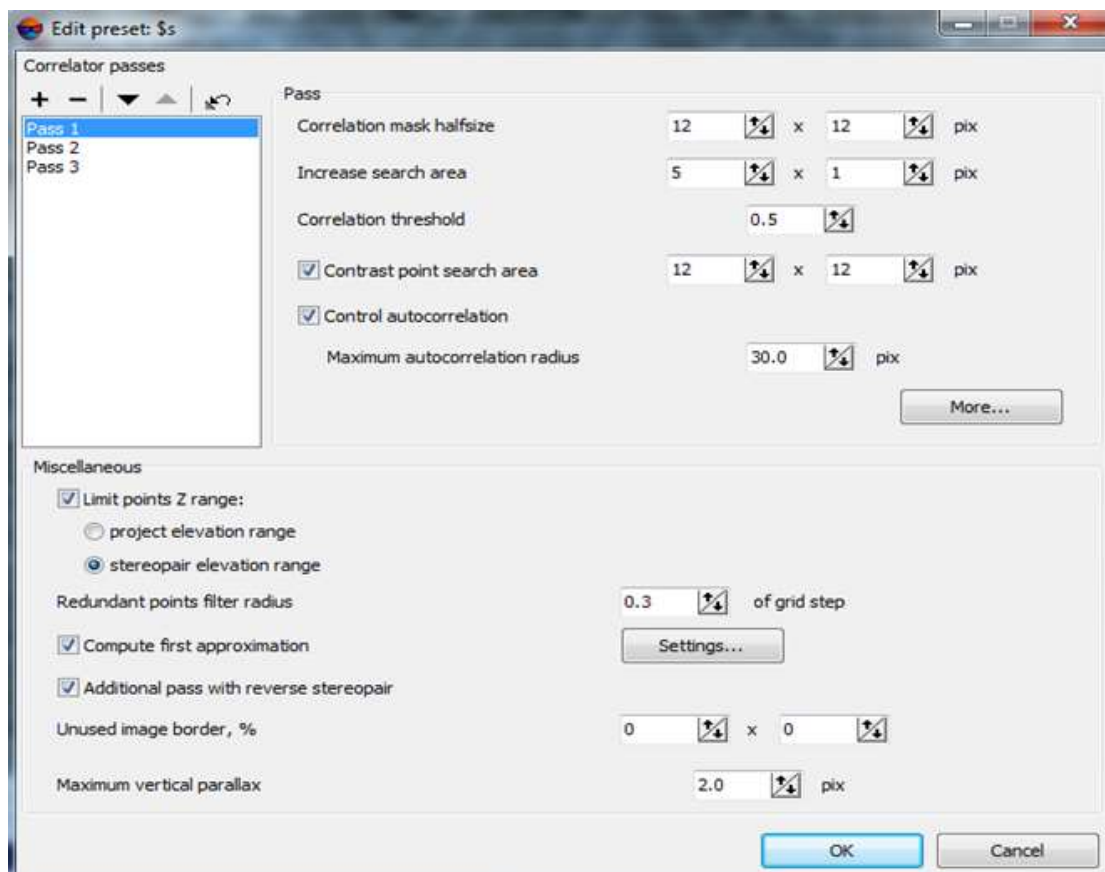
Τα φωτοσταθερά σημεία που συμμετείχαν στη συνόρθωση παρουσιάζουν RMS: 0.029 (m), 0.032 (m), 0.023 (m) κατά X, Y και Z αντιστοίχως. Τα σημεία ελέγχου παρουσιάζουν RMS: 0.039 (m), 0.046 (m), 0.057 (m) κατά X, Y και Z αντιστοίχως.

Λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της διόρθωσης των εικόνων από διάθλαση, της αποκατάστασης του εσωτερικού προσανατολισμού, του σχετικού προσανατολισμού (με μέσο όρο εναπομένουσας παράλλαξης 1.326 pixel), της εκτιμώμενης ακρίβειας μέτρησης φωτοσταθερών (3cm) και της εκτιμώμενης ακρίβειας του τελικού προϊόντος, τα αποτελέσματα του αεροτριγωνισμού κρίθηκαν ικανοποιητικά.

3.4.3 Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM)

Σε επόμενο στάδιο δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων. Για τη δημιουργία του προϋπόθεση ήταν η ορθή περιγραφή οριζοντιογραφικά και υψομετρικά των επιμέρους λίθων που συνιστούν την υπάρχουσα τοιχοποιία του αντικειμένου, δεδομένου ότι κατά τις μετρήσεις στο πεδίο λόγω περιορισμένου χρόνου δεν έγινε συλλογή επαρκούς υψομετρικής πληροφορίας.

Μετά τη δημιουργία των στερεομοντέλων η στερεοσκοπική παρατήρηση ήταν μεν δυνατή αλλά αρκετά κουραστική διαδικασία λόγω της ύπαρξης του νερού. Για το λόγο αυτό, αρχικά επιχειρήθηκε η αυτόματη επιλογή σημείων για την περιγραφή του αντικειμένου με συνδυαστικές επεμβάσεις στις παραμέτρους του αλγορίθμου συσχέτισης (correlator) με σκοπό να συμπληρωθεί ενδεχόμενη ελλείπουσα πληροφορία χειροκίνητα με στερεοαπόδοση.



Εικόνα 3.19: Παράμετροι αλγόριθμου συσχέτισης

Τα σημεία που προέκυπταν από τον αλγόριθμο αξιολογούνταν για την ορθότητά τους κάθε φορά με στερεοσκοπική παρατήρηση. Στα σημεία που βρίσκονταν πάνω στους τοίχους και σε μικρότερο βάθος ο αλγόριθμος έδινε καλύτερα αποτελέσματα –όχι όμως αρκετά ικανοποιητικά– από τα σημεία που βρίσκονταν σε μεγαλύτερο βάθος. Διαπιστώθηκε ότι η ύπαρξη νερού εμπόδιζε τον αλγόριθμο συσχέτισης να βρίσκει σημεία οριζοντιογραφικά και

υψομετρικά σωστά. Ο αυτόματος εντοπισμός ομόλογων σημείων δοκιμάστηκε και με το λογισμικό Photoscan αλλά απέτυχε παταγωδώς. Το λογισμικό αυτό έβρισκε ομόλογα σημεία μόνο σε αντικείμενα έξω από το νερό και επομένως η διαδικασία αυτή εγκαταλείφθηκε.

Κατά συνέπεια η προσθήκη γραμμών αλλαγής κλίσης (breaklines) και υψομετρικών σημείων έγινε χειροκίνητα, με στερεοαπόδοση.

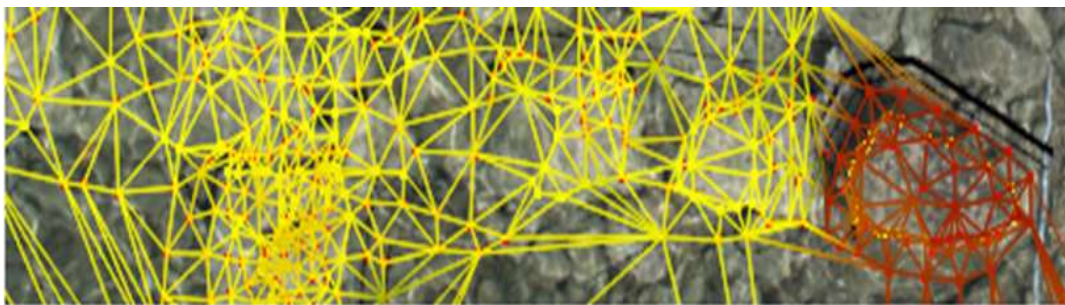
Για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (Digital Elevation Model /DEM) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Δικτύου Ακανόνιστων Τριγώνων (*Triangular Irregular Networks - TIN*). Το TIN που δημιουργήθηκε από τις διανυσματικές οντότητες διορθώθηκε χειροκίνητα μετά από στερεοσκοπική παρατήρηση για τη σωστότερη περιγραφή του αντικειμένου και εν συνεχεία δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM).

Με επιθυμητή κλίμακα ορθοφωτογραφίας την 1:50 προκύπτει το βήμα κανάβου ίσο με 0.1m για έντονο ανάγλυφο.

Βήμα κανάβου= (0.002-0.020)m x Συντελεστή κλίμακας προϊόντος

Ωστόσο για καλύτερη περιγραφή του αντικειμένου επιλέχθηκε για το βήμα κανάβου η τιμή 0.05m και για το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM) τιμή εδαφοψηφίδας ίση με το μισό του βήματος κανάβου.

Η παραγωγή ορθοφωτογραφίας έγινε τμηματικά και συνολικά δημιουργήθηκαν 14 DEM για κάθε επιμέρους κομμάτι του αντικειμένου που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή 14 ορθοφωτογραφιών σε επόμενο στάδιο.

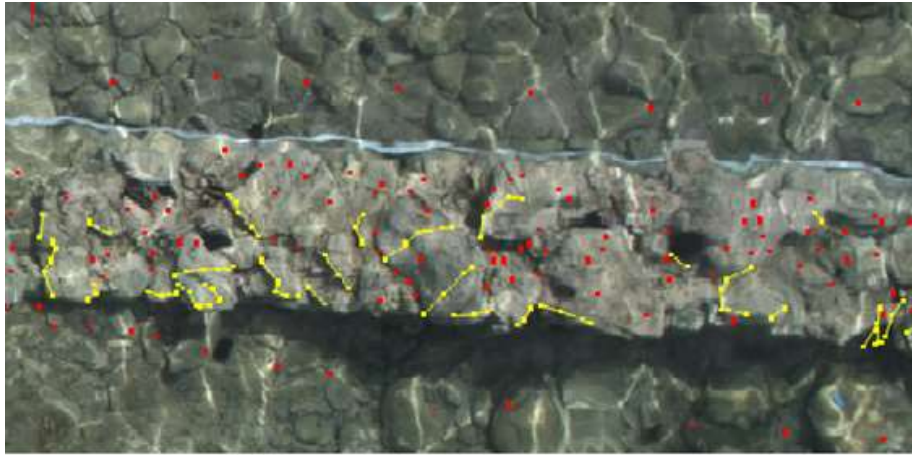


Εικόνα 3.20: Δημιουργία δικτύου ακανόνιστων τριγώνων

Δυσκολίες κατά τη Διαδικασία της Στερεοσκοπικής Απόδοσης

Οι έντονες υψομετρικές διαφορές που παρουσίαζε το αντικείμενο σε σχέση με την απόσταση λήψης δημιούργησαν έντονη εκτροπή λόγω αναγλύφου. Επιπλέον η αλλαγή του σημείου λήψης σε συνδυασμό με την ύπαρξη του νερού επέφεραν μεγάλες παραμορφώσεις στις πέτρες του αντικειμένου με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις η ίδια πέτρα να εμφανίζεται με εντελώς διαφορετικό σχήμα σε δύο γειτονικές φωτογραφίες.

Το γεγονός αυτό έκανε την στερεοαπόδοση σε ορισμένες περιπτώσεις εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη. Η παρεμβολή τρίτων αντικειμένων στις φωτογραφίες, όπως οι τρίποδες και οι σκιές τους και τα άτομα που υπήρχαν στο πεδίο και κρατούσαν τον τρίποδα ήταν παράγοντες που επίσης δυσχέραιναν την στερεοσκοπική αντίληψη. Για την αποφυγή ποιοτικών προβλημάτων στην τελική ορθοφωτογραφία σε σημεία με μεγάλη υψομετρική διαφορά αποδόθηκαν σημεία με ψευδή υψόμετρα. Στις άκρες δηλαδή των τοίχων και περιμετρικά τους αποδόθηκαν σημεία έξω από τους τοίχους (που αντιστοιχούσαν στο βυθό) με υψόμετρα ίδια με των τοίχων.



Εικόνα 3.21: Σημεία με ψεύτικο υψόμετρο περιμετρικά των τοίχων.

3.4.4. Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας

Απώτερος σκοπός της φωτογραμμετρικής διαδικασίας ήταν η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας του αντικειμένου, της ψηφιακής εικόνας σε ορθή προβολή με ενιαία κλίμακα. Η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας έγινε τμηματικά για το αντικείμενο το οποίο χωρίστηκε σε 14 επιμέρους τμήματα, τα οποία τελικά συνενώθηκαν για να αποτελέσουν το Φωτομωσαϊκό του αντικειμένου.

Αρχικά καθορίστηκε το μέγεθος της εδαφοψηφίδας σε m και άρα η κλίμακα της ορθοφωτογραφίας που επρόκειτο να παραχθεί. Το μέγεθος της εδαφοψηφίδας ορίστηκε από τη σχέση:

Εδαφοψηφίδα ορθοφωτογραφίας = $0.1\text{mm} \times \text{Συντελεστής Κλίμακας Ορθοφωτογραφίας}$

Με την επιλογή Mosaic του φωτογραμμετρικού σταθμού Photomod 5 Lite καθορίστηκε το τμήμα της κάθε φωτογραφίας προς ορθή προβολή, εισήχθη το Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM) για το συγκεκριμένο τμήμα και παρήχθη η ορθοφωτογραφία.

Παρά το γεγονός ότι στην κάθε εικόνα απεικονιζόταν μεγάλο τμήμα του αντικειμένου και φαινομενικά αρκούσε η εξαγωγή πολύ περιορισμένου αριθμού ορθοφωτογραφιών, αυτό δεν έγινε στην πράξη γιατί κάθε εικόνα παρείχε ποιοτική απεικόνιση μικρών και αποσπασματικών τμημάτων του αντικειμένου.

Έτσι για κάθε τμήμα του αντικειμένου επιλέχθηκε η καταλληλότερη εικόνα από αυτές που το απεικονίζουν με ποιοτικά κριτήρια την καθαρότητα, τις λιγότερες ηλιακές αντανακλάσεις και τη μη απόκρυψή του από τα μέλη του συνεργείου ή τον τρίποδα. Συνολικά παρήχθησαν 14 ορθοφωτογραφίες με τη γεωαναφορά τους.

3.4.5 Ραδιομετρική Επεξεργασία

Σε συνέχεια οι παραχθείσες ορθοφωτογραφίες εισήχθησαν στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Photoshop για να υποστούν την απαραίτητη ραδιομετρική επεξεργασία. Η επεξεργασία περιελάμβανε κατ' αρχάς εξομάλυνση των σκιάσεων που είχαν προκληθεί από τα πόδια του τρίποδα ή από μέλη του συνεργείου, αφαίρεση της απεικονιζόμενης μετροταινίας που υλοποιούσε τη γραμμή λήψης και αφαίρεση των μαύρων pixel που είχαν προκληθεί κατά τη διαδικασία της διόρθωσης των εικόνων από διάθλαση. Σε δεύτερη φάση υπήρξε μια στοιχειώδης μετατόπιση των τόνων της εικόνας για καλύτερη και ωραιότερη απεικόνιση του αντικειμένου.

3.4.6 Σύνθεση Φωτομωσαϊκού

Οι ραδιομετρικά επεξεργασμένες εικόνες εισήχθησαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad γεωαναφερμένες και συνενώθηκαν για να αποτελέσουν το Μωσαϊκό ορθοφωτογραφιών του αντικειμένου.



Εικόνα 3.22: Φωτομωσαϊκό φωτογραφηθέντος αντικειμένου

Για αισθητικούς λόγους και για να απεικονιστεί ρεαλιστικότερα το αντικείμενο στο περιβάλλον του ενσωματώθηκε η απεικόνιση του βυθού του αντικειμένου. Η απεικόνιση αυτή δεν έχει καμία μετρητική αξία αφού δεν προήλθε από τη φωτογραμμετρική διαδικασία.



Εικόνα 3.23: Τελικό Φωτομωσαϊκό

3.5 Έλεγχος Γεωμετρικής Ακρίβειας

Ο έλεγχος της φωτογραμμετρικής διαδικασίας έγινε με την αξιολόγηση κάθε σταδίου της ξεχωριστά, εκτιμώντας και ερμηνεύοντας το βαθμό επιρροής κάθε διαδικασίας - με την αβεβαιότητα που της αντιστοιχεί - στο τελικό παράγωγο. Για τον έλεγχο του τελικού Φωτομωσαϊκού και την επιβεβαίωση ότι η απεικόνιση ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, μετρήθηκαν οι βασικές διαστάσεις του αντικειμένου (μήκη τοίχων, πλάτη τοίχων). Οι ίδιες διαστάσεις είχαν μετρηθεί κατά τη μετάβαση στο πεδίο με χρήση μετροταινίας κατά την αναγνώριση του αντικειμένου. Οι μετρήσεις στο αντικείμενο και στο φωτογραμμετρικό παράγωγο συγκρίθηκαν και επιβεβαιώθηκε καταρχάς η ορθότητα του Φωτομωσαϊκού.

Ο έλεγχος της Γεωμετρικής ακρίβειας των ορθοφωτογραφιών του Φωτομωσαϊκού έγινε με μέτρηση σημείων γνωστών συντεταγμένων πάνω σε αυτήν και σύγκριση των δύο

μετρήσεων (συντεταγμένες επίγεια μετρημένων σημείων και συντεταγμένες από προσδιορισμό στην ορθοφωτογραφία). Η σύγκριση των συντεταγμένων επιτρέπει την ανίχνευση ενδεχόμενης ύπαρξης σημαντικού συστηματικού σφάλματος με σκοπό να αποφασιστεί αν χρειάζεται η εξάλειψή του με μετακίνηση του Φωτομωσαϊκού προς την κατάλληλη κατεύθυνση.

Τα σφάλματα των φωτοσταθερών σημείων και των σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Πίνακας 3.3: Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα τελικού Φωτομωσαϊκού

Σημείο	Συντεταγμένες				Έλεγχος			
	Γεωδαιτικές Μετρήσεις		Ορθοφωτογραφία		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$ \Delta X (m)$	$ \Delta Y (m)$
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)				
404	81,543	94,73	81,546	94,646	-0,003	0,084	0,003	0,084
406	81,52	94,685	81,544	94,616	-0,024	0,069	0,024	0,069
407	81,534	94,612	81,53	94,6	0,004	0,012	0,004	0,012
409	80,488	94,098	80,506	94,114	-0,018	-0,016	0,018	0,016
418	79,449	93,979	79,442	93,925	0,007	0,054	0,007	0,054
429	83,824	92,421	83,825	92,409	-0,001	0,012	0,001	0,012
430	83,819	92,476	83,801	92,426	0,018	0,05	0,018	0,05
431	83,4	92,798	83,4	92,798	0	0	0	0
432	83,339	92,729	83,33	92,703	0,009	0,026	0,009	0,026
433	81,888	92,394	81,834	92,337	0,054	0,057	0,054	0,057
435	81,858	92,217	81,855	92,165	0,003	0,052	0,003	0,052
443	79,237	93,527	79,197	93,4	0,04	0,127	0,04	0,127
444	80,791	94,333	80,851	94,316	-0,06	0,017	0,06	0,017
4008	82,159	88,575	82,21	88,588	-0,051	-0,013	0,051	0,013
4013	83,192	89,771	83,132	89,822	0,06	-0,051	0,06	0,051
4014	82,926	89,625	82,952	89,611	-0,026	0,014	0,026	0,014

Πίνακας 3.3: Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα τελικού Φωτομωσαϊκού (συνέχεια)

	Συντεταγμένες				Έλεγχος			
	Γεωδαιτικές Μετρήσεις		Ορθοφωτογραφία					
Σημείο	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$ \Delta X (m)$	$ \Delta Y (m)$
4023	82,379	86,433	82,402	86,408	-0,023	0,025	0,023	0,025
4033	79,364	90,353	79,412	90,35	-0,048	0,003	0,048	0,003
511	82,256	88,051	82,281	88,054	-0,025	-0,003	0,025	0,003
517	82,742	82,766	82,826	82,737	-0,084	0,029	0,084	0,029
518	82,736	82,66	82,698	82,578	0,038	0,082	0,038	0,082
528	82,619	83,213	82,647	83,157	-0,028	0,056	0,028	0,056
531	82,348	87,496	82,343	87,516	0,005	-0,02	0,005	0,02
Μέσος όρος(m)					-0,007	0,029	0,027	0,038
Rms X(m)					0,036			
Rms Y(m)					0,041			
Rms απόστασης(m)					0,055			

3.5.1 Αξιολόγηση Γεωμετρικής Ακρίβειας

Με παρατήρηση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οι διαφορές των συντεταγμένων (επίγεια μετρημένων και μετρημένων στην ορθοφωτογραφία) ΔX και ΔY δεν παρουσιάζουν κάποια συστηματικότητα σε μέγεθος και πρόσημο. Στην ιδανική περίπτωση οι τιμές αυτές θα ήταν μηδενικές. Ο Μέσος όρος των τιμών αυτών ($MO\Delta X=-0.007m$, $MO\Delta Y=0.029m$) εκφράζει την ύπαρξη μίας συστηματικότητας σφάλματος η οποία όμως είναι μέσα στο σφάλμα προσδιορισμού των φωτοσταθερών, άρα ανάξια λόγου. Επιπλέον οι τιμές $MO|\Delta X|=0.027m$, $MO|\Delta Y|=0.038m$ εκφράζουν ένα μέσο όρο σφάλματος ο οποίος φαίνεται να είναι αμνηλεής ποσότητα. Επομένως επειδή οι παρατηρούμενες τιμές σφαλμάτων κρίνονται ανεκτές και επειδή δεν παρατηρούνται προς μία μόνο κατεύθυνση, αφού δεν έχουν σταθερό πρόσημο, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το υπαρκτό συστηματικό σφάλμα δεν είναι σημαντικό και το Φωτομωσαϊκό δε χρειάζεται να υποστεί καμία μετακίνηση για την εξάλειψή του.

Για να υπάρξει μία επιπλέον σύγκριση της γεωμετρικής ακρίβειας του Φωτομωσαϊκού παρήχθη ένα δεύτερο Φωτομωσαϊκό χρησιμοποιώντας τις γειτονικές φωτογραφίες των ίδιων στερεομοντέλων από τα οποία προέκυψε το πρώτο. Η παράθεση του δεύτερου Φωτομωσαϊκού είναι ανούσια αφού απεικονίζει ακριβώς την ίδια περιοχή του αντικειμένου και έγινε καθαρά και μόνο για να συγκριθεί γεωμετρικά με το πρώτο. Επίσης

για την παραγωγή του πρώτου Φωτομωσαϊκού επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι πιο ποιοτικές φωτογραφίες επομένως το δεύτερο είναι υποδεέστερο όσον αφορά την ποιοτική πληροφορία. Η γεωμετρική του ακρίβεια εξετάστηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με το πρώτο Φωτομωσαϊκό. Στη συνέχεια παρατίθενται τα σφάλματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των συντεταγμένων που μετρήθηκαν στο Φωτομωσαϊκό και στο πεδίο με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό.

Πίνακας 3.4: Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα δεύτερου Φωτομωσαϊκού

Σημείο	Συντεταγμένες				Έλεγχος			
	Γεωδαιτικές Μετρήσεις		Ορθοφωτογραφία		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$ \Delta X (m)$	$ \Delta Y (m)$
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)				
404	81,543	94,73	81,545	94,647	-0,002	0,083	0,002	0,083
406	81,52	94,685	81,547	94,614	-0,027	0,071	0,027	0,071
407	81,534	94,612	81,53	94,601	0,004	0,011	0,004	0,011
409	80,488	94,098	80,511	94,079	-0,023	0,019	0,023	0,019
418	79,449	93,979	79,442	93,909	0,007	0,07	0,007	0,07
429	83,824	92,421	83,818	92,405	0,006	0,016	0,006	0,016
430	83,819	92,476	83,801	92,431	0,018	0,045	0,018	0,045
431	83,4	92,798	83,39	92,778	0,01	0,02	0,01	0,02
432	83,339	92,729	83,334	92,721	0,005	0,008	0,005	0,008
433	81,888	92,394	81,83	92,343	0,058	0,051	0,058	0,051
435	81,858	92,217	81,85	92,175	0,008	0,042	0,008	0,042
443	79,237	93,527	79,221	93,396	0,016	0,131	0,016	0,131
444	80,791	94,333	80,854	94,32	-0,063	0,013	0,063	0,013
4008	82,159	88,575	82,219	88,591	-0,06	-0,016	0,06	0,016
4013	83,192	89,771	83,131	89,819	0,061	-0,048	0,061	0,048

Πίνακας 3.4: Διαφορές συντεταγμένων και σφάλματα δεύτερου Μωσαϊκού (συνέχεια)

	Συντεταγμένες				Έλεγχος			
	Γεωδαιτικές Μετρήσεις		Ορθοφωτογραφία					
Σημείο	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$ \Delta X (m)$	$ \Delta Y (m)$
4014	82,926	89,625	82,948	89,619	-0,022	0,006	0,022	0,006
4023	82,405	86,403	82,405	86,403	-0,026	0,03	0,026	0,03
4033	79,364	90,353	79,405	90,346	-0,041	0,007	0,041	0,007
511	82,256	88,051	82,291	88,056	-0,035	-0,005	0,035	0,005
517	82,742	82,766	82,833	82,743	-0,091	0,023	0,091	0,023
518	82,736	82,66	82,662	82,6	0,074	0,06	0,074	0,06
528	82,619	83,213	82,637	83,158	-0,018	0,055	0,018	0,055
531	82,348	87,496	82,341	87,526	0,007	-0,03	0,007	0,03
			Μέσος όρος(m)		-0,006	0,029	0,03	0,037
			Rms X(m)		0,039			
			Rms Y(m)		0,039			
			Rms απόστασης(m)		0,055			

Παρατηρώντας τα στοιχεία που προέκυψαν από το δεύτερο Φωτομωσαϊκό εξάγονται τα ίδια συμπεράσματα που αναφέρθηκαν για τη Γεωμετρική ακρίβεια του πρώτου. Επομένως δεν υπάρχει συστηματικό σφάλμα σημαντικό ούτε στο δεύτερο Φωτομωσαϊκό.

Αναφορικά με τη σύγκριση των δύο μεταξύ τους, τα Rms των δύο Φωτομωσαϊκών φαίνεται να είναι πολύ κοντά καθώς διαφέρουν κατά X μόνο 3 mm και κατά Y μόνο 2 mm. Επίσης το Rms της απόστασης είναι ακριβώς το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις (0.055m). Δηλαδή, τα δύο Φωτομωσαϊκά παρουσιάζουν την ίδια οριζοντιογραφική ακρίβεια. Μπορεί να εξαχθεί επομένως το συμπέρασμα ότι στο βαθμό που έχει διορθωθεί η διάθλαση δεν επιδρά διαφορετικά στα τελικά παράγωγα.

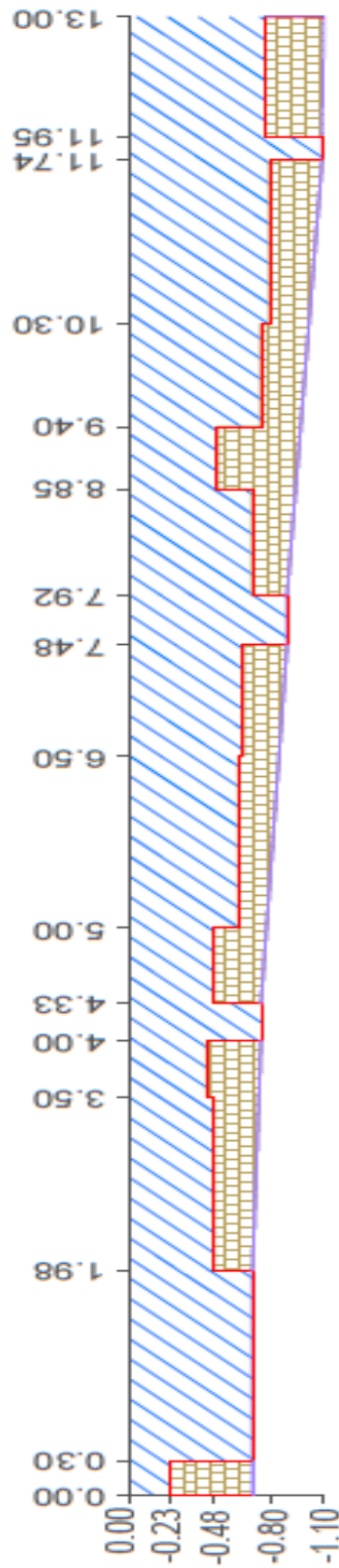
3.6 Απεικόνιση Υψομετρικής Πληροφορίας

Αξιοποιώντας την υψομετρική πληροφορία που συλλέχθηκε από τις επιτόπιες γεωδαιτικές μετρήσεις συντάχθηκαν δύο μηκοτομές επί τμήματος του αντικειμένου προκειμένου να απεικονιστεί το κατά πόσο διατηρούνται ακόμα οι τοίχοι του τμήματος που

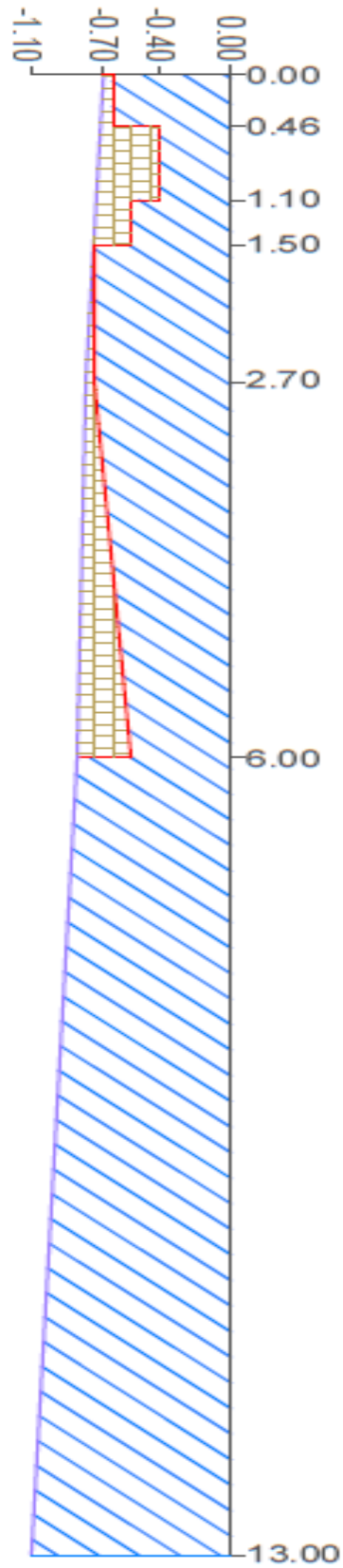
φωτογραφήθηκε. Οι μηκοτομές επιλέχθηκε να γίνουν στους δύο τοίχους (Ανατολικό και Δυτικό) που υφίστανται κατά τη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (καθέτως της παραλίας).



Εικόνα 3.24: Θέσεις μηκοτομών





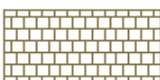


Εικόνα 3.25: Μηκοτομή Ανατολικού τείχους



Εικόνα 3.26: Μηκοτομή Δυτικού τοίχου

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	ΑΞΟΝΕΣ
	ΕΡΥΘΡΑ
	ΚΛΙΣΗ ΒΥΘΟΥ
	ΝΕΡΟ
	ΤΟΙΧΟΣ

Εικόνα 3.27: Υπόμνημα Μηκοτομών

Όπως φαίνεται από τις μηκοτομές (εικόνες: 3.25,3.26) τα βάθη του βυθού κυμαίνονται από 0.70m έως 1.10m. Αναφορικά με το τμήμα του ανατολικού τοίχου, ο οποίος έχει διατηρηθεί καλύτερα, σώζονται τμήματά του που φτάνουν τα 0.50m σε ύψος.

Αντίθετα ο δυτικός τοίχος διατηρείται στοιχειωδώς με τα υψηλότερα τμήματά του να φτάνουν τα 0.30m.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Η εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου στο περιβάλλον αέρα-νερού αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες υπό τις οποίες αυτή έλαβε χώρα καθώς και τις αβεβαιότητες με τις οποίες εκτελέστηκαν οι επιμέρους διαδικασίες μέχρι την παραγωγή του τελικού φωτομωσαϊκού.

4.1 Σταδιακή Αξιολόγηση της Φωτογραμμετρικής Διαδικασίας

Το τελικό φωτομωσαϊκό παρήχθη με μία τελική αβεβαιότητα που αντιστοιχεί σε rms ίσο με 0.036m και 0.041m κατά X και Y αντιστοίχως και rms απόστασης ίσο με 0.055m. Η αβεβαιότητα αυτή, είναι ανεκτή για τις συνήθεις υποβρύχιες αποτυπώσεις, όμως, υπό προϋποθέσεις, θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί.

Όσον αφορά στο σχετικό προσανατολισμό, έκλεισε με 1.326 pixel μέσο όρο εναπομένουσας παράλλαξης, αφού οι μεγάλες παραμορφώσεις του αντικειμένου και η επίδραση των ηλιακών αντανάκλασεων δυσχέραναν τις σκοπεύσεις στο φωτογραμμετρικό σταθμό. Με τοποθέτηση κατάλληλων στόχων πριν τη φωτογράφιση, ώστε να χρησιμοποιηθούν αυτοί ως σημεία σύνδεσης, οι αβεβαιότητες των σκοπεύσεων θα ήταν μικρότερες. Με τον ίδιο τρόπο θα μπορούσε να βελτιωθεί και η επίλυση του αεροτριγωνισμού, ο οποίος έκλεισε με RMS: 0.029m, 0.032m, 0.023m κατά X, Y και Z αντιστοίχως για τα φωτοσταθερά σημεία και με RMS: 0.039m, 0.046m, 0.057m κατά X, Y και Z αντιστοίχως για τα σημεία ελέγχου. Ως φωτοσταθερά σημεία χρησιμοποιήθηκαν φυσικά σημεία επί του αντικειμένου, τα οποία αναγνωρίστηκαν και μετρήθηκαν στο αντικείμενο, αφού είχε μεσολαβήσει ένα διάστημα κάποιων μηνών μεταξύ των λήψεων και των γεωδαιτικών μετρήσεων. Η αναγνώρισή τους ήταν δύσκολη, επειδή αυτό ήταν καλυμμένο με χόρτα της θάλασσας και καθαρίζονταν τοπικά εκείνη τη στιγμή, ώστε να βρεθούν τα φωτοσταθερά. Με τοποθέτηση στόχων πριν τη φωτογράφιση του αντικειμένου και μέτρηση αυτών θα βελτιώνονταν οι επίγειες μετρήσεις τους, οι σκοπεύσεις στο φωτογραμμετρικό σταθμό και το κλείσιμο του αεροτριγωνισμού.

Επιπλέον, οι δυσκολίες κατά τη στερεοαπόδοση είχαν αρνητική επίδραση στη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM), αφού η ελλειπής υψομετρική περιγραφή του αντικειμένου τοπικά προκαλεί ακτινική μετατόπιση στην ορθοφωτογραφία. Δεδομένου ότι ο αυτόματος εντοπισμός ομόλογων σημείων δε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω της παρουσίας του νερού, η συλλογή πυκνής υψομετρικής πληροφορίας κατά τις γεωδαιτικές μετρήσεις θα δημιουργούσε ένα πιο αξιόπιστο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

Στο τελικό φωτομωσαϊκό που προήλθε από τη συνένωση των επιμέρους ορθοφωτογραφιών, ο έλεγχος της γεωμετρικής του ακρίβειας και ο έλεγχος για την ύπαρξη συστηματικού σφάλματος εκτελέστηκε με επιτυχία. Συμπερασματικά, η επίδραση της

διάθλασης δεν εμφανίζεται μέσω συστηματικού σφάλματος. Η αφαίρεση της επίδρασης της διάθλασης από τις αρχικές εικόνες με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, με όποια προβλήματα ενδέχεται αυτό να έχει, δείχνει ότι το φαινόμενο αυτό αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά, δεδομένου ότι δεν εμφανίζονται σοβαρά προβλήματα στη δημιουργία του φωτομωσαϊκού.

4.2 Προϋποθέσεις Βελτίωσης Ακρίβειας

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικότερα στα προηγούμενα κεφάλαια, οι αποτυπώσεις αντικειμένων που βρίσκονται σε υδάτινο περιβάλλον επηρεάζονται έντονα από τα δυναμικά του χαρακτηριστικά, τα οποία σχετίζονται άμεσα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Στην παρούσα εφαρμογή, το αντικείμενο μελέτης ήταν τμήμα αρχαίου κτιρίου ευρύτερου αρχαιολογικού χώρου και για να γίνουν οι μετρήσεις ήταν απαραίτητη η χορήγηση άδειας από την Εφορία Εναλίων Αρχαιοτήτων. Η άδεια αφορούσε αυστηρά καθορισμένες ημερομηνίες για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Έτσι η ποιότητα συλλογής των απαραίτητων δεδομένων προς επεξεργασία αφέθηκε στις τυχούσες καιρικές συνθήκες. Τη μέρα της φωτογράφισης του αντικειμένου, ο καιρός ήταν αρκετά ευνοϊκός, η θάλασσα ήταν ήρεμη μεν, αλλά με αρκετές ρυτιδώσεις και οι φωτογραφίες που ελήφθησαν απεικόνιζαν ευκρινώς το αντικείμενο. Τη μέρα όμως των γεωδαιτικών μετρήσεων ο καιρός δεν ήταν καθόλου ευνοϊκός, αφού πέραν της έντονης βροχόπτωσης η κατάσταση της θάλασσας ήταν κυματώδης. Το μέλος του συνεργείου που έφερε το στυλεό με τον ανακλαστήρα δυσκολευόταν να διατηρήσει την ισορροπία του και κατ' επέκταση να κεντρώσει και να κατακορυφώσει σταθερά το στυλεό. Κατά συνέπεια, οι μετρήσεις των φωτοσταθερών σημείων έγιναν με αυξημένη αβεβαιότητα, γεγονός που επηρέασε την ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, στο διαθέσιμο χρονικό περιθώριο, ήταν αδύνατο να συντονιστεί ο καθαρισμός του καλυμμένου μνημείου από τα φυτά της θάλασσας και η φωτογράφισή του. Με τον καθαρισμό αναδευόταν και θόλωνε ο βυθός και η φωτογράφιση έπρεπε να γίνει ιδανικά μετά το πέρας ενός ικανού χρονικού διαστήματος για να καθαριστεί ο βυθός και να ληφθούν ποιοτικές φωτογραφίες.

Συμπερασματικά, γίνεται φανερό ότι βασική και απαραίτητη προϋπόθεση για παρόμοιες υποβρύχιες φωτογραμμετρικές εφαρμογές είναι ο συντονισμός των προγραμματισμένων εργασιών και η επιλογή των κατάλληλων καιρικών συνθηκών. Προς την κατεύθυνση αυτή θα ήταν καταλυτική και ανεκτίμητη η συμβολή της Εφορίας Εναλίων Αρχαιοτήτων παραχωρώντας την απαραίτητη άδεια με πιο ευέλικτο τρόπο και δείχνοντας περισσότερη εμπιστοσύνη στα Δημόσια ΑΕΙ που έχουν στόχο την άρτια εκπαίδευση των φοιτητών τους.

4.3 Προοπτικές για Περαιτέρω Ανάπτυξη

Σε επόμενη αντίστοιχη φωτογραμμετρική εφαρμογή θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθούν τα όρια εφαρμογής της φωτογραμμετρίας σε δύο μέσα, δηλαδή το αντικείμενο στο νερό και η φωτογράφιση έξω από αυτό, η διερεύνηση σύνδεσης της μεθόδου αυτής με την υποβρύχια φωτογραμμετρία και ο καθορισμός των δυνατοτήτων κάθε μεθόδου, δηλαδή, το όριο βάθους εφαρμογής της πρώτης μεθόδου και τη συμπλήρωσή της από τη δεύτερη. Επίσης, επειδή σε μικρά βάθη, οι κατακόρυφες υποβρύχιες λήψεις έχουν πολύ μικρή κάλυψη αντικειμένου, προτείνεται σε αντίστοιχο ποντισμένο αντικείμενο η κάλυψή του από πλάγιες λήψεις με σκοπό τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου (3D). Τέλος, προτείνεται η διερεύνηση των παραμέτρων του αλγορίθμου συσχέτισης (correlator) με σκοπό τη δημιουργία ενός αλγορίθμου που θα είναι αποτελεσματικός στον αυτόματο εντοπισμό σημείων για τη δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM) σε περιβάλλον νερού και αέρα-νερού. Για τη δημιουργία του αλγορίθμου συνταύτισης είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη φαινόμενα όπως η παραμόρφωση λόγω διάθλασης, ρυτιδισμών του νερού και ηλιακών αντανάκλασεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

Butler, J.B., Lane, S.N., Chandler, J.H., Porfiri, E., 2002. *Through-Water Close Range Digital Photogrammetry In Flume and Field Environment*. Photogrammetric Record, 17(99), pp. 419-439

Byrne, P.M. and Honey, F.R., 1978. *Air Survey and Satellite Imagery Tools for Shallow Water Bathymetry*. Inst. Of Surveyors Aust. Congress, Darwin, pp. 103-119.

Demesticha, S., 2010. *The 4th-Century-BC Mazotos Shipwreck, Cyprus: a preliminary report*, Cyprus

Demesticha, S., 2011. *The Mazotos Shipwreck, Cyprus. A preliminary Report*, International Journal of Nautical Archaeology 40.1, pp. 39–59.

Elfick, M.H. and Fryer, J.G., 1983. *Mapping in Shallow Water*. University of Newcastle, Australia, Commission V, pp. 240-247.

Fryer, J.G., 1983. *Photogrammetry through shallow water*. Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying, 38, pp. 25-38.

Fryer, J.G., 1983b. *A Simple System for Photogrammetric Mapping in Shallow Water*. Photogrammetric Record, 11(62), pp. 203-208.

Fryer, J.G., 1984. *Errors in depths determined by through-water photogrammetry*. Ibid., 40, pp. 29-39.

Fryer, J.G. and Kniest, H.K., 1985. Some strategies for improving the accuracy of depths determined by through-water photogrammetry. Ibid, 43: 45-60.

Fryer, J.G. and Kniest, H.K., 1985. Errors in Depth Determination Caused by Waves in Through-Water Photogrammetry. Photogrammetric Record, 11(66): 745-753.

Fryer, J.G., Fraser, C.S., 1986. *On the development of underwater cameras*. Photogrammetric Record 12 (67), 73-85.

Harris, W.D. and Umbach, M.J., 1972. *Underwater Mapping*. Photo. Eng., 38(6), pp. 765-772.

Masry, S.E., 1975. *Measurement of Water Depth by Analytical Plotter*. International Hydrographic Review, 52, 1, pp. 75-86.

Menna F., Nocerino E, Troisi S., Remondino F., 2013. *Photogrammetric Surveying of the Costa Concordia*, 3D Optical Metrology Unit, FBK Trento, Italy, Large Volume Metrology Conference & Exhibition 2013 ISPRS, 10-11 September, Mercure Manchester Picadilly

Menna F., Nocerino E, Troisi S., Remondino F., 2013. *A photogrammetric approach to survey floating and semi-submerged objects*, 3D Optical Metrology unit, Bruno Kessler Foundation (FBK), 38123 Trento, Italy, Parthenope University of Naples, Dept. of Applied Science, 80143 Naples, Italy

Newton, I., 1989. *Underwater photogrammetry*. Chapter 11 in *Non-Topographic Photogrammetry* (Ed. H.M. Karara), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia, 445, pp. 147-166

Skarlatos, D., Agariou, A., Rova, M. 2010. *Photogrammetric support on an underwater archaeological excavation site: The Mazotos shipwreck case*. Euromed, Digital Heritage, 8-11 November, Lemesos

Skarlatos, D., Rova, M., 2010. *Photogrammetric approaches for the archaeological mapping of the Mazotos shipwreck*. 7th International Conference on Science and Technology In Archaeology and Conservation, 7-12 December, Petra.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., 2007, *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι'*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Αγραφιώτης Π., 2012, *Ανάπτυξη φωτογραμμετρικών μεθόδων δύο μέσων για τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων*, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Γεωργόπουλος Α., Χλιβερού Ρ., 2003, *Στοιχεία Φωτογραφικής Τεχνικής*, Αθήνα

Γεωργόπουλος, Α., 2011, *Διαφάνειες του μαθήματος «Αποτυπώσεις Μνημείων»*, Τομέας Φωτογραμμετρίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Διαμαντή Ε., 2011. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ενάλιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς*, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Δουκάκης Ε., 1999, *Θαλάσσια Γεωδαισία*, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Θεοδούλου Θ., 2012, *Ποντισμένα κτηριακά κατάλοιπα στη Δάρδιζα Ερμιόνης*, παρουσίαση στο Διεθνές συνέδριο στην Τρίπολη για «Το αρχαιολογικό έργο στην Πελοπόννησο», 7 - 11 Νοεμβρίου

Ιωαννίδης Χ., 2008, *Διαφάνειες από τις παραδόσεις του μαθήματος Φωτογραμμετρία ΙΙ*, Αθήνα

Μπαλοδήμος Δ., 1993, *Ειδικές Γεωδαιτικές Αποτυπώσεις*, Τομέας Τοπογραφίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Νάκας Γ., 2007, *Η ενάλια αρχαιολογία στην Ελλάδα*, αω, ενημερωτικό δελτίο τπυ Ιδρύματος Ωνάση, τεύχος 35, Μάρτιος 2007, σελ. 40-43

Παπαγεωργίου Κ., 2001, *Μεθοδολογική προσέγγιση της αποτύπωσης βυθισμένων Μνημείων*, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

Πατιάς Π., 1991, *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*

Ιστότοποι

<http://www.onassis.gr> (Ίδρυμα Ωνάση)

<http://webapp.navionics.com>

<https://www.google.gr/maps>

http://www.onassis.gr/enim_deltio/35_07/article_2.php (Ενημερωτικό Δελτίο ΑΩ - Τεύχος 35 - Μάρτιος 2007)

<http://www.ktimatologio.gr> (ΕΚΧΑ.ΑΕ)

<http://www.ienae.gr/> (Ινστιτούτο Εναλίων Αρχαιολογικών Ερευνών)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Αναφορά αεροτριγωνισμού από το λογισμικό
Photomod

== Τρίτη, 1 Απριλίου 2014 == 12:24:54 μμ ==

Block adjustment report

Block: x7nea stereo

Number of strips: 1

Number of stereopairs: 7

Adjustment parameters:

bundle adjustment

coordinate system: Cartesian Right

manual point on image measurements accuracy, pix.: 2

automatic point on image measurements accuracy, pix.: 0.5

tie point measurements weight: 1

ground control point coordinates weight: 1

projection center coordinates not used

exterior orientation angles not used

adjustment accuracy: 0.5

Measurement units: metre

Exterior orientation parameters

Image: 1.diorh

projection center

81.419836 97.186733 6.765268

rotation matrix

0.2036806576	0.9766771130	0.0679412008
-0.9769289192	0.2073039892	-0.0513316953
-0.0642189739	-0.0559184504	0.9963679292

Omega, Phi, Kappa (gon)

3.2768925289	4.3286056870	-86.9112387843
--------------	--------------	----------------

Image: 10diorth

projection center

83.194578	82.609735	6.021878
-----------	-----------	----------

rotation matrix

0.2333287131	0.9686454781	0.0853442990
-0.9464492366	0.2060856755	0.2485206969
0.2231402118	-0.1387610610	0.9648594788

Omega, Phi, Kappa (gon)

-16.0486987607	5.4398041035	-84.9516936348
----------------	--------------	----------------

Image: 2diorth

projection center

81.621960	95.867325	6.348422
-----------	-----------	----------

rotation matrix

0.0275140540	0.9982105158	0.0530918356
-0.9983304597	0.0301381290	-0.0492746030
-0.0507865155	-0.0516474526	0.9973731852

Omega, Phi, Kappa (gon)

3.1426252931	3.3815211079	-98.2457050206
--------------	--------------	----------------

Image: 3diorth

projection center

82.127973 92.901950 6.340684

rotation matrix

-0.0641016134 0.9967616254 0.0485514698

-0.9979025781 -0.0635831643 -0.0121501387

-0.0090237359 -0.0492284804 0.9987467792

Omega, Phi, Kappa (gon)

0.7744342335 3.0920981851 -104.0884635659

Image: 4diorth

projection center

82.235416 90.004401 6.286534

rotation matrix

0.1399421925 0.9873163968 0.0749834345

-0.9892169043 0.1427113457 -0.0329148592

-0.0431983671 -0.0695687033 0.9966414082

Omega, Phi, Kappa (gon)

2.1017225169 4.7780783205 -91.0362630706

Image: 5diorth

projection center

82.468443 87.744092 6.073480

rotation matrix

0.0974799991	0.9883109490	0.1172139833
-0.9951646354	0.0982194588	-0.0005350793
-0.0120415188	-0.1165950514	0.9931065380

Omega, Phi, Kappa (gon)

0.0343006558	7.4792675011	-93.7410771735
--------------	--------------	----------------

Image: 6diorth

projection center

82.746845	85.700706	6.144072
-----------	-----------	----------

rotation matrix

0.1551357320	0.9849131779	0.0766742237
-0.9835512873	0.1612567479	-0.0813825929
-0.0925190241	-0.0627876833	0.9937293077

Omega, Phi, Kappa (gon)

5.2020607887	4.8860281220	-90.0541838551
--------------	--------------	----------------

Image: 8diorth

projection center

83.059113	84.154984	5.969531
-----------	-----------	----------

rotation matrix

0.1425326409	0.9840270090	0.1066550129
-0.9853416935	0.1512704720	-0.0788605816
-0.0937346964	-0.0938514241	0.9911638194

Omega, Phi, Kappa (gon)

5.0545296369	6.8028081376	-90.8424885721
--------------	--------------	----------------

General adjustment accuracy estimation

Sigma_0 = 1.155

Generalized adjustment residuals informationGround control point residuals

N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	E _{xy} (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
4013	-0.059	0.047	0.014	0.075
4033	0.000	0.000	0.000	0.000
407	0.002	-0.015	-0.021	0.015
421	-0.021	-0.032	-0.002	0.038
427	0.052	0.045	0.054	0.069
430	-0.024	-0.054	-0.026	0.059
431	0.000	-0.001	-0.040	0.001
511	0.029	0.000	-0.010	0.029
518	0.039	-0.007	-0.008	0.040
521	0.011	-0.040	0.011	0.041
523	-0.015	0.011	0.008	0.019
531	-0.015	0.044	0.021	0.047
mean absolute:	0.022	0.025	0.018	0.036
RMS:	0.029	0.032	0.023	0.043
maximum:	0.059	0.054	0.054	0.075
number of points (differences):	12 (12	12	12)

Check points residuals

N	Xm-Xg	Ym-Yg	Zm-Zg	Exy (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
4008	0.063	0.023	0.029	0.067
4014	0.023	-0.004	-0.039	0.024
4023	0.024	-0.032	-0.037	0.040
404	0.007	-0.090	-0.030	0.091
406	0.034	-0.073	-0.028	0.081
409	0.032	0.036	0.089	0.048
418	0.011	-0.050	-0.027	0.052
422	0.010	-0.061	-0.067	0.062
423	-0.028	-0.027	-0.060	0.039
429	-0.001	-0.014	-0.025	0.014
432	-0.001	-0.003	-0.031	0.003
433	-0.053	-0.056	-0.029	0.077
435	0.008	-0.057	-0.020	0.058
443	0.030	-0.064	-0.050	0.071
444	0.063	-0.018	-0.019	0.065
515	0.010	-0.006	-0.061	0.011
517	0.087	-0.029	0.024	0.092
528	0.057	-0.051	0.165	0.076
mean absolute:	0.030	0.039	0.046	0.054
RMS:	0.039	0.046	0.057	0.060
maximum:	0.087	0.090	0.165	0.092

number of points (differences):

18 (18 18 18 18)

Tie point residuals (between stereopairs)

N	X1-X2	Y1-Y2	Z1-Z2	E _{xy} (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
mean absolute:	0.006	0.004	0.039	0.008
RMS:	0.008	0.006	0.047	0.010
maximum:	0.022	0.017	0.097	0.028

number of points (differences):

24 (24 24 24 24)

inside strips

N	X1-X2	Y1-Y2	Z1-Z2	E _{xy} (metre)
limit:	0.200	0.200	0.200	0.200
mean absolute:	0.006	0.004	0.039	0.008
RMS:	0.008	0.006	0.047	0.010
maximum:	0.022	0.017	0.097	0.028

number of points (differences):

24 (24 24 24 24)

Tie point residuals (on images)

N	x_pr-x_meas	y_pr-y_meas	E _{xy} (mm)
limit:	0.716	0.716	0.716
mean absolute:	0.005	0.007	0.010
RMS:	0.009	0.009	0.013
maximum:	0.041	0.035	0.042

number of points (differences):

84 (189 189 189)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Ορθοφωτογραφία και Μηκοτομές



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:
 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013
 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΙΚΟ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
 ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
 ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ
 ΠΕΡΙΟΧΗ: ΔΑΡΔΑΝΙΑ Δ.Δ. ΕΡΜΙΟΝΗΣ

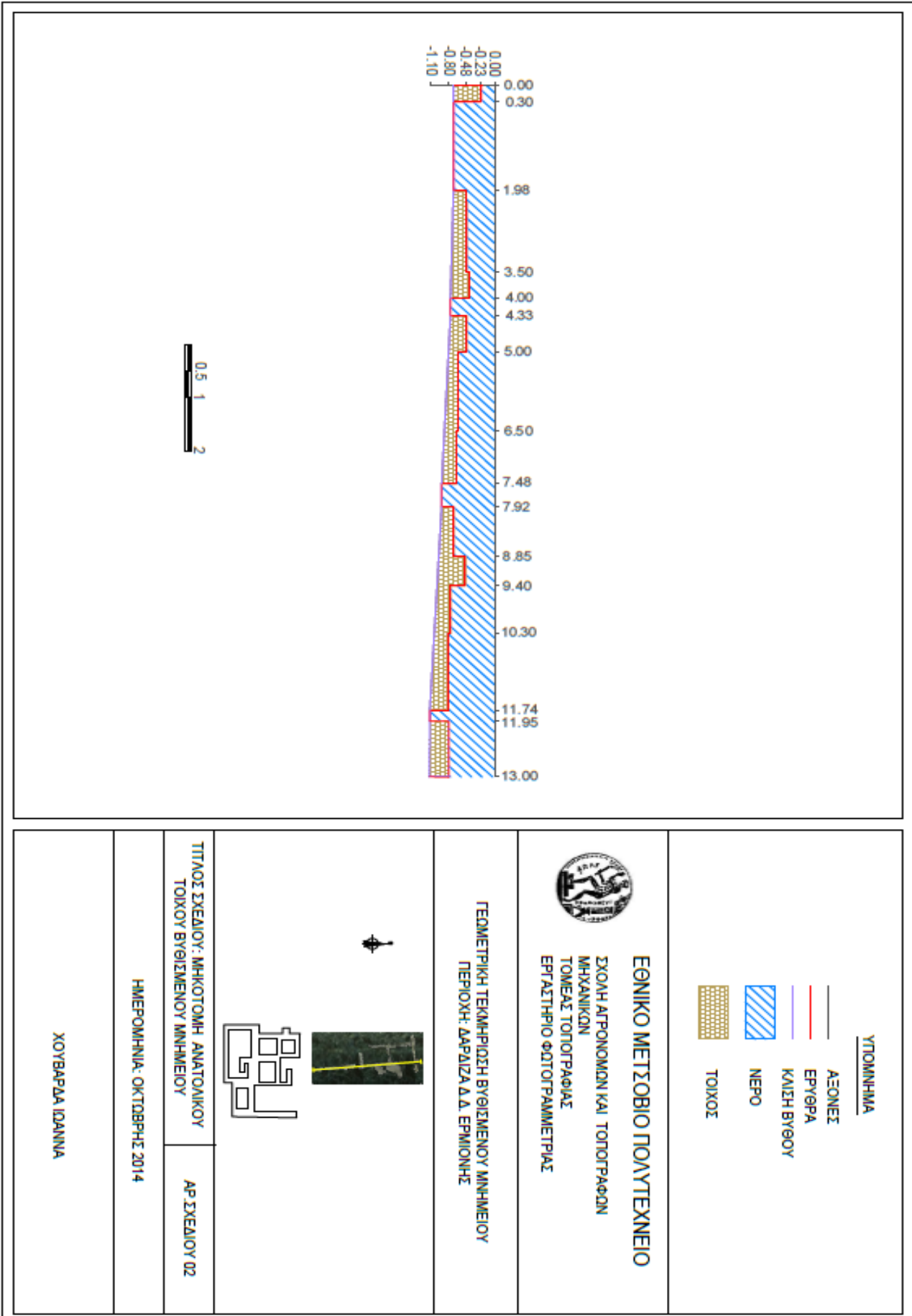


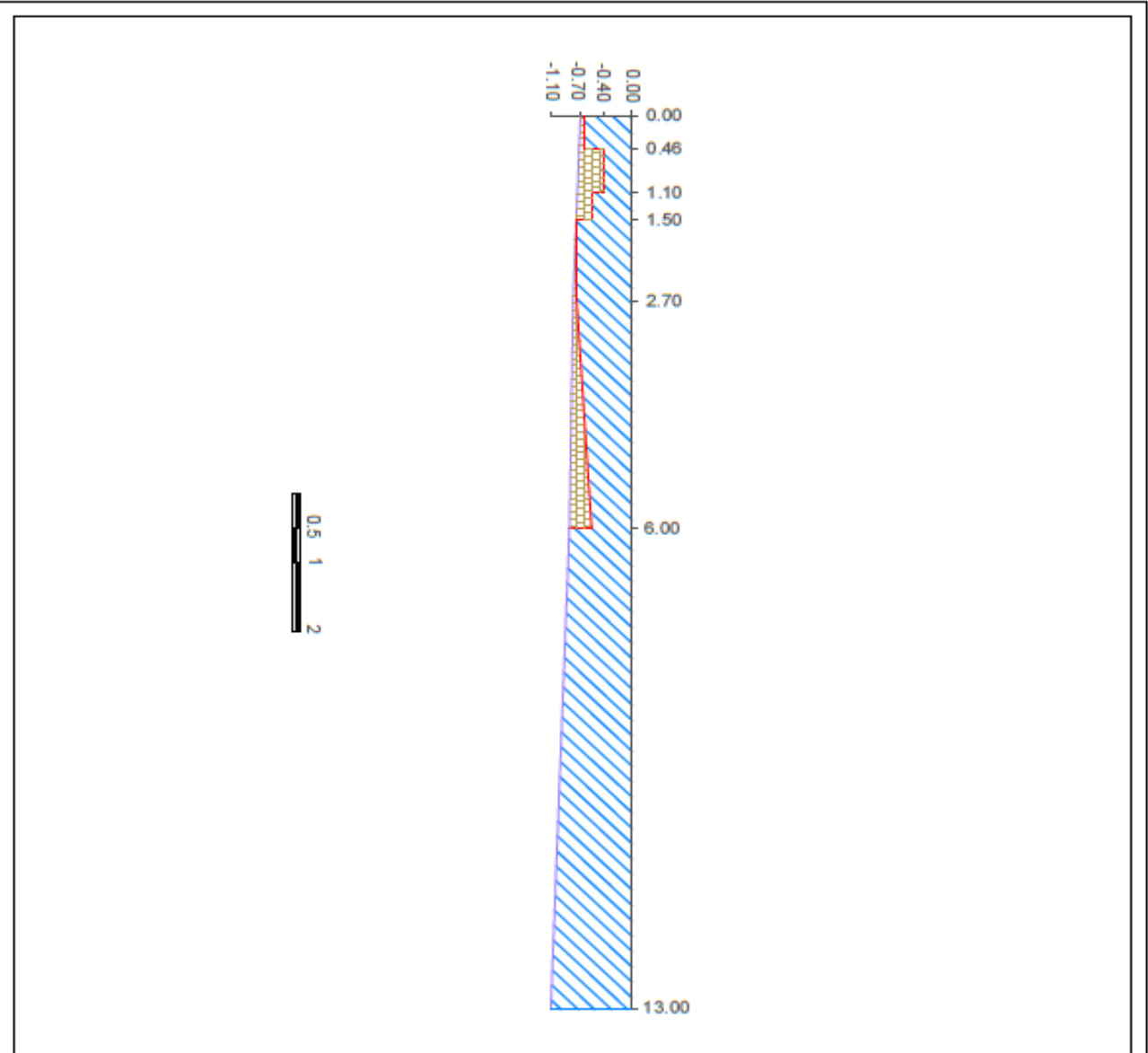
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

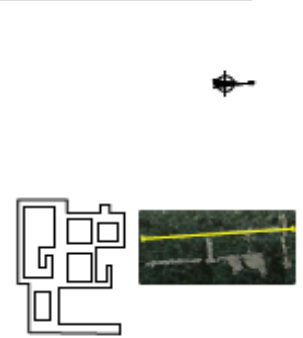
ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 01

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΧΟΥΒΑΡΔΑ ΙΩΑΝΝΑ





<p>ΥΠΟΜΝΗΜΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> — ΑΞΟΝΕΣ — ΕΡΥΘΡΑ — ΚΑΙΣΗ ΒΥΘΟΥ ▨ ΝΕΡΟ ▨ ΤΟΙΧΟΣ 	<p>ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ</p>	<p>ΠΕΡΙΟΧΗ : ΔΑΡΔΙΖΑ Δ.Δ. ΕΡΜΙΟΝΗΣ</p>	<p></p>	<p>ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣ: ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ</p> <p>ΑΡ. ΣΧΕΔΙΑΣ 03</p>	<p>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014</p>	<p>ΧΟΥΒΑΡΔΑ ΙΩΑΝΝΑ</p>
--	--	--	--	---	-----------------------------------	------------------------