



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

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΕΝΑΛΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Ελένη Χ. Διαμαντή

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011

στους
Χρήστο, Σοφία, Δημήτρη & Γιώργο...

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τον καρπό μιας γενικότερης αναζήτησης «εναλλακτικών» τοπογραφικών εφαρμογών που ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2009, στο πλαίσιο των θερινών φωτογραμμετρικών ασκήσεων. Ευχαριστώ από καρδιάς τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. Ανδρέα Γεωργόπουλο τόσο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εξερευνήσω μια πολύ ενδιαφέρουσα φωτογραμμετρική εφαρμογή, αυτή της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας, όσο και για την ευκαιρία της συμμετοχής μου στο ερευνητικό πρόγραμμα στο αρχαίο ναυάγιο του Μαζωτού στην Κύπρο, που αποτέλεσε το έναυσμα της περαιτέρω ενασχόλησής μου με τις υποβρύχιας αποτυπώσεις και την αφορμή της γνωριμίας μου με το Ινστιτούτο Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών.

Ευχαριστώ, επίσης, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. Χαράλαμπο Ιωαννίδη για τη συνεχή βοήθεια και συμβολή του στην εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Θερμά ευχαριστώ τους Τοπογράφους Μηχανικούς Ε.Μ.Π. Δημήτρη Σκαρλάτο, Κωνσταντίνο Καράντζαλο, Σοφία Σοϊλέ και Άρτεμη Βαλάνη τόσο για τις πολύτιμες συμβουλές τους όσο και για το διαρκές ενδιαφέρον τους για την πορεία της διπλωματικής. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Τοπογράφο Μηχανικό και φίλη, Ιουλία Λεβέντη, για την καθοριστική της βοήθεια και το αδιάκοπο ενδιαφέρον της.

Ενα θερμό ευχαριστώ ανήκει στους αρχαιολόγους Στέλλα Δεμέστιχα, Γιώργο Κουτσουφλάκη και Χρήστο Αγουρίδη, με τους οποίους αναπτύχθηκε ένα άψογο κλίμα συνεργασίας στις αρχαιολογικές έρευνες του Μαζωτού, του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου και του Αργολικού κόλπου αντίστοιχα.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να αναφερθώ στην Αρχιτέκτονα Μηχανικό Ε.Μ.Π. Φωτεινή Βλαχάκη, την οποία θαυμάζω για την εξαιρετική της δουλειά στις υποβρύχιας αποτυπώσεις και να την ευχαριστήσω για τις αμέτρητες συμβουλές, ιδέες και προτάσεις της κατά τη συνεργασία μας τους τελευταίους μήνες. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον φωτογράφο Βασίλη Μεντόγιαννη καθώς και τον τεχνικό Μάρκο Γάρρα για την αδιαμφισβήτητη βοήθειά τους σε παντός είδους τεχνικά ζητήματα και θέματα υποβρύχιας φωτογράφισης. Τέλος, δεν θα πρέπει να παραλείψω ένα ευχαριστώ σε όλους τους δύτες του Ινστιτούτου Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών καθώς και της Εφορείας Ενάλιων Αρχαιοτήτων που συντέλεσαν στη διεξαγωγή μετρήσεων και άλλων υποβρύχιας εργασιών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθοδολογιών με στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση ενάλιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώθηκε στη φωτογραμμετρική τεκμηρίωση αρχαίου ναυαγίου της Ύστερης Ελληνιστικής εποχής (2^{ος} -1^{ος} αι. π.Χ.) που εντοπίστηκε στο νότιο Ευβοϊκό κόλπο, στη βορειοδυτική πλευρά της νήσου Στύρα. Η αποτύπωση του μνημείου αυτού πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας που διεξήχθη τον Ιούλιο του 2010 μέσω της συνεργασίας του Ινστιτούτου Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών (Ι.Ε.Ν.Α.Ε.) και της Εφορείας Ενάλιων Αρχαιοτήτων (Ε.Ε.Α.). Το εν λόγω ναυάγιο βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 39 έως 47 μέτρα σε έναν επικλινή (κλίση περίπου 25%) και σχετικά αμμώδη βυθό. Πρόκειται λοιπόν για ένα εξαιρετικά σύνθετο αντικείμενο μελέτης όχι μόνο ως προς το γεγονός ότι είναι υποβρύχιο, αλλά και εξαιτίας των δυσμενών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή στην οποία βρίσκεται ιδιαίτερα αυξημένο βάθος, μειωμένη ορατότητα, δυσκολία προσέγγισης του ναυαγίου ή ακόμα και ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα. Η ιδιαιτερότητα της περιοχής μελέτης έστρεψε το ενδιαφέρον της ερευνητικής ομάδας στην επιστήμη της φωτογραμμετρίας, ως μοναδική λύση για την λεπτομερή και ταυτόχρονα ακριβή μέθοδο γεωμετρικής τεκμηρίωσης του ναυαγίου.

*School of Rural and Surveying Engineering
National Technical University of Athens, Greece*

GEOMETRIC DOCUMENTATION OF UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL SITES

Eleni Diamanti

Diploma Thesis

February 2011

ABSTRACT

This diploma thesis examines the geometric documentation of underwater archaeological sites and is focused on the case of a Hellenistic shipwreck, 45 meters deep, located at Southern Euboean gulf. Underwater photogrammetry provides an efficient, nondestructive and cost-effective means for measurement in environments with limited accessibility. Even if divers are able to approach a site, staying in deep water is difficult and potentially dangerous. Therefore, diving time should be kept as short as possible. It is thus essential that the data collection time is kept too short. This makes typical surveying techniques impossible to use. With the growing use of consumer cameras and photogrammetry softwares, this application is becoming easier, thus benefiting a wide variety of underwater sites. However, utilizing cameras for underwater photogrammetry poses some crucial modeling problems due to refraction effect and the extension of the imaging system into a unit of both the camera and the protecting housing device. There are a lot of additional parameters that have to be co-estimated in every photogrammetric process. Furthermore, photogrammetry requires conventional field survey measurements to establish a reference frame. The application of a three-dimensional trilateration using common tape measures was chosen for this reason. Among the softwares that were used for surveying and photogrammetry processing, Site Recorder SE, Eos Systems Photomodeler, ZI's SSK and Rhinoceros are included. The final aim of the thesis is to achieve a virtual exploration to the ancient shipwreck and improve the accessibility of this site by generating accurate and radiometrically efficient orthophotomosaics and 3D rendered models.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	9
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΤΟ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</i>	11
1.1 Η ενάλια αρχαιολογία στην Ελλάδα.....	11
1.1.1 Ινστιτούτο Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών (Ι.ΕΝ.Α.Ε.)	13
1.1.2 Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων	16
1.2 Φυσικό περιβάλλον μετρήσεων	16
1.2.1 Επικρατούσες υποβρύχιες συνθήκες.....	16
1.2.2 Προβλήματα και κίνδυνοι καταδύσεων	25
1.2.3 Οργάνωση συνεργείου	28
1.2.4 Καταδυτικός εξοπλισμός.....	29
1.2.5 Μέτρα ασφαλείας	31
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ</i>	33
2.1 Αναγνώριση περιοχής.....	33
2.2 Σήμανση.....	34
2.2.1 Σήμανση σε αμμώδη βυθό	34
2.2.2 Σήμανση σε βραχώδη βυθό	35
2.3 Υποβρύχιες Μετρήσεις.....	36
2.3.1 Μετρήσεις μηκών	36
2.3.2 Γωνιομετρήσεις (μέθοδοι & όργανα).....	39
2.3.3 Υψομετρία	40
2.4 Ίδρυση Σημείων Αναφοράς	43
2.5 Εξάρτηση από το Κρατικό Σύστημα	46
2.5.1 Βασικές συνθήκες.....	47
2.5.2 Απαιτήσεις ακρίβειας προσδιορισμού	47
2.5.3 Μέθοδοι αναβιβασμού σημείων (μικρά & μεγάλα βάθη).....	47
2.5.4 Μέθοδοι καταβιβασμού σημείων	48
2.5.5 Σύγκριση των μεθόδων	50

2.6 Αποτύπωση	50
2.6.1 Αποτύπωση με αναβιβασμό σημείων	51
2.6.2 Αποτύπωση με καταβιβασμούς σημείων	51
2.6.3 Αποτύπωση με κάρναβο.....	52
2.6.4 Αποτύπωση με μετροτράπεζα	53
2.6.5 Αποτύπωση με τριπλευρισμό	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΝΑΥΑΓΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΟΧΗΣ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΕΥΒΟΪΚΟ ΚΟΛΠΟ	56
3.1 Αρχαιολογικά στοιχεία και γεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης.....	56
3.2 Ίδρυση δικτύου φωτοσταθερών σημείων	58
3.3 Πλευρομετρήσεις και επίλυση τριπλευρισμού.....	59
3.4 Ακρίβεια επίλυσης τριπλευρισμού	62
3.5 Υποβρύχια Φωτογραμμετρία	64
3.6 Προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας	65
3.6.1 Έμμεσα προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας	65
3.6.2 Άμεσα προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας	66
3.7 Μηχανές Υποβρυχίων Λήψεων.....	72
3.8 Υποβρύχια Βαθμονόμηση Μηχανής	74
3.8.1 Σημασία αποκατάστασης εσωτερικού προσανατολισμού.....	75
3.8.2 Εφαρμογή βαθμονόμησης στο περιβάλλον του ναυαγίου	76
3.8.3 Επίλυση βαθμονόμησης σε περιβάλλον Photomodeler	77
3.9 Φωτογράφιση ναυαγίου	80
3.9.1 Προγραμματισμός λήψεων.....	80
3.9.2 Προβλήματα φωτογράφισης.....	82
3.10 Επεξεργασία εικόνων.....	82
3.11 Επίλυση αεροτριγωνισμού	83
3.12 Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας	89
3.13 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου	92

3.13.1 Μοντελοποίηση βασικού τύπου αμφορέα που βρέθηκε στο ναυάγιο.....	92
3.13.2 Προσανατολισμοί στο Photomodeler.....	93
3.13.3 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου στο λογισμικό Rhinoceros	94
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΩΝ ΝΑΥΑΓΙΩΝ ΣΤΟΝ ΜΑΖΩΤΟ (ΚΥΠΡΟΣ) ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΡΓΟΛΙΚΟ ΚΟΛΠΟ</i>	<i>97</i>
4.1 Εφαρμογή στο ναυάγιο του Μαζωτού	97
4.1.1 Η περιοχή μελέτης	97
4.1.2 Αποτύπωση του ναυαγίου του Μαζωτού	98
4.1.3 Φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου.....	100
4.2 Εφαρμογή σε ναυάγιο στον Αργολικό κόλπο	104
4.2.1 Αρχαιολογικά στοιχεία και τοπογραφία περιοχής	104
4.2.2 Ίδρυση και συνόρθωση πολυγωνομετρικού δικτύου	106
4.2.3 Φωτογραμμετρική αποτύπωση ναυαγίου.....	108
4.2.4 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του ναυαγίου	109
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</i>	<i>111</i>
5.1 Αξιολόγηση επίλυσης τριπλευρισμού	111
5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων υποβρύχιας φωτογραμμετρίας.....	113
5.3 Γιατί και SSK και όχι μόνο Photomodeler.....	114
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	<i>116</i>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με 17.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής, που ισοδυναμούν με το 25% των ακτών της Μεσογείου, με συμπλέγματα 3.500 νήσων και με 1.000 εντοπισμένα ναυάγια στις θάλασσές της, αριθμός που υπολείπεται κατά πολύ του πραγματικού, και με μια μακράιωνη ιστορία, η Ελλάδα αποτελεί την χώρα με τον μεγαλύτερο και σημαντικότερο ίσως αρχαιολογικό πλούτο. Αρχαία ναυάγια, καταποντισμένοι οικισμοί και αρχαίες λιμενικές εγκαταστάσεις φιλοξενούνται για αιώνες στις ελληνικές θάλασσες. Παράλληλα, οι θεωρητικές και τεχνολογικές εξελίξεις στις περιοχές της εφαρμοσμένης τοπογραφίας και φωτογραμμετρίας όσον αφορά την γεωμετρική τεκμηρίωση των βυθισμένων αυτών μνημείων δεν έχουν γνωρίσει την αλματώδη ανάπτυξη που έχουν γνωρίσει οι επίγειες αποτυπώσεις μνημείων. Για τον λόγο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια προσπάθεια να υποστηριχθούν οι παραδοσιακές και αναπόδραστες γεωδαιτικές τεχνικές από τα σύγχρονα λογισμικά και την ψηφιακή τεχνολογία.

Οι σύγχρονες ψηφιακές τέχνες, μεταξύ των οποίων η φωτογραμμετρία κατέχει εξέχουσα θέση, μπορούν να προσφέρουν πολλά στις αποτυπώσεις μνημείων. Στην περίπτωση των βυθισμένων μνημείων, η ψηφιακή τεχνολογία μπορεί να προσφέρει το προνόμιο της ψηφιακής περιήγησης στα απρόσιτα αυτά βυθισμένα μνημεία. Με την τρισδιάστατη τεχνολογία, για παράδειγμα, μπορεί κανείς να «ταξιδέψει» ψηφιακά σε μέρη που στην πραγματικότητα δεν θα μπορούσε να το κάνει εύκολα, όπως στην περίπτωση ενός ναυαγίου στα 47 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η επίτευξη ενός τέτοιου «ψηφιακού ταξιδιού» σε ένα απρόσιτο μνημείο. Η εργασία αποτελείται από 5 βασικά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αρχικά αναφορά στους δύο βασικούς φορείς που ασχολούνται με την ενάλια αρχαιολογία στην Ελλάδα, το I.EN.A.E. και την E.E.A., ενώ στη συνέχεια επιχειρείται μία εκτενής περιγραφή των ιδιαιτεροτήτων του υποβρύχιου περιβάλλοντος, τόσο από τη μεριά της βιωσιμότητας μέσα σε αυτό, όσο και από τη σκοπιά του τοπογράφου και του περιβάλλοντος των μετρήσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία διερεύνηση των παραδοσιακών μεθοδολογιών που ακολουθούνται στις υποβρύχιες αποτυπώσεις. Οι περισσότερες από αυτές τις κλασικές γεωδαιτικές τεχνικές δεν χρησιμοποιήθηκαν στην αποτύπωση του ναυαγίου του νότιου Ευβοϊκού. Ωστόσο, θεωρήθηκε απαραίτητο να καταγραφούν ώστε να διασαφηνιστεί το γιατί ήταν ανεπαρκείς για το συγκεκριμένο αντικείμενο μελέτης. Από την άλλη, καταγράφονται και αναπόδραστες παραδοσιακές τεχνικές, όπως ο τριπλευρισμός, που υποστηρίζονται με επιτυχία από τα σύγχρονα λογισμικά και την ψηφιακή επεξεργασία.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει αυτό ακριβώς που μαρτυρά και ο τίτλος του, δηλαδή τη φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου στο νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Γίνεται εκτενής αναφορά σε όλη τη φωτογραμμετρική διαδικασία από την επίλυση του δικτύου των φωτοσταθερών σημείων με τριπλευρισμό και την υποβρύχια

βαθμονόμηση ψηφιακής κάμερας μέχρι και την δημιουργία της ορθοφωτογραφίας και του τρισδιάστατου μοντέλου του ναυαγίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται δύο ακόμη φωτογραμμετρικές εφαρμογές σε αρχαία ναυάγια, μία στο ναυάγιο κλασικών χρόνων του Μαζωτού στην Κύπρο και μία στο προϊστορικό ναυάγιο στη νήσο Μόδι, νοτιοανατολικά του Πόρου. Και στις δύο αυτές εφαρμογές, οι μεθοδολογίες αποτύπωσης εμφανίζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, με την φωτογραμμετρία να αποτελεί τη βασική μέθοδο τεκμηρίωσης των ναυαγίων.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εμπειρία των τριών εφαρμογών στα αρχαία ναυάγια που προαναφέρθηκαν και διατυπώνονται προτάσεις για ανάλογες μελλοντικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΤΟ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1 Η ενάλια αρχαιολογία στην Ελλάδα

Από την αυγή της ιστορίας, η θάλασσα έπαιξε σημαντικότατο ρόλο στη ζωή των κατοίκων της Ελλάδας. Καθώς ήταν σε συνεχή επαφή μαζί της, δεν μπορούσαν παρά να στραφούν σε αυτήν για να τραφούν, να ταξιδέψουν, να εμπορευτούν. Η μελέτη της σχέσης του ανθρώπου με τη θάλασσα και των μαρτυριών που αυτή αφήνει πίσω της είναι το αντικείμενο της ενάλιας αρχαιολογίας. Πρόκειται για αυτόνομο κλάδο της σύγχρονης αρχαιολογίας, ο οποίος οδηγεί όχι απλώς σε εντυπωσιακά υποβρύχια ευρήματα, αλλά και σε καλύτερη γνώση του παρελθόντος.

Το πρώτο καταδυτικό σκάφανδρο έφτασε στην Ελλάδα γύρω στα 1860 για να χρησιμοποιηθεί από δωδεκανήσιους σφουγγαράδες. Αυτός ήταν και ο εξοπλισμός των πρώτων υποβρύχιων ερευνών στη χώρα. Το 1884 μια ομάδα σφουγγαράδων με επιστήμονες προϊστορικής αρχαιολογίας ξεκίνησαν έρευνες στα στενά της Σαλαμίνας, αναζητώντας λείψανα της περίφημης αρχαίας ναυμαχίας. Παρότι η έρευνα αυτή απέβη άκαρπη, αποτέλεσε ουσιαστικά την πρώτη επιστημονική εξερεύνηση του βυθού στη Μεσόγειο.

Το φθινόπωρο του 1900, Σύμιοι σφουγγαράδες ανακάλυψαν τυχαία το ναυάγιο των Αντικυθήρων, στο φορτίο του οποίου εντοπίστηκε μια συλλογή από χάλκινα και μαρμάρινα αγάλματα, τα οποία μεταφέρονταν από την Ελλάδα στη Ρώμη γύρω στο 80 π.Χ. Στα μοναδικά αυτά ευρήματα ξεχωρίζει ο χάλκινος Έφηβος των Αντικυθήρων καθώς και ο περίφημος Υπολογιστής των Αντικυθήρων (Εικ.1.1), θησαυροί που αντάμειψαν τους κόπους των δυτών και φανέρωσαν στο ευρύ κοινό τον αρχαιολογικό πλούτο των ελληνικών θαλασσών.



Εικ. 1.1: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Στα χρόνια που ακολούθησαν και παρά την ύπαρξη κάποιων εντυπωσιακών τυχαίων ευρημάτων όπως του Ποσειδώνα και του Αναβάτη του Αρτεμισίου, καθώς και του Εφήβου του Μαραθώνα, δεν πραγματοποιήθηκαν ενάλιες έρευνες στην Ελλάδα. Την ίδια περίοδο όμως η πρόοδος της επιστήμης, κυρίως δε μετά την εφεύρεση της συσκευής αυτόνομης κατάδυσης το 1946 από τους J.Y.Cousteau και Gagnan, έδωσε νέα ώθηση στην εξερεύνηση των θαλασσών.

Τη 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 τη διεύθυνση του Ν.Γιαλούρη, του πρώτου Έλληνα καταδύομένου αρχαιολόγου. Τη δεκαετία του 1960, πραγματοποιήθηκε πληθώρα αναγνωριστικών ερευνών στο Αιγαίο από τον πρωτοπόρο για την εποχή αμερικάνο

ερευνητή P.Throckmorton. Ωστόσο, οι φιλότιμες αυτές προσπάθειες απέβησαν άκαρπες, αφού βρήκαν εμπόδια την αδιαφορία και την καχυποψία τόσο της πολιτείας όσο και των ακαδημαϊκών. Η ανάπτυξη του καταδυτικού τουρισμού έφερε τις ελληνικές αρχές αντιμέτωπες με το πρόβλημα της προστασίας της υποβρύχιας πολιτισμικής κληρονομιάς.

Το 1970, η συστηματική σύλληψη του κεραμικού φορτίου ενός βυζαντινού ναυαγίου του 12^{ου} αιώνα στο Πελαγονήσι, στις Σποράδες, οδήγησε το γενικό επιθεωρητή Σ.Μαρινάτο να επιτρέψει στο Χ.Κριτζά και στον P.Throckmorton να προχωρήσουν στην ανασκαφή του ναυαγίου. Η σύντομη αλλά υποδειγματική αυτή έρευνα ήταν για τους συμμετέχοντες ένα «σχολείο», όπου για πρώτη φορά ήρθαν σε επαφή με νέες επιστημονικές μεθόδους και τεχνικές της υποβρύχιας ανασκαφής. Ένα χρόνο αργότερα, βρέθηκε στην Ελλάδα ο Χάρολντ Έτζερτον, ένας ακόμη πρωτοπόρος της υποβρύχιας έρευνας, ο οποίος με τη βοήθεια νέων ηχοβολιστικών οργάνων (sonar) ξεκίνησε αναζήτηση για τα απομεινάρια της ναυμαχίας της Ναυπάκτου και της χαμένης αρχαίας πόλης της Ελικής. Ταυτόχρονα, η Αρχαιολογική Υπηρεσία ερευνούσε ξανά την Φειά και το νεολιθικό σπήλαιο της Αλεπότρυπας Δυρού.

Κατά τη διάρκεια των παραπάνω ερευνών, ωρίμασε η ιδέα της δημιουργίας ενός ιδιωτικού φορέα, ο οποίος απαγκιστρωμένος από την κρατική γραφειοκρατία, θα ασχολείτο αποκλειστικά με την ενάλια αρχαιολογική κληρονομιά της χώρας. Έτσι, το 1973 οι Γσούχλος, Παπαθανασόπουλος, Κριτζάς και Throckmorton ίδρυσαν το Ινστιτούτο Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών (I.EN.A.E.), στηριζόμενοι στην ιδιωτική πρωτοβουλία και στην υποστήριξη Ελλήνων και ξένων εθελοντών.

Εξίσου αισθητή ήταν εκείνη την περίοδο η απουσία μιας ανάλογης κρατικής υπηρεσίας. Έτσι, το 1977 ιδρύθηκε η Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων (Ε.Ε.Α.). Ο διάσημος ερευνητής J.Y.Cousteau ήταν από τους πρώτους που συνεργάστηκαν μαζί της, εξερευνώντας διάφορα ναυάγια μεταξύ των οποίων τα ναυάγια του Βρετανικού στην Κέα και της γαλλικής ναυαρχίδας La Thérèse στο Ηράκλειο.

Πολύ σημαντικό γεγονός, επίσης, για την ενάλια αρχαιολογία στάθηκε ο εντοπισμός και η ανασκαφή ενός ναυαγίου του 4^{ου} αιώνα π.Χ. στην Κερύνεια της Κύπρου, το οποίο μάλιστα βρισκόταν σε πολύ καλή κατάσταση. Το πλοίο ανελκύστηκε, συντηρήθηκε και εκτίθεται στο μουσείο του κάστρου της Κερύνειας. Επιστημονικό υπεύθυνος της ανασκαφής ήταν ο M.Katzev. η μελέτη του ναυαγίου της Κερύνειας έδωσε πολλά και σημαντικά νέα στοιχεία για τη ναυπηγική των αρχαίων πλοίων και θεωρείται ανασκαφή-σταθμός για την υποβρύχια αρχαιολογία. Παραμένοντας στην περιοχή της Κύπρου αξίζει να σημειωθεί ένα νέο διαμάντι της ενάλιας αρχαιολογίας, το ναυάγιο του Μαζωτού, το φορτίο του οποίου αριθμεί εκατοντάδες χιακούς αμφορείς, μεγάλος αριθμός των οποίων είναι ακέραιοι. Η έρευνα εξελίσσεται τα τελευταία πέντε χρόνια υπό τη διεύθυνση της αρχαιολόγου Σ.Δεμέστιχα.

Γυρνώντας πίσω στη δεκαετία του 1980, συναντά κανείς μια δύσκολη περίοδο. Από τη 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

Αιτωλοακαρνανίας) και περιορίστηκε ουσιαστικά στο ρόλο του επιβλέποντος σε θαλάσσια τεχνικά έργα.

Από το 1978, επήλθε η απαγόρευση της αυτόνομης κατάδυσης σε χώρους που ορίστηκαν από την Ε.Ε.Α. ως αρχαιολογικοί σε όλη την επικράτεια, με αποτέλεσμα την έναρξη μιας περιόδου προστριβών μεταξύ καταδυτικών κέντρων και πολιτείας.

Στην αυγή της νέας χιλιετίας λοιπόν, η ενάλια αρχαιολογία στην Ελλάδα παρουσιάζει μια εικόνα σύνθετη και εν μέρει προβληματική. Η ελλιπής κρατική υποστήριξη προς την Ε.Ε.Α. την έχει καταστήσει αδύναμη όχι μόνο να προχωρήσει σε οποιαδήποτε έρευνα ευρείας κλίμακας, αλλά και να προστατεύσει επιτυχώς τις θάλασσες από την συνεχιζόμενη αρχαιοκαπηλία. Η πρόσφατη άρση της απαγόρευσης των καταδύσεων χάριν της ανάπτυξης του καταδυτικού τουρισμού είναι ακόμη άγνωστο κατά πόσον θα βελτιώσει την κατάσταση. Από την άλλη πλευρά, το Ι.Ε.Ν.Α.Ε. παρότι έχει αποδείξει εμπράκτως την αξία του και την προσφορά του στην επιστήμη με το τεράστιο έργο που κάθε χρόνο παράγει, εξακολουθεί να βρίσκει τροχοπέδη την αδιαφορία και τη γραφειοκρατία της ελληνικής πολιτείας. Τα ελληνικά πανεπιστήμια, τέλος, δείχνουν να αγνοούν την ενάλια αρχαιολογία οδηγώντας σε ιδρύματα του εξωτερικού (όπως του Southampton) όσους σπουδαστές ενδιαφέρονται για αυτήν.

Συνοψίζοντας, και μιλώντας με αριθμούς, τονίζεται ότι με 17.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής, που ισοδυναμούν με το 25% των ακτών της Μεσογείου, με συμπλέγματα 3.500 νήσων και με περίπου 1.000 εντοπισμένα ναυάγια στις θάλασσές της, η Ελλάδα μπορεί να παινεύεται ότι συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη πυκνότητα σε ενάλιες αρχαιότητες και το μεγαλύτερο πλούτο ενάλιας πολιτισμικής κληρονομιάς παγκοσμίως. Αρχαία ναυάγια, αλλά και ναυάγια νεότερων χρόνων, πολύτιμα κατάλοιπα που εντοπίζονται στο βυθό των ελληνικών θαλασσών σκεπασμένα από τη λήθη αιώνων ή και χιλιετιών, καταποντισμένοι οικισμοί της αρχαιότητας και αρχαίες λιμενικές εγκαταστάσεις, ένας ολόκληρος κόσμος που χάθηκε μέσα στο νερό παίρνοντας μαζί του τη μεγάλη ιστορία αλλά και τις μικρές ιστορίες των ανθρώπων που πλήρωσαν ακριβά το τίμημα της επιθυμίας για γνωριμία με άλλους τόπους και πολιτισμούς, για την ανταλλαγή αγαθών και ιδεών, είναι αυτός που κρύβεται αλλά και φυλάσσεται στοργικά στις ελληνικές θάλασσες. Κόσμος που επιβάλλεται να έρθει στο φως, να μελετηθεί, να αναδειχθεί και μέσα από κείμενα και εικόνες να περαστεί στις επόμενες γενιές. Ευτυχώς η εξέλιξη της επιστήμης και η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας δεν μπορεί παρά να είναι ο βατήρας για το μεγάλο άλμα προς αυτήν την κατεύθυνση.

1.1.1 Ινστιτούτο Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών (Ι.Ε.Ν.Α.Ε.)

Τον Αύγουστο του 1973 ιδρύθηκε από τους Κριτζά, Throckmorton, Παπαθανασόπουλο ένας αναγνωρισμένος, κοινωφελής και μη κερδοσκοπικός επιστημονικός οργανισμός, το Ινστιτούτο Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών με σκοπό την προώθηση και ανάδειξη της ενάλιας αρχαιολογίας στην Ελλάδα και τη συνδρομή της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας στο δύσκολο έργο της. Γρήγορα στελεχώθηκε από ερασιτέχνες δύτες, επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, όπως

μηχανικούς, συντηρητές ή βιολόγους αλλά και από λάτρεις του υποβρύχιου κόσμου. Ο νέος αυτός φορέας υπήρξε σημαντικός παράγοντας για την εξέλιξη της υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας στην Ελλάδα, επιδεικνύοντας σοβαρό επιστημονικό έργο.

Το I.EN.A.E. πέραν της υποβρύχιας έρευνας δραστηριοποιείται και σε άλλα πεδία. Από το 1989 εκδίδει στα ελληνικά και στα αγγλικά το περιοδικό ENALLIA, το μοναδικό εξειδικευμένο περιοδικό για την υποβρύχια και ναυτική αρχαιολογία που βρίσκεται στην Ελλάδα και ένα από τα ελάχιστα του είδους στον κόσμο.

Ταυτοχρόνως, έχει δημιουργήσει μια εξειδικευμένη σε θέματα ναυτικής και υποβρύχιας αρχαιολογίας βιβλιοθήκη, η οποία αποτελεί σημείο αναφοράς για τους επιστήμονες του κλάδου. Η ηλεκτρονική οργάνωση και ο εμπλουτισμός της βιβλιοθήκης του Ινστιτούτου υλοποιούνται παράλληλα με την αρχειοθέτηση του πλούσιου φωτογραφικού αρχείου του I.EN.A.E., το οποίο περιλαμβάνει μοναδικό φωτογραφικό υλικό από το 1973 μέχρι σήμερα. Το Ινστιτούτο στα 38 χρόνια δραστηριότητάς του στο χώρο της υποβρύχιας αρχαιολογίας έχει ολοκληρώσει δεκάδες έρευνες και έχει φέρει στο φως πολύτιμα ευρήματα, κυρίως χρησιμοποιώντας ίδια μέσα αλλά και αξιοποιώντας συχνά την τεχνογνωσία ξένων ερευνητών.

Το 1975, ο αρχαιολόγος P.Throckmorton μαζί με μέλη του I.EN.A.E. εντόπισε ένα προϊστορικό ναυάγιο στη νήσο Δοκό, στον Αργολικό κόλπο, το αρχαιότερο γνωστό ναυάγιο στον κόσμο (2.400 π.Χ.) την ανασκαφή του οποίου ξεκίνησε το Ινστιτούτο το 1989 σε συνεργασία με την Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων.

Κατά τη διάρκεια των ετών 1975 και 1976, το I.EN.A.E. συμμετείχε σε πολυμελή ερευνητική ομάδα, η οποία σε συνεργασία με την Αρχαιολογική Υπηρεσία διενέργησε υποβρύχιας έρευνες με το διάσημο ερευνητή Jacques-Yves Cousteau. Οι έρευνες του Cousteau με το «Καλυψώ» έγιναν στο Ακρωτήριο Αρτεμίσιο, στο Μαραθώνα, στη Σαντορίνη, στον Κορινθιακό, στη Χαλκιδική, στην Πύλο, στις Σποράδες, στη Μήλο, στο Ηράκλειο, στις νήσους Δία και Ψείρα, στον Κάβο Σίδερο στην Κρήτη, στον όρμο της Αγίας Πελαγίας στην Κρήτη, στο ναυάγιο του «Μέντορα» (του πλοίου του λόρδου Έλγιν) στα Κύθηρα, στο ναυάγιο του πλοίου «La Therese» (ναυαρχίδα του Λουδοβίκου XIV) έξω από το λιμάνι του Ηρακλείου, στο χώρο γνωστού αρχαίου ναυαγίου στα Αντικύθηρα και φυσικά στο πασίγνωστο ναυάγιο του «Βρετανικού» μεταξύ Κέας και Μακρινήσου. Από τη συνεργασία αυτή τα μέλη του I.EN.A.E. απέκτησαν σημαντική εμπειρία και γνώσεις ιδίως σε τεχνικά θέματα καταδύσεων.

Στα μέσα της δεκαετίας του '90, το I.EN.A.E. οργάνωσε και εκτέλεσε τρεις μεγάλες ανασκαφικές έρευνες: στο αρχαιότερο μέχρι σήμερα γνωστό ναυάγιο (2400π.Χ.) στη νήσο Δοκό του Αργολικού (1989-92), στο Κυπρομυκηναϊκό ναυάγιο του 1200π.Χ. στο Ακρωτήριο των Ιρίων Αργολίδος (1991-94) και στο ναυάγιο του προχωρημένου 4^{ου} αιώνα π.Χ. στην Αντιδραγονέρα Κυθήρων (1993-2000 και 2004).

Στο πρωτοελλαδικό ναυάγιο στη νήσο Δοκό, η ανασκαφή έφερε στο φως πλούσια ευρήματα κεραμικής της Πρωτοελλαδικής Εποχής (2200π.Χ. περίπου) και συνέβαλε

σημαντικά στη γνώση της ιστορίας αυτής της περιόδου. Κατά τη διάρκεια των ανασκαφών ήρθαν στο φως πάνω από 4.000 ευρήματα, κυρίως όστρακα αγγείων, δύο τμήματα από μία ράβδο μολύβδου, δύο λίθινες άγκυρες, μικρός αριθμός λεπίδων και απολεπισμάτων οψιανού, δόντια και μικρά τμήματα οστών ζώων. Τα ευρήματα σχεδιάστηκαν, φωτογραφήθηκαν, συντηρήθηκαν και εκτίθενται στο Μουσείο των Σπετσών, όπου με την υποστήριξη της 1^{ης} Εφορείας Βυζαντινών Αρχαιοτήτων του υπουργείου Πολιτισμού οργανώθηκε εργαστήριο συντήρησης ενάλιων αρχαιολογικών ευρημάτων.

Από το 2003 μέχρι σήμερα το Ινστιτούτο έχει στρέψει ιδιαίτερα την προσοχή του στον Αργολικό κόλπο, ξεκινώντας έρευνες σε δύο ναυάγια πρωτοβυζαντινών χρόνων (νησίδες Αγ.Ιωάννης και Κορακιά Ύδρας), οι οποίες και έχουν ολοκληρωθεί αλλά και σε ένα ναυάγιο της Ύστερης Εποχής του Χαλκού στη νήσο Μόδι, το οποίο βρίσκεται υπό ανασκαφική έρευνα ακόμη. Επίσης, εκτός από τον Αργολικό, ιδιαίτερο αρχαιολογικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο Παγασητικός κόλπος με ναυάγιο του 4^{ου} αιώνα μ.Χ. αλλά και πολυάριθμα ευρήματα. Τέλος, την τελευταία τετραετία διεξάγεται σημαντική αρχαιολογική έρευνα σε συνεργασία με την Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, με τον εντοπισμό πολλών ναυαγίων στην ευρύτερη περιοχή και την ανασκαφή ναυαγίου της Ύστερης Ελληνιστικής Εποχής (2^{ος}-1^{ος} αιώνας π.Χ.) στη νήσο Στύρα (Εικ.1.2).



Εικ.1.2: Ναυάγιο στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο

Το Ι.Ε.Ν.Α.Ε υπήρξε κατά τα τελευταία χρόνια, λόγω της έλλειψης πανεπιστημιακής εξειδίκευσης στην Ελλάδα, το μοναδικό στη χώρα «φυτώριο» νέων επιστημόνων του εξειδικευμένου αυτού πεδίου έρευνας. Μέσα από τις έρευνές του, αλλά και χάρη στα σεμινάρια και τις διαλέξεις που κατά καιρούς οργανώνει, είχαν τη δυνατότητα να εκπαιδευτούν δεκάδες νέοι αρχαιολόγοι, επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων και τεχνικοί σε θέματα ναυτικής αρχαιολογίας. Το Ινστιτούτο διατηρεί στενή συνεργασία με επιστήμονες και φορείς από όλο τον κόσμο και συμμετέχει ενεργά σε ερευνητικά προγράμματα επιχορηγούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, μαζί με άλλα ευρωπαϊκά μουσεία και ινστιτούτα.

1.1.2 Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων

Η Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων είναι Ειδική Περιφερειακή Υπηρεσία του υπουργείου Πολιτισμού που έχει ως αποστολή την προστασία των ενάλιων αρχαιοτήτων. Η αρμοδιότητα της Υπηρεσίας εκτείνεται σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια.

Η Εφορεία ιδρύθηκε μόλις το 1977, με σκοπό τον εντοπισμό, την προστασία, τη μελέτη και τη διάσωση όλων των υποθαλάσσιων θησαυρών της χώρας αλλά και την οργάνωση μουσείων εναλίων αρχαίων, την εποπτεία έργου ιστοτιούτων εναλίων δραστηριοτήτων, ωκεανογραφικών ιδρυμάτων και αποστολών, τον έλεγχο των θαλασσιών και υποβρυχίων δραστηριοτήτων που μπορούν να προκαλέσουν άμεση ή έμμεση βλάβη σε αρχαία καθώς και την προώθηση της διαδικασίας αποδέσμευσης θαλασσιών περιοχών για υποβρύχια δραστηριότητα με αναπνευστικές συσκευές για εκπαιδευτικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς. Ως προς τις ενάλιες αρχαιότητες, η Εφορεία ασχολείται με τη μελέτη αρχαίων πλοίων, βυθισμένων πόλεων και λιμανιών. Επίσης, εποπτεύει τις κατασκευές λιμενικών έργων και τις ιχθυοκαλλιέργειες σε αρχαιολογικούς χώρους.

Από το 1977 μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί από τους δύτες της Εφορείας, χιλιάδες υποβρύχια αυτοψίες και έχουν εντοπιστεί περίπου 700 ναυάγια. Επιπροσθέτως, έχουν ερευνηθεί, μελετηθεί και δημοσιευθεί δεκάδες λείψανα αρχαίων λιμενικών εγκαταστάσεων και βυθισμένων πόλεων, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι: Επίδαυρος, Αλές, Αστακός, Θάσος, Άβδηρα, Σάμος, Πάρος, Πλύτρα, Φαλάσαρνα και άλλες.

Συνοψίζοντας, σε μια χώρα που περιβάλλεται από θάλασσα ανά τους αιώνες και διαθέτει τόσο πλούσιο παρελθόν, η υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα δεν έχει μόνο λαμπρό πεδίο δράσης, αλλά και έναν ουσιαστικό ρόλο ο οποίος συνδέεται άρρηκτα τόσο με τον εντοπισμό όσο και με τη φύλαξη της ενάλιας πολιτιστικής κληρονομιάς.

1.2 Φυσικό περιβάλλον μετρήσεων

Υπάρχουν πολλών ειδών μνημεία. Μνημεία που η κλίμακά τους προστάζει διαφορετική προσέγγιση ως προς την αποτύπωση κάθε φορά: άλλοτε με επίγεια και άλλοτε με εναέρια μέσα. Τί θα έλεγε κανείς όμως για τα μνημεία που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε βάθη που κυμαίνονται από μισό μέτρο έως εκατοντάδες μέτρα και καλύπτουν 42 αιώνες πολιτισμού; Πώς προσεγγίζεται η πολιτιστική κληρονομιά που βρίσκεται σε ένα τόσο ιδιαίτερο περιβάλλον όπως το υποβρύχιο; Άνθρωποι και τεχνικά μέσα βρίσκονται αντιμέτωποι με ένα υπερβαρικό περιβάλλον, όπου οι νόμοι των κλασικών επίγειων μεθόδολογιών αποτύπωσης παύουν να ισχύουν.

1.2.1 Επικρατούσες υποβρύχιες συνθήκες

Αν η ακρίβεια των μετρήσεων στην κλασική γεωδαισία είναι μία συνισταμένη της ευαισθησίας των οργάνων και της πλήρωσης των συνθηκών σωστής λειτουργίας τους, της εμπειρίας και της προσοχής του παρατηρητή, σε υποβρύχιο περιβάλλον, η

ακρίβεια των μετρήσεων είναι συνισταμένη των παραπάνω παραγόντων, αλλά και ενός ακόμα πολύ πιο επιβαρυντικού και πρωταγωνιστικού: των δυσμενών επικρατουσών συνθηκών.

Εργασίες όπως η μέτρηση πλευρών με μετροταινία ή υψομετρικών διαφορών με υδραυλική χωροστάθμηση πραγματοποιούνται με σχετική ευκολία και δίνουν ακριβή αποτελέσματα σε περίπτωση που η θάλασσα είναι ήρεμη. Όσο όμως η ένταση των ρευμάτων αυξάνεται, τόσο τα πράγματα δυσκολεύουν. Δυσχεραίνονται οι μετακινήσεις και οι δύτες – χειριστές οργάνων συναντούν προβλήματα στην πραγματοποίηση ήρεμων και ελεγχόμενων κινήσεων, όπως αυτές που απαιτεί η χρήση τρικόχλιου οριζοντίωσης για παράδειγμα, αλλά ακόμα και στο να διατηρηθούν ακίνητοι στην ίδια θέση. Παράλληλα εξαιρετικά δύσκολη μοιάζει η διατήρηση των μετρητικών οργάνων σε κατάσταση ισορροπίας, όπου λαμβάνεται η μέτρηση. Έτσι, στην περίπτωση μέτρησης μηκών με μετροταινία, το βέλος που σχηματίζεται προς τη φορά του ρεύματος, μειώνει κατά πολύ την ακρίβεια της μεθόδου, ενώ καθυστερεί γενικά η πραγματοποίηση των μετρήσεων, εφόσον υπάρχει δυσκολία στο στήσιμο των τριπόδων και στην κατακόρυφωση των ακοντίων. Παρόμοια προβλήματα εμφανίζονται και στην υδραυλική χωροστάθμηση όπου η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από τη δυνατότητα να διατηρηθούν οι σταδίες του συστήματος κατακόρυφες και ακίνητες όσο διαρκεί η μέτρηση. Σε όλα τα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και το ανάγλυφο του βυθού, που σε πολλές περιπτώσεις καθιστά το στήσιμο των οργάνων και την ορατότητα αδύνατα.

Σε περιπτώσεις ισχυρών ρευμάτων η σταθερότητα των δυτών αυξάνεται αν οι τελευταίοι προσθέσουν περισσότερα βάρη στη ζώνη τους απ' ό,τι απαιτείται κανονικά για την καλή πλευστότητά τους σε ευνοϊκές συνθήκες κατάδυσης. Σε μερικές περιπτώσεις στη σταθερότητα του δύτη συμβάλλει και η αφαίρεση των πέδιλων κολύμβησης, κάτι που ωστόσο δεν συνιστάται, αφού σε περίπτωση ανάγκης η κίνηση του δύτη είναι από εξαιρετικά δύσκολη έως και αδύνατη.

Εκτός από το ρεύμα σταθερής διεύθυνσης, που είναι το πιο συνηθισμένο, υπάρχουν και παροδικά, άστατα ρεύματα που έχουν μεν μικρότερη ένταση, δυσχεραίνουν δε τις μετρήσεις. Γενικά, οποιαδήποτε εργασία υποβρύχια είναι περισσότερο χρονοβόρα και κουραστική από την αντίστοιχη επίγεια, γιατί ο δύτης εκτός από τη συγκεκριμένη εργασία, καταβάλλει συνεχώς προσπάθεια για να κρατήσει την ισορροπία του. Η μεγάλη αντίφαση του ζητήματος είναι ότι οι εν λόγω χρονοβόρες εργασίες πρέπει να διεκπεραιωθούν σε αυστηρά περιορισμένο χρονικό διάστημα παραμονής του δύτη στο βυθό. Η χρονική πολυτέλεια των επίγειων εργασιών είναι φυσικό να καταρρέει.

Η επιφανειακή κατάσταση της θάλασσας, δηλαδή αν είναι ήρεμη ή κυματώδης, επηρεάζει περισσότερο την ευκολία στην προσέγγιση του σημείου καταδύσεων με πλεύσιμο, τη διατήρηση του σκάφους στο σημείο αυτό και την προετοιμασία του συνεργείου πριν την κατάδυση. Αυτό γιατί δύο με δύομισι μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας οι συνθήκες που επικρατούν είναι εντελώς διαφορετικές. Εκτός πάντως από τους αστάθμητους παράγοντες, όπως η κακοκαιρία ή η τρικυμία, η κατάσταση της θάλασσας μπορεί να μπει σε κανόνες για μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ωστόσο, υπάρχει και ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που δεν μπαίνει σε κανόνες και δεν είναι άλλος από την ορατότητα, η οποία εξαρτάται κυρίως από την ύπαρξη ρεύματος, το βάθος και την κατάσταση του βυθού. Γενικά, ο αμμώδης βυθός θολώνει πολύ γρήγορα και εύκολα, καθιστώντας τις μετρήσεις έως και αδύνατες, ανάλογα με τα συστατικά του (όσο πιο λεπτόκοκκος και με ζωικά ή φυτικά στοιχεία, τόσο χειρότερο για την ορατότητα). Όταν δε ο αμμώδης βυθός βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος (μικρότερο των δέκα μέτρων), τότε το ρεύμα και ο έντονος κυματισμός συντελούν εξίσου στην έλλειψη ορατότητας. Ακόμη όμως και όταν η θάλασσα είναι ήρεμη, είναι πολύ πιθανό να θολώσει από τις κινήσεις των δυτών του συνεργείου. Γι αυτό οι δύτες είναι απαραίτητο να είναι έμπειροι και ικανοί να έχουν πάντα υπό έλεγχο την πλευστότητά τους.

Από την άλλη, ένας βραχώδης βυθός είναι καλύτερος από άποψη ορατότητας, εν τούτοις, παρουσιάζει τις δικές του ιδιαιτερότητες και κρύβει άλλου είδους δυσκολίες. Οι βράχινοι όγκοι υποθαλάσσια, είναι γενικά σαθροί με πολλές σπηλιές, αιχμηρές και απότομες προεξοχές. Έτσι είναι πολύ δύσκολη η σήμανση στάσεων σε βραχώδη βυθό, αφού κάθε προσπάθεια καρφώματος προκαλεί θρυμματισμό του βράχου, ενώ παράλληλα είναι δύσκολο το στήσιμο τριπόδων και η οριζοντίωση και κέντρωση πάνω από στάση. Εκτός όμως από δυσκολίες τεχνικής φύσεως, στο βραχώδη βυθό υπάρχει σε μεγάλο βαθμό ο κίνδυνος τραυματισμού του συνεργείου από κοφτερές άκρες ή από οτιδήποτε μπορεί να κρύβεται μέσα σε μικρές και αφανείς σπηλιές.

Αν ένας βυθός είναι σκεπασμένος με φύκια, τότε παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα και θολώνει δυσκολότερα απ' ό,τι ο αμμώδης. Η ορατότητα στην περίπτωση αυτή αυξομειώνεται κυρίως εποχιακά. Έτσι, η θάλασσα θολώνει σε μεγάλο βαθμό την εποχή της γονιμοποίησης των φυκιών, όπου αιωρείται κάτι αντίστοιχο με τη γύρη των λουλουδιών στην ξηρά και όταν οι μεγάλες τρικυμίες ξεριζώνουν και παρασύρουν τα μαραμένα λόγω εποχής φύκια. Ένα παράδειγμα κακής ορατότητας λόγω γονιμοποίησης των φυκιών παρατήρηθηκε τις πρώτες μέρες του Ιουλίου (2010) κατά τη διάρκεια της έρευνας του I.EN.A.E. στη νήσο Στύρα. Τις πρώτες πέντε ημέρες της έρευνας η ορατότητα στο χώρο του υπό μελέτη ναυαγίου, ήταν της τάξης του ενός, το πολύ δύο μέτρων, κάτι που καθιστούσε πολύ δύσκολη την εκπόνηση εργασιών από τους δύτες. Η μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των φωτοσταθερών σημείων ήταν πολύ συχνά αδύνατη, με αποτέλεσμα οι περισσότερες μετρήσεις να αφορούν μόνο τα πολύ γειτονικά φωτοσταθερά και πολλές από αυτές να είναι απαραίτητο να επαναληφθούν στη συνέχεια. Από τα μέσα Ιουλίου άρχισε το φαινόμενο να παρουσιάζει ύφεση και μέχρι το τέλος του μήνα η ορατότητα να έχει αποκατασταθεί σε ικανοποιητικό μεγάλο βαθμό. Τέτοια φαινόμενα είναι απρόβλεπτα σε απόκρημνους και «δύσκολους» βυθούς, όπως αυτός του νότιου Ευβοϊκού κόλπου, όπου βρίσκεται το εν λόγω ναυάγιο, και το συνεργείο των ερευνητών καλείται κάθε φορά να εφευρίσκει λύσεις, ώστε να συνεχίζει απρόσκοπα τις εργασίες του.

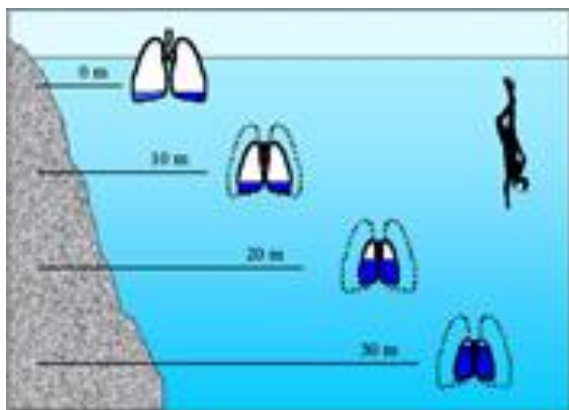
Ένας κρίσιμος ακόμα παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η ορατότητα είναι η ένταση του φωτός του ήλιου, η οποία μεταφράζεται σε επιμέρους παράγοντες όπως η ώρα της ημέρας, ο καιρός που επικρατεί (ηλιοφάνεια ή συννεφιά), το βάθος στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις ή ακόμα και τα φυσικά εμπόδια λόγω αναγλύφου.

Γενικά, οι ακτίνες του ήλιου όταν πέφτουν στην επιφάνεια της θάλασσας εν μέρει ανακλώνται, ενώ οι υπόλοιπες συνεχίζουν τη διάδοση τους στο νερό αφού υποστούν διάθλαση. Το ποσοστό των ανακλώμενων ακτίνων του φωτός ελαχιστοποιείται όταν οι ακτίνες πέφτουν κατακόρυφα, δηλαδή το μεσημέρι, οπότε υπάρχει και η καλύτερη ορατότητα. Οι ακτίνες του φωτός που φτάνουν στο μάτι του δύτη περνώντας από το γυαλί της μάσκας, παθαίνουν διάθλαση λόγω της διαφορετικής πυκνότητας του αέρα της μάσκας και του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μικραίνει η γωνία του οπτικού πεδίου του δύτη και οι εικόνες των αντικειμένων και των αποστάσεων να είναι αλλοιωμένες. Συγκεκριμένα, τα αντικείμενα φαίνονται μεγαλύτερα κατά 25%, ενώ οι αποστάσεις μικρότερες κατά το 1/3 του πραγματικού μεγέθους τους. Στα παραπάνω οφείλεται η λάθος εκτίμηση που κάνουν συχνά υποβρυχίως οι δύτες σχετικά με τα γραμμικά μεγέθη και τις αποστάσεις. Από τοπογραφική άποψη αυτό έχει επιπτώσεις στο στάδιο της αναγνώρισης. Ένας πεπειραμένος δύτης, όμως, λόγω της μεγάλης του εξοικείωσης με το υποβρύχιο περιβάλλον είναι ικανός να εκτιμά ορθά, χωρίς να επηρεάζεται από τη διάθλαση.

Η αύξηση της πυκνότητας του νερού επίσης επηρεάζει τις εισερχόμενες μέσα σε αυτό ακτίνες. Το νερό λειτουργεί σαν «φίλτρο» και κόβει κάποιες συχνότητες του ηλιακού φωτός, αφαιρώντας έτσι αρχικά τα θερμά χρώματα, το κόκκινο, το πορτοκαλί και το κίτρινο και κατόπιν το πράσινο, αφήνοντας στο τέλος κυρίως το μπλε. Αυτή η αφαίρεση των θερμών χρωμάτων ονομάζεται απορρόφηση.

Εκτός από τις ιδιαιτερότητες που κρύβει ο βυθός όσον αφορά τη δυσκολία μέτρησης στοιχείων, το ίδιο το υπερβαρικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μια σειρά παραγόντων που έχουν επίπτωση στον ανθρώπινο οργανισμό. Μια πιθανή και καθόλου σπάνια επίπτωση είναι η αδυναμία ή δυσκολία προσανατολισμού ιδιαίτερα σε μεγάλες και ομοιόμορφα επαναλαμβανόμενες περιοχές με φυκιάδες ή άμμο. Ακόμα είναι γενικά παρατηρημένη η τάση των δυτών να θεωρούν το βυθό οριζόντιο και να μην είναι σε θέση να εκτιμήσουν την κλίση που έχει. Αυτό εμποδίζει τη συνειδητοποίηση του σωστού βάθους, ενώ δημιουργεί προβλήματα σε τοπογραφικές εργασίες όπως η κατακορύφωση των ακοντίων ή η οριζοντίωση της μετροταινίας. Γι αυτό επιβάλλεται η χρήση σφαιρικών (γωνιακών) αεροσταθμών. Συνεπώς η ακρίβεια για παράδειγμα στις πλευρομετρήσεις εξαρτάται από την κλίση του βυθού (συστηματική μέτρηση κεκλιμένης απόστασης αντί για οριζόντια).

Μία πολύ σημαντική μεταβλητή που επηρεάζει τον ανθρώπινο οργανισμό και αυξάνεται ανάλογα με το βάθος είναι η υδροστατική πίεση. Το θαλάσσιο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μια υδροστατική πίεση που αυξάνεται κατά μία ατμόσφαιρα κάθε 10 μέτρα βάθους. Έτσι στα 10 μέτρα βάθους υπάρχουν 2 ατμόσφαιρες, στα 20 μέτρα 3 atm, στα 30 μέτρα 4 atm κ.ο.κ. Οι αεροφόροι χώροι του ανθρώπινου σώματος υφίστανται συμπίεση (μείωση του όγκου τους) κατά την κατάδυση (όπου αυξάνεται η πίεση, Εικ.1.3), εκτός κι αν εισαχθεί περισσότερος αέρας σ'αυτούς, έτσι ώστε να επιτευχθεί εξίσωση της εσωτερικής πίεσης με την εξωτερική (ατμοσφαιρική) πίεση.



*Εικ. 1.3: Νόμος του Dalton:
Καθώς η πίεση μειώνεται η μερική
πίεση όλων των αερίων μειώνεται
με την ίδια σχέση*

Η διαδικασία εισαγωγής περισσότερου αέρα στους αεροφόρους αγωγούς του σώματος του δύτη κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης ονομάζεται εξίσωση. Η εξίσωση της πίεσης προστατεύει τον αυτοδύτη από τη συμπίεση, κατά την οποία η κατανομή της πίεσης είναι ανομοιογενής. Πιο απλά, κατά τη συμπίεση, η εσωτερική πίεση είναι μικρότερη από την εξωτερική. Υπερβολική πίεση μπορεί να προκαλέσει ακόμα και βλάβη στους ιστούς (βαροτραύματα). Γι αυτό το λόγο οι δύτες πρέπει να είναι έμπειροι και να γνωρίζουν τις κατάλληλες τεχνικές εξίσωσης για κάθε έναν από τους αεροφόρους χώρους του σώματος που μπορεί να υποστεί βαρότραυμα. Οι χώροι αυτοί είναι τα αυτιά, οι κόλποιο που σχηματίζουν τα οστά του κρανίου, οι πνεύμονες, τα δόντια και τα έντερα.

Καθώς ο αυτοδύτης καταδύεται, η εξωτερική πίεση που ακείται στον τυμπανικό υμένα αυξάνεται και ο υμένας ωθείται προς τα μέσα, επειδή δεν έχει εισέλθει στο μέσο και έσω αυτί επιπλέον αέρας μέσω της ευσταχιανής σάλπιγγας. Από το νόμο του Boyle υπολογίζεται η συμπίεση του όγκου του έσω αυτιού, το οποίο επιβαρύνει τον τυμπανικό υμένα. Ακόμα και αν ο αυτοδύτης βρίσκεται σε βάθος μόλις 3 μέτρων, όπου η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής πίεσης δεν υπερβαίνει τα 0,03 bar, υπάρχει περίπτωση να προκληθεί βλάβη στον τυμπανικό υμένα. Βλάβη – ρήξη του τυμπάνου προς τα μέσα και εισροή νερού στο μέσο και έσω αυτί – μπορεί να προκληθεί με περαιτέρω κατάδυση ακόμα και μισού μέτρου. Το βαρότραυμα των αυτιών μπορεί να οδηγήσει σε εξασθένηση της ακοής ή ακόμα και σε κώφωση.

Τα συμπτώματα του βαροτραύματος των αυτιών είναι αρχικά αίσθημα δυσφορίας και στη συνέχεια πόνος. Ο πόνος αποτελεί ένδειξη ότι ο τυμπανικός υμένας και ο συνδετικός ιστός του βρίσκονται υπό πίεση. Γενικά, ο πόνος εμφανίζεται πριν από τη ρήξη του τυμπάνου και επομένως δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να αγνοείται, αφού είναι ένα σύμπτωμα που υποδηλώνει ότι ο ιστός έχει αρχίσει να παθαίνει ζημιά. Σε περίπτωση που ο τυμπανικός υμένας σπάσει, ο αυτοδύτης θα αισθανθεί ίλιγγο ή ζάλη και ναυτία και υπάρχει η πιθανότητα να χάσει τις αισθήσεις του. Τα παραπάνω συμπτώματα οφείλονται κυρίως στην επαφή του κρύου νερού με το μηχανισμό ισορροπίας στο μέσο αυτί.

Το βαρότραυμα των αυτιών αποτρέπεται με τις ακόλουθες τεχνικές εξίσωσης: χασμουρητό, κατάποση, περιστροφή του σαγονιού ή με την πολύ διαδεδομένη τεχνική Valsalva. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο δύτης κλείνει τα ρουθούνια του με

τα δάχτυλα και φυσάει μαλακά μέχρις ότου να επιτύχει εξίσωση των αεροφόρων χώρων.



Εικ. 1.4: Μέθοδος Valsalva

Η μέθοδος Valsalva (Εικ.1.4) πρέπει να εφαρμόζεται πολύ προσεκτικά και μόνο στην περίπτωση που οι προηγούμενες τεχνικές έχουν αποδειχτεί ανεπαρκείς. Οι τεχνικές εξίσωσης αποβλέπουν στη χαλάρωση των μυών που ελέγχουν το άνοιγμα της ευσταχιανής σάλπιγγας έτσι ώστε να επιτραπεί, λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης, η εισροή αέρα στο μέσο αυτί. Το κλειδί για τη σωστή διαδικασία εξίσωσης είναι το εξής: εάν ο δύτης νιώσει οποιοδήποτε πόνο, πρέπει να σταματήσει

την κατάδυση, να αναδυθεί όσο χρειαστεί έως ότου υποχωρήσει ο πόνος, να εξισώσει και έπειτα να συνεχίσει την κατάδυση μην παραλείποντας να εξισώνει μέχρι να φτάσει στο βυθό.

Ένα άλλο είδος βαροτραύματος είναι το βαρότραυμα των κόλπων, των κενών δηλαδή χώρων των οστών του κρανίου που καλύπτονται από βλενώδη μεμβράνη. Το κρύωμα, οι αλλεργίες και οι μολύνσεις συχνά προκαλούν συμφόρηση των εισόδων των κόλπων, με αποτέλεσμα να διογκωθούν οι μεμβράνες που τις περιβάλλουν. Ο αέρας που παγιδεύεται μέσα στον κόλπο βρίσκεται υπό πίεση μίας απόλυτης ατμόσφαιρας και σε περίπτωση που η ατμοσφαιρική (εξωτερική) πίεση αυξηθεί, η εξίσωση είναι αδύνατη. Καθώς ο αυτοδύτης καταδύεται, η αυξανόμενη πίεση η οποία μεταφέρεται μέσω της κυκλοφορίας του αίματος, προκαλεί τη ρήξη των βλεννογόνων μεμβρανών και τριχοειδών αγγείων που περιβάλλουν τον κόλπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο εγκλωβισμένος όγκος αέρα μέσα στο αεροφόρο χώρο να μειωθεί σε όγκο λόγω της σύμπτυξης των περιβάλλοντων ιστών και της εισροής αίματος και βλέννας μέσα σε αυτόν. Τα κύρια συμπτώματα του βαροτραύματος των κόλπων είναι συνήθως οξύς πόνος ή μια αίσθηση πίεσης ακριβώς πάνω από τα μάτια. Τα συμπτώματα αυτά μπορεί να είναι λιγότερο έντονα όταν ο τραυματισμός προκαλείται σε ιστό που βρίσκεται μέσα στον κόλπο. Ο τραυματισμός μπορεί να συνοδεύεται από μικρή ρινική αιμορραγία μετά το πέρας της κατάδυσης.

Ένα ακόμα πιθανό είδος βαροτραύματος μπορεί να είναι και το βαρότραυμα από μάσκα, το οποίο προκαλείται σε περίπτωση που η μάσκα πιέζει υπερβολικά το πρόσωπο του δύτη και αυτός καταδύεται χωρίς να εκπνέει ελαφρώς μέσα στη μάσκα, με αποτέλεσμα ο όγκος του αέρα να μειώνεται μέσα σε αυτήν. Αυτό μπορεί να συνοδεύεται από ελαφρύ πόνο ή δυσφορία έως και πρόκληση θολής όρασης ή αιματώματος μέσα στο μάτι.

Άλλο σοβαρό βαρότραυμα είναι το βαρότραυμα των πνευμόνων (ή θωρακικό βαρότραυμα), κατά το οποίο μπορεί να συμβεί υπερδιάταση των πνευμόνων μόνο κατά την ανάδυση και εάν ο αυτοδύτης έχει εισπνεύσει αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση.

Οι πνεύμονες μπορούν να αντέξουν επιπλέον πίεση μέχρι περίπου 0,13 bar. Κατά την ανάδυση όπου η πίεση ελαττώνεται κάθε ένα μέτρο, οι πνεύμονες θα μπορούσαν να υποστούν βλάβη αν ο αυτοδύτης αμελούσε να εκπνεύσει.

Παράλληλα όμως η αύξηση της πίεσης αυξάνει τον κίνδυνο σε συνδυασμό με το χρόνο παραμονής σε ορισμένο βάθος για σωματικές βλάβες και παθήσεις. Ένα φαινόμενο που προκαλείται από το υπερβαρικό περιβάλλον είναι η μείωση του όγκου των συμπιεστών αντικειμένων. Το οριακό βάθος στο οποίο μπορεί να παραμείνει ο δύτης, θεωρητικά όση ώρα θέλει χωρίς προφυλάξεις κατά την ανάδυση, είναι τα 10 μέτρα. Για μεγαλύτερα βάθη, ο χρόνος παραμονής στο βυθό πάνω από ορισμένες τιμές, αφενός επηρεάζει τη διαδικασία της ανάδυσης, αφετέρου καθορίζει τη διάρκεια της επαναληπτικής τυχόν κατάδυσης την ίδια μέρα και τη χρονική διάρκεια από το τέλος της πρώτης κατάδυσης μέχρι την έναρξη της επαναληπτικής. Από τα παραπάνω λοιπόν είναι φανερό ότι με την αύξηση του βάθους στο οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, γίνεται πιο πολύπλοκος ο προγραμματισμός των καταδύσεων, μειώνεται η αποτελεσματικότητα του συνεργείου, ενώ αυξάνονται κατά πολύ οι κίνδυνοι.

Προς ολοκλήρωση των παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργία του συνεργείου υποβρυχίως, αξίζει να σημειωθεί μια δύναμη που ασκείται σε κάθε τί μέσα στο νερό και αυξάνεται ανάλογα με το βάθος και δεν είναι άλλη από την άνωση. Σε κάθε σώμα που βρίσκεται υποβρύχια ασκούνται μεταξύ των άλλων υδροστατικών δυνάμεων το βάρος (B) και η άνωση (A). Αν $A > B$, τότε το σώμα αναδύεται και η πλευστότητά του χαρακτηρίζεται θετική. Αν $A < B$, τότε το σώμα βυθίζεται και η πλευστότητά του χαρακτηρίζεται ως αρνητική. Αν τέλος $A = B$, τότε η πλευστότητα χαρακτηρίζεται ως ουδέτερη. Η πλευστότητα ενός γυμνού στόμου διαφέρει από άτομο σε άτομο, αφού το ανθρώπινο σώμα αποτελεί συνδυασμό υγρών και ιστών με διαφορετικές αναλογίες. Όταν ο αυτοδύτης φοράει τον εξοπλισμό του, τότε λόγω των υλικών κατασκευής του και του αυξημένου όγκου που έχει αυτός, αποκτά θετική πλευστότητα. Φοράει λοιπόν τη ζώνη βαρών για να μπορεί να καταδυθεί. Όσο όμως καταδύεται βαθύτερα, λόγω αύξησης της πίεσης, ο εξοπλισμός συμπιέζεται, μικραίνει ο συνολικός όγκος άρα και η άνωση, με αποτέλεσμα ο δύτης να αποκτά ακόμα πιο αρνητική πλευστότητα. Εδώ φαίνεται και η χρησιμότητα του ρυθμιστή πλευστότητας (BCD-Buoyancy Control Device) ή τζάκετ όπως αποκαλείται χάριν συντομίας. Εισάγοντας αέρα στο τζάκετ αυξάνεται ο συνολικός όγκος άρα και η άνωση. Η διατήρηση ενός δύτη ακίνητου στο ίδιο βάθος, κάτι που επιδιώκεται για την πραγματοποίηση μετρήσεων με αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι κυρίως η επίτευξη ισορροπίας ανάμεσα σε άνωση και βαρύτητα ($A = B$) για το συγκεκριμένο βάθος (και εφόσον φυσικά το επιτρέπουν τα ρεύματα).

Η επάρκεια σε ατμοσφαιρικό αέρα είναι απαραίτητη για την παραμονή και εργασία των δυτών στο βυθό. Μόλις κάποιος δύτης συνειδητοποιήσει τη σημαντική ελάττωση του περιεχομένου των συσκευών τροφοδοσίας σε αέρα πρέπει να εγκαταλείψει κάθε εργασία και να αναδυθεί. Συμπερασματικά η επάρκεια των αναπνευστικών συσκευών σε αέρα είναι ίσως ο σημαντικότερος καθοριστικός παράγοντας σχετικά με τη διάρκεια των μετρήσεων. Πάντως το είδος της πραγματοποιούμενης εργασίας επηρεάζει το ρυθμό κατανάλωσης αέρα από τους δύτες και συνεπώς το χρόνο

διάρκειας των μετρήσεων. Έτσι αν η εργασία δεν απαιτεί πολλές μετακινήσεις, έντονη προσπάθεια ή μεταφορά υλικού, ο ρυθμός αναπνοής είναι χαλαρότερος και η επάρκεια σε αέρα μεγαλύτερη. Σε αντίθετη περίπτωση (μέτρηση πλευρών ή γωνιών σε διάφορα σημεία της έκτασης του δικτύου), ο αέρας εξαντλείται πολύ γρηγορότερα, επειδή λόγω των μετακινήσεων οι δύτες καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια και αναλογικά καταναλώνουν περισσότερο αέρα. Παρόμοια αποτελέσματα έχει η ύπαρξη στη περιοχή των μετρήσεων δυνατού ρεύματος, γιατί η προσπάθεια για μετακίνηση και διατήρηση ισορροπίας, αυξάνεται εκθετικά με την ένταση του ρεύματος. Η προσπάθεια βέβαια που καταβάλλεται από κάθε δύτε για μία εργασία είναι δυνατόν κατά κάποιο τρόπο να ελεγχθεί και να ρυθμιστεί από τον δύτε, ανάλογα με την εμπειρία που έχει στις καταδύσεις. Έτσι, η συνεχής διατήρηση της ψυχραιμίας και η πραγματοποίηση χαλαρών και ελεγχόμενων κινήσεων, έχουν σίγουρα το αντίκτυπό τους στην κατανάλωση αέρα.

Κάθε άνθρωπος δεν καταναλώνει στον ίδιο χρόνο ίσες ποσότητες αέρα, ενώ δεν λείπουν και οι περιπτώσεις γρήγορης εξάντλησης των αποθεμάτων αέρα λόγω κακής λειτουργίας (διαρροή) του ρυθμιστή πίεσης. Έτσι, η ανάγκη ανάδυσης επειδή τελειώνει ο αέρας, δεν επέρχεται ταυτόχρονα για όλα τα μέλη του συνεργείου. Οι εργασίες λοιπόν μπορούν να συνεχιστούν και μετά την αποχώρηση ενός ή παραπάνω δυτών, εφόσον βέβαια είναι επαρκής ο μειωμένος αριθμός για την εκτέλεση της εργασίας. Εναλλακτική λύση είναι η συνέχιση της κατάδυσης με άλλη εργασία που απαιτεί λιγότερους δύτες.

Είναι γενική η διαπίστωση ότι η σωστή λειτουργία ενός συνεργείου προϋποθέτει τη δυνατότητα συνεννόησης μεταξύ των μελών του, είτε αυτή είναι υπόδειξη του συντονιστή των εργασιών για τον τρόπο ή τόπο εργασίας, είτε διάλογος μεταξύ των μελών του συνεργείου, που εκτελούν την ίδια εργασία, με σκοπό την ταχύτερη και συντομότερη συντονισμένη εκτέλεση. Το υδάτινο περιβάλλον καθιστά αδύνατη την ομιλία ως μέσο συνεννόησης. Έτσι έχουν θεσπιστεί διάφορες οπτικές μέθοδοι που επιτρέπουν την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των δυτών. Επειδή η συνεννόηση πρέπει να γίνεται απλά και γρήγορα, χωρίς παρεξηγήσεις, αποφεύγεται η χρήση μέσων όπως χρωματιστά πλακίδια ή σήματα γιατί έτσι αυξάνονται τα αντικείμενα που μεταφέρει κάθε δύτες, ενώ παράλληλα απασχολούν τα χέρια, που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ελεύθερα. Έτσι, η συνεννόηση πραγματοποιείται με νοήματα και νεύματα με τα χέρια. Υπάρχει μια διεθνής γλώσσα των δυτών με νοήματα, για στοιχειώδεις ανάγκες επικοινωνίας («κίνδυνος», «τέλος παροχής αέρα», «όλα καλά» κ.λ.π.) που μπορεί να προσαρμοστεί και σε υποβρύχιο τοπογραφικό συνεργείο («πάρε τη μέτρηση», «στήσε το ακόντιο», «επανάληψη της μέτρησης», «σημείωσε ένδειξη βάθους», «πάρε ρεπέρ» κ.λ.π.).

Σε περίπτωση που είναι αδύνατη η συνεννόηση με νοήματα λόγω της πολυπλοκότητας, τότε είτε γράφονται επεξηγηματικές φράσεις πάνω στα πλακίδια καταγραφής των μετρήσεων, είτε οι δύτες (σε πολύ ιδιαίτερες περιπτώσεις και σε ρηγά νερά) αναδύονται μέχρι την επιφάνεια. Έτσι, επιβάλλεται οι απαραίτητες συνεννοήσεις σχετικά με το είδος εργασίας, τον τρόπο εκτέλεσης, τα απαραίτητα όργανα, ακόμα και το ρόλο κάθε δύτες, να γίνονται πριν από την κατάδυση. Είναι

λοιπόν φανερό ότι οι υποβρύχιες αποτυπώσεις έχουν αυξημένες ανάγκες οργάνωσης των μετρήσεων, ενώ η δυσκολία στη συνεννόηση υποβρύχια, αποτελεί μια αιτία πιθανής μειωμένης αποτελεσματικότητας του συνεργείου.

Η ασφαλής και γρήγορη μεταφορά των οργάνων και του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια των υποβρύχιων μετακινήσεων είναι σημαντική για την αποτελεσματική εργασία του συνεργείου. Δυνάμεις όπως η άνωση, η βαρύτητα και το υποθαλάσσιο ρεύμα παίζουν το ρόλο τους όπως έχει ήδη αναλυθεί. Η χρήση λοιπόν οργάνων που δεν επηρεάζονται τόσο από τη δράση των παραπάνω δυνάμεων, ώστε να εμποδίζουν τη λειτουργία του συνεργείου είναι απαραίτητη. Το βάρος των οργάνων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην παρασύρονται, αλλά ταυτόχρονα να είναι δυνατή και η άνετη μεταφορά τους από τους δύτες. Ανάλογα ισχύουν και για το σχήμα τους. Έτσι πρέπει να αποφεύγονται όργανα μεγάλης επιφάνειας και όγκου που είναι πιο επιρρεπή στη δράση των γνωστών δυνάμεων, και η ύπαρξη πολλών μικρών εξαρτημάτων που μπορούν να σπάσουν και να χαθούν (κοχλίες, κάτοπτρα, ακίδες). Τα υλικά κατασκευής των οργάνων πρέπει να αντέχουν στη διάβρωση του νερού (φούσκωμα ξύλου, σκουρίασμα σίδηρου). Το χρώμα τους προτιμάται να είναι τέτοιο ώστε να διακρίνεται εύκολα στο υδάτινο περιβάλλον. Τέλος, επιβάλλεται να αποφεύγονται αιχμηρές ακμές, προεξοχές και γωνίες που αυξάνουν τον κίνδυνο τραυματισμού των δυτών, δεδομένου ότι η επίδραση του νερού κάνει το δέρμα μαλακό και συνεπώς επιρρεπές σε τραύματα, σκισίματα κ.λ.π. Πολλές φορές οι ιδιαιτερότητες του υποβρύχιου περιβάλλοντος μπορούν με κατάλληλες διατάξεις ή τρόπο εργασίας, να επιδράσουν ευεργετικά, διευκολύνοντας τη διαδικασία των μετρήσεων. Για παράδειγμα στη μεταφορά δυσκίνητων οργάνων υποβρύχια είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη διάταξη που εκμεταλλεύεται τη δράση της άνωσης. Έτσι, στο προς μεταφορά όργανο προσαρμόζεται ειδικό μπαλόνι (αεροθάλαμος) με όγκο αέρα κατ'αναλογία προς τα αντικείμενα που πρόκειται να μεταφέρει. Όταν αυτό γεμίσει με αέρα, ως αντικείμενο μεγάλης επιφάνειας και μικρού βάρους, έχει θετική πλευστότητα και παρουσιάζει την τάση να φτάσει στην επιφάνεια. Αν λοιπόν γεμίσει το μπαλόνι με τόσο αέρα, ώστε η άνωσή του να ισορροπεί το βάρος του οργάνου (σε συγκεκριμένο βάθος), το όλο σύστημα ισορροπεί και ρυμουλκείται με ευκολία, όπου χρειάζεται. Εξάλλου, όταν υπάρχει δυνατό ρεύμα σταθερής διεύθυνσης, είναι πρακτικό σε περίπτωση που το συνεργείο απαιτείται να εργασθεί σε πολλά σημεία του βυθού, να πραγματοποιεί τις μετρήσεις με τέτοια σειρά, ώστε οι απαραίτητες μετακινήσεις να γίνονται με τη φορά του ρεύματος. Έτσι ακόμα και η μεταφορά του υλικού μπορεί να γίνεται μόνο από την ώθηση που εξασκεί το ρεύμα, ενώ οι δύτες απλά ελέγχουν την πορεία. Παράλληλα, στην περίπτωση ρεύματος, αν οργανωθούν κατάλληλα οι μετρήσεις υπάρχει η δυνατότητα να μην επηρεαστούν αρνητικά οι μετρήσεις. Για παράδειγμα, στη μέτρηση αποστάσεων με ταινία, η δυσμενής δράση του ρεύματος είναι ασήμαντη αν δοθεί προσοχή ώστε οι μετρούμενες πλευρές να είναι όσο το δυνατόν ταυτισμένες με τη διεύθυνση του ρεύματος.

Γίνεται σαφές λοιπόν ότι κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες που εξετάστηκαν επηρεάζει από μόνος του σε μεγάλο βαθμό την πορεία των εργασιών συνεργείου στις

υποβρύχιες αποτυπώσεις. Η διαφοροποίηση ενός μόνου παράγοντα μπορεί να κάνει κάποια εργασία σε μια περιοχή από εύκολη και με ακρίβεια εκτελέσιμη σε ανεφαρμόστη. Παράλληλα η συνισταμένη δράση πολλών παραγόντων (π.χ. ρεύμα και αμμώδης βυθός) φέρνει διαφορετικά αποτελέσματα από κάθε έναν χωριστά, ανάλογα βέβαια και με την ένταση που εκδηλώνεται κάθε παράγοντας. Ακόμα η δράση ενός παράγοντα έχει διαφορετικές επιπτώσεις για κάθε εργασία, έτσι ώστε άλλες εργασίες να διευκολύνονται και άλλες να εκτελούνται με δυσκολία, κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Η μεγάλη σημασία που έχουν οι υποβρύχιες συνθήκες και οι διαφοροποιήσεις τους, ανάλογα με την περιοχή, την ώρα της ημέρας, την εποχή, το βάθος, κάνει πολύ σημαντικό το στάδιο της αναγνώρισης πριν την αρχή των εργασιών.

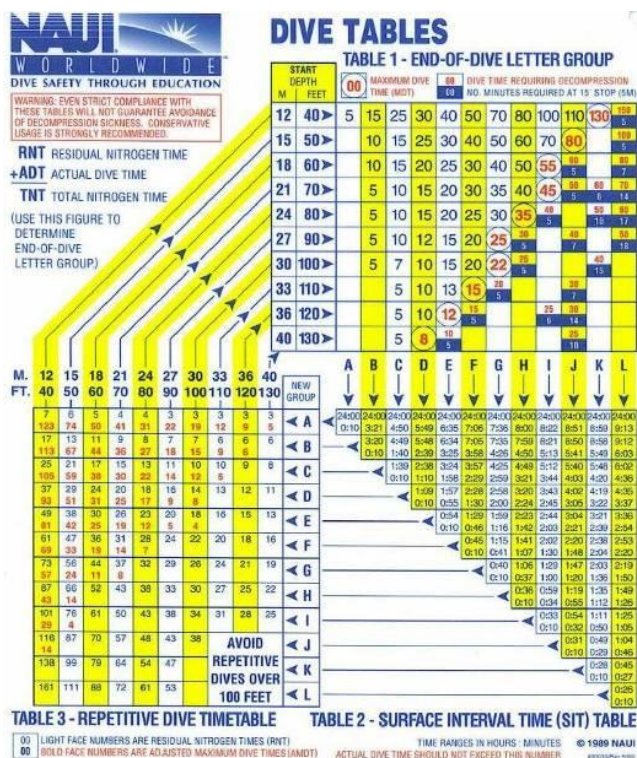
1.2.2 Προβλήματα και κίνδυνοι καταδύσεων

Η υδροστατική πίεση αποτελεί αναμφίβολα τον κυριότερο παράγοντα του οποίου η διαφοροποίηση στο υποβρύχιο περιβάλλον σε συνδυασμό πάντα με το βάθος, δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Οι δυσμενείς επιδράσεις της πίεσης στο δύτε μπορούν να χαρακτηριστούν ως άμεσες και έμμεσες. Τα βαροτραύματα στα αυτιά, στους κόλπους, στα δόντια ή λόγω μάσκας, όπως αυτά αναφέρθηκαν εκτενώς σε προηγούμενο πεδίο, ανήκουν φυσικά στις άμεσες επιδράσεις της πίεσης. Ο σημαντικότερος όμως κίνδυνος που δημιουργείται από την άμεση επίδραση της πίεσης και απαιτεί τη μεγαλύτερη προσοχή κατά τη διάρκεια μιας κατάδυσης, είναι η εμβολή αέρα· εμβολή σημαίνει παρεμπόδιση. Αυτό γιατί μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε βάθος, όσο μικρό κι αν είναι. Η εμβολή παρουσιάζεται όταν ο αυτοδύτης για κάποιο λόγο αναγκάζεται να αναδυθεί με ταχύτητα στην επιφάνεια, κρατώντας από συνήθεια ή από πανικό την αναπνοή του. Τότε ο αέρας που ανέπνευσε στο βυθό και είχε την πίεση που αντιστοιχεί στο βάθος αυτό, με τη γρήγορη ανάδυση που συνεπάγεται και μείωση της εξωτερικής πίεσης, αυξάνεται σε όγκο, διαστέλλεται με άλλα λόγια, όλο και περισσότερο όσο πλησιάζει ο δύτες στην επιφάνεια. Αυτό προκαλεί υπερδιάταση των πνευμόνων και ρήξη των κυψελίδων, ο αέρας από την περιοχή των πνευμόνων, με μορφή φυσαλίδων μεταφέρεται με το αίμα στην καρδιά και από εκεί σε όλο το σώμα, όπου φράζοντας τα μικρά αρτηρίδια, διακόπτει την κυκλοφορία του αίματος. Η εμβολή μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιοδήποτε σημείο του σώματος. Μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος όταν εκδηλώνεται στην καρδιά ή στον εγκέφαλο. Η εμβολή που έχει πολύ βαριά συμπτώματα (πόνος στο στήθος, δύσπνοια, ελάττωση ή απώλεια όρασης, φωνής και ακοής, σπασμούς, λιποθυμία) θεραπεύεται με αποσυμπίεση σε ειδικούς θαλάμους που λέγονται θάλαμοι αποσυμπίεσης. Ο δύτες πρέπει να υποβληθεί σε θεραπεία το γρηγορότερο δυνατό. Ο κίνδυνος της εμβολής απομακρύνεται όταν ο δύτες κάνει βίωμά του ότι σε περίπτωση ανάδυσης πρέπει να μην κρατάει την αναπνοή του, αλλά προοδευτικά να αδειάσει εντελώς τους πνεύμονές του μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια. Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν σε περίπτωση ελεύθερης ανάδυσης, αφού προηγήθηκε αναπνοή υποβρύχια, από συσκευή.

Ως έμμεση επίδραση της πίεσης στον ανθρώπινο οργανισμό μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι η αύξηση του βάθους κατάδυσης αυξάνει και την ποσότητα αέρα που διαλύεται στο αίμα, που μετά από κάποιο όριο δημιουργεί σοβαρές παθολογικές καταστάσεις, οι κυριότερες των οποίων είναι η νάρκωση αζώτου, η νόσος των δυτών και η δηλητηρίαση οξυγόνου. Η νάρκωση αζώτου οφείλεται στην επίδραση του αζώτου στο αίμα, πάνω στα εγκεφαλικά κέντρα. Παρουσιάζεται όταν το άζωτο των πνευμόνων διαλύεται σε μεγάλες ποσότητες στο αίμα, λόγω της αύξησης της πίεσης του εισπνεόμενου αέρα, που με τη σειρά της προκαλείται από την αύξηση του βάθους κατάδυσης. Η ασθένεια αυτή λέγεται και μέθη βυθού και δεν αποτελούσε καταδυτική ασθένεια μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα κι αυτό για τον λόγο ότι μέχρι τότε δεν υπήρχε η τεχνολογία που θα επέτρεπε στον άνθρωπο να κατέβει σε βάθη με πίεση κάτω από 4 atm και να παραμείνει εκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όταν αυτό κατέστη δυνατό, οι αυτοδύτες άρχισαν να παρουσιάζουν παράξενη συμπεριφορά. Η ναρκωτική επίδραση του αζώτου είναι συχνά η πραγματική αιτία πολλών ατυχημάτων και στα συμπτώματά της βρίσκονται μεταξύ άλλων ζαλάδες, διαστρεβλωμένη αντίληψη, υπερεκτίμηση των ανθρώπινων δυνατοτήτων, ασυνήθιστη συμπεριφορά, απώλεια δεξιοτήτων, μείωση συντονισμού, διαταραχές όρασης και ακοής, ανικανότητα λήψης ορθών αποφάσεων ή τήρησης του καταδυτικού σχεδίου, απώλεια μνήμης, μούδιασμα κ.ά.

Η νόσος των δυτών οφείλεται και αυτή στο άζωτο που έχει διαλυθεί στο αίμα του δύτη και παρουσιάζεται στην ανάδυση. Αν οι φυσαλίδες αζώτου που υπάρχουν στο αίμα δεν διαλυθούν κατά τη μείωση του βάθους κατάδυσης με την κυκλοφορία του αίματος σφηνώνουν στα τριχοειδή αγγεία με αποτέλεσμα τη διακοπή της τροφοδοσίας της αντίστοιχης περιοχής με αίμα. Άμεσο επακόλουθο είναι η παράλυση ορισμένων μελών και ενδεχομένως μέχρι και θάνατος, αν οι φυσαλίδες διακόψουν την κυκλοφορία σε εγκεφαλικά κέντρα ή την καρδιά. Αφότου παρουσιαστούν τα συμπτώματα της νόσου, η θεραπεία γίνεται με επιστημονικό τρόπο σε θαλάμους αποσυμπίεσης.

Η νόσος αποφεύγεται με τη διαδικασία της προληπτικής αποσυμπίεσης κατά την ανάδυση, παραμένοντας ορισμένο χρονικό διάστημα σε γνωστά βάθη, ανάλογα με το βάθος και τη διάρκεια της κατάδυσης. Η παραπάνω διαδικασία έχει πινακοποιηθεί (πίνακες προληπτικής αποσυμπίεσης, Εικ.1.5) για να πραγματοποιείται εύκολα, χωρίς σφάλματα. Γενικότερα πάντως η ανάδυση πρέπει να γίνεται με σταθερή ταχύτητα που δεν ξεπερνά μια οριακή τιμή.



Εικ.1.5: Πίνακας αποσυμπίεσης

ονομάζεται Τοξικότητα Οξυγόνου ΚΝΣ (CNS type Oxygen Toxicity). Ως συμπτώματα της τοξικότητας συναντώνται σπασμοί και κρίσεις, ευφορία, ναυτία, άγχος, ζάλη, ίλιγγος, σύγχυση, παράλογη συμπεριφορά, οπτικές και ακουστικές διαταραχές. Για την πρόληψη των παραπάνω πρέπει οι δύτες να είναι σίγουροι ότι οι καταδυτικές τους φιάλες γεμίζονται σε πιστοποιημένα καταδυτικά κέντρα.

Άλλες πηγές κινδύνων για το δύτε εκτός από την πίεση είναι ο πανικός, το λαχάνιασμα, η κόπωση, ο πνιγμός, η ανοξαιμία και η υπερκαπνία, το σοκ, η υποθερμία, η υποβρύχια έκρηξη, η επίθεση από επικίνδυνο ψάρι.

Ο πανικός εκδηλώνεται κυρίως στους αρχάριους δύτες, όταν συμβεί κάτι απρόοπτο (τελειώσει ο αέρα, φύγει η μάσκα κλπ) και ενισχύεται από το συναίσθημα του ακαθόριστου φόβου που εμπνέει το περιβάλλον του βυθού. Κάτω από κατάσταση πανικού ο δύτες δε μπορεί να δράσει με αυτοκυριαρχία και ψυχραιμία για την αντιμετώπιση της κατάστασης και κινδυνεύει άμεσα να πνιγεί ή να πάθει εμβολή. Η προφύλαξη είναι η σωστή εκπαίδευση και η προοδευτική απόκτηση πείρας στις καταδύσεις. Παράλληλα η κατάδυση κατά ζεύγη βοηθάει όχι μόνο στο να αποφευχθούν οι συνέπειες, αν πανικοβληθεί ο ένας δύτες, αλλά και στο να μην εκδηλωθεί πανικός γιατί η παρουσία του συντρόφου ενισχύει το ηθικό και μειώνει τις προϋποθέσεις εκδήλωσης πανικού.

Το λαχάνιασμα παρουσιάζεται γενικά στους δύτες, λόγω της προσπάθειας που καταβάλλουν. Έχει επικίνδυνες συνέπειες κυρίως στους αρχάριους, γιατί δημιουργεί την εντύπωση του πνιγμού και προκαλεί πανικό.

Μια άλλη παθολογική κατάσταση που συναντάται κατά την κατάδυση ορισμένες φορές είναι η τοξικότητα του οξυγόνου. Το οξυγόνο, το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπινου οργανισμού, γίνεται τοξικό εάν εισπνευθεί σε συνθήκες πολύ υψηλής μερικής πίεσης. Ο βαθμός της τοξικότητας του οξυγόνου εξαρτάται από την ποσότητα που θα εισπνευθεί σε συνάρτηση με το χρόνο. Έτσι, είναι: μικρή ποσότητα / μεγάλο χρονικό διάστημα ή μεγάλη ποσότητα / μικρό χρονικό διάστημα. Επειδή αυτό που κυρίως επηρεάζεται

στην προκειμένη περίπτωση είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα,

Ο πνιγμός είναι για τις καταδύσεις η συνηθέστερη αιτία θανάτου. Κυρίως προκαλείται από την έλλειψη σωστής εκπαίδευσης και πείρας, την αδιαφορία για την τήρηση των μέτρων ασφαλείας και την κακή σωματική κατάσταση του δύτη. Σαφώς ο παράγοντας τύχη έχει γίνει ουκ ολίγες φορές η βασική αιτία τέτοιων περιστατικών. Η γρήγορη αντίδραση από τους συντρόφους του δύτη όμως έχει αποδειχθεί άπειρες φορές σωτήρια.

Η ανεπάρκεια οξυγόνου (ανοξαιμία) παρουσιάζεται όταν εξαντληθούν τα αποθέματα των πνευμόνων και δεν υπάρχει δυνατότητα να ανανεωθεί επειδή δεν είναι δυνατή η τροφοδοσία με αέρα (άδειασμα συσκευών τροφοδοσίας). Γι αυτό επιβάλλεται ο δύτης να παρακολουθεί συχνά την κατάσταση του αέρα του και μόλις αντιληφθεί ότι τα αποθέματά του σε αέρα τελειώνουν να αναδυθεί αμέσως. Η ανεπάρκεια αντιμετωπίζεται με άμεση έκθεση στον καθαρό αέρα και τεχνητή αναπνοή. Η υπερκαπνία παρουσιάζεται συνήθως παράλληλα με την ανεπάρκεια και είναι η αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα.

Τέλος, μια κρίσιμη κατάσταση που πιθανότατα να συναντήσει ένας δύτης είναι η υποθερμία. Το ανθρώπινο σώμα θερμότερο από το νερό έχει την τάση να αποβάλλει θερμότητα. Επίσης, θέλοντας να κρατήσει σε λειτουργία τα ζωτικά όργανα τραβάει αίμα από τα άκρα προς αυτά. Συνέπεια είναι το αίσθημα των μουδιασμένων άκρων.

1.2.3 Οργάνωση συνεργείου

Τα παραπάνω προβλήματα που δημιουργούνται από την ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος κάνουν ακόμα πιο επιτακτική την ανάγκη για σωστή οργάνωση του συνεργείου. Ο σωστός προγραμματισμός απαιτεί μεγάλη πείρα, τόσο στο αντικείμενο της τοπογραφίας, όσο και στις καταδύσεις. Παράλληλα θέλει γνώση και συνειδητοποίηση των ιδιαίτερων συνθηκών της περιοχής σε συνδυασμό πάντα με το αντικείμενο και τις προς εκτέλεση εργασίες.

Από καταδυτική άποψη βασικός στόχος είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων, ώστε η κατάδυση να είναι κυρίως ασφαλής, ξεκούραστη και άνετη για τους δύτες. Για το λόγο αυτό πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα όλα τα μέτρα ασφαλείας, το καταδυτικό υλικό να ικανοποιεί το συνεργείο ως προς την ποικιλία και την ποιότητά του (απαραίτητος πάντα ο έλεγχος της καλής λειτουργίας των οργάνων).

Επίσης, σε περιπτώσεις κατάδυσης σε ανοιχτή θάλασσα, όπου απαιτείται η ύπαρξη σκάφους μεταφοράς προσωπικού και εξοπλισμού, απαραίτητο είναι να υπάρχει συνοδευτικό σκάφος υποστήριξης του συνεργείου που θα παραμένει στην περιοχή καθ'όλη τη διάρκεια της κατάδυσης.

Το συνεργείο πρέπει να έχει εξασφαλίσει τον τρόπο γεμίσματος των φιαλών ή με ατμοσφαιρικό αέρα ή με μίγματα, όταν το είδος της κατάδυσης το προστάζει, είτε σε κάποιο πιστοποιημένο καταδυτικό κέντρο είτε με ιδιόκτητο σύστημα κομπρεσέρ, που πρακτικό είναι να βρίσκεται πάνω στο καταδυτικό σκάφος.

Όσον αφορά την οργάνωση του συνεργείου από τοπογραφική άποψη, ισχύει ό,τι ισχύει και στις επίγειες εργασίες σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές. Η

συλλογή περισσότερων στοιχείων και η επανάληψη των μετρήσεων, είτε λόγω κακών εκτιμήσεων, είτε λόγω ελλιπών στοιχείων, συνεπάγεται τη διεξαγωγή επιπλέον καταδύσεων, κάτι που επιβαρύνει χρονικά και οικονομικά το πρόγραμμα των εργασιών, γεγονός που καθιστά την οργάνωση των μετρήσεων ακόμα πιο σημαντική και υπεύθυνη διαδικασία.

Μεγάλης βαρύτητας είναι η προϋπόθεση της καλής γνώσης της περιοχής εργασιών από τον επικεφαλής του συνεργείου. Ο τελευταίος είναι απαραίτητο να έχει όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία για την περιοχή που διεξάγονται οι καταδύσεις, σχετικά με την κατάσταση του βυθού και της θάλασσας, την ορατότητα, την ύπαρξη ρευμάτων ή τυχόν κινδύνων (βράχια, σπηλιές, θαλάσσια ζώη κ.ά.) και φυσικά να ενημερώνεται τακτικά από μετεωρολογικό δελτίο.

Τέλος, πολύ σημαντικό είναι να υπάρχει αρμονία μεταξύ όλων των μελών του συνεργείου και φυσικά απόλυτη οικειότητα με το θαλασσινό περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται οι δύτες από την ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος και οι εργασίες να μην επιφορτίζονται από το υπερβαρικό περιβάλλον, αλλά αντίθετα να γίνονται σαν να βρίσκεται όλο το συνεργείο στη στεριά. Είναι πολύ συχνό φαινόμενο στη διεξαγωγή των μετρήσεων να παίρνουν μέρος επαγγελματίες δύτες που όμως δεν γνωρίζουν βασικούς κανόνες τοπογραφίας. Ο επικεφαλής λοιπόν των τοπογραφικών εργασιών οφείλει να φροντίσει για τη στοιχειώδη εκπαίδευση των μελών του συνεργείου, που μπορεί να έχουν καταδυτική πείρα, αλλά να υστερούν σε γνώση σχετικά με το αντικείμενο για το οποίο εργάζονται. Αντίστροφα, είναι πολύ πιθανό οι μηχανικοί που παίρνουν μέρος σε υποβρύχιες εργασίες να μην είναι τόσο έμπειροι ως δύτες. Και πάλι απαιτείται η εντατική και αυστηρή εκπαίδευσή τους πριν την έναρξη των υποβρύχιων εργασιών. Γενικά η αρμονία μεταξύ των μελών του συνεργείου επιτυγχάνεται αν υπάρχει επαρκής συνεννόηση και σεβασμός μεταξύ των επικαλυπτόμενων εν προκειμένω επιστημονικών πεδίων. Αν για παράδειγμα, πρόκειται για αποτύπωση ενός αρχαιολογικού χώρου, οι εργασίες αποτύπωσης θα πρέπει να γίνονται με σεβασμό προς το μνημείο και οι δύτες να είναι επιμελείς ως προς τους καταδυτικούς κανόνες. Έτσι, μηχανικοί, αρχαιολόγοι, υπεύθυνοι καταδύσεων και επαγγελματίες δύτες μπορούν να συνυπάρχουν αρμονικά και να επιτύχουν στο τέλος ένα πολύ αξιόλογο αποτέλεσμα που δε θα μπορεί παρά να αφήνει τους πάντες ικανοποιημένους.

1.2.4 Καταδυτικός εξοπλισμός

Η άνετη και ασφαλής κατάδυση είναι φυσικό να αποτελείται από πολλά και διαφορετικά αντικείμενα, των οποίων τη λειτουργία καλούνται οι δύτες να γνωρίζουν άριστα. Η συντήρηση του εξοπλισμού, όπως επίσης και η αποκατάστασή του μετά από κάθε κατάδυση είναι διαδικασίες που είναι απαραίτητο να ακολουθούνται σχολαστικά από το καταδυτικό συνεργείο. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στον καθαυτό καταδυτικό εξοπλισμό, ενώ σε επόμενο κεφάλαιο αναφέρονται αναλυτικά τα τοπογραφικά καταδυτικά όργανα. Ένα πλήρες καταδυτικό σύστημα αποτελείται από πέντε υποσυστήματα.

Το πρώτο υποσύστημα, το *σύστημα επιφανείας*, αποτελείται από τη μάσκα, τα βατραχοπέδιλα, την καταδυτική στολή, τα γάντια, το μαχαίρι, τη ζώνη βαρών και τη σημαδούρα με καταδυτική σημαία. Η μάσκα προσώπου, τα πέδιλα κολύμβησης και ο αναπνευστήρας είναι απαραίτητα για κάθε κατάδυση και είναι τα πρώτα εξαρτήματα που φτάνουν στα χέρια του δύτη, ακόμη κι αν αυτός προετοιμάζεται για ελεύθερη κατάδυση. Το καταδυτικό μαχαίρι στερεώνεται με τη θήκη του είτε στο πόδι είτε στη μέση και είναι απαραίτητο τόσο για ασφάλεια, όσο και για διάφορες εργασίες. Χρησιμεύει στο να κόβει κανείς σχοινιά, φύκια, σύρματα ή να σκαλίζει το βυθό, αλλά κυρίως για να ξεμπλέκει αν τύχει να σκαλώσει κάπου στο βυθό. Η ζώνη βαρών είναι ένας απλός ιμάντας στον οποίο στερεώνονται μολύβδινα βάρη (πλέον αρχίζουν και αντικαθίστανται από πλαστικά για περιβαλλοντικούς λόγους) και βοηθούν το δύτη στη ρύθμιση της πλευστότητάς του. Η στολή ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού και μπορεί να είναι είτε υγρού τύπου από νεοπρένιο, είτε ημιστεγανή ή πλήρως στεγανή στολή. Τέλος, πολύ σημαντική είναι η ύπαρξη σημαδούρας με καταδυτική σημαία.

Το δεύτερο υποσύστημα είναι το *αναπνευστικό σύστημα* και αποτελείται από φιάλη υψηλής πίεσης με κλείστρο, ρυθμιστή πίεσης πρώτου και δεύτερου σταδίου με μήκος σωλήνα 70-80 εκατοστά, συμπληρωματικούς σωλήνες για πλήρωση του ρυθμιστή πλευστότητας με αέρα (με δυνατότητα άμεσης σύνδεσης- αποσύνδεσης) και πλήρωση της στολής στεγανού τύπου με αέρα, συμπληρωματικό σωλήνα υψηλής πίεσης για το όργανο ελέγχου πίεσης (που καταλήγει σε μανόμετρο gauge/SPG), κάποιο άλλο αποδεκτό σύστημα παροχής αέρα όπως: εφεδρικό δεύτερο στάδιο με σωλήνα μήκους 90-100 εκατοστών διαφορετικού και έντονου χρώματος από τον κύριο ρυθμιστή (χαταπόδι). Τέλος, καλό είναι να υπάρχει και ένα εφεδρικό αναπνευστικό σύστημα (Redundant Breathing System – RBS) που δεν είναι παρά ένα εντελώς ανεξάρτητο σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια μικρή φιάλη με βαλβίδα, ένα ρυθμιστή πίεσης πρώτου και δεύτερου σταδίου, ένα μανόμετρο καθώς και ένα σύστημα προσάρτησής του στο κύριο σύστημα αυτόνομης κατάδυσης. Ο ρυθμιστής πίεσης είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι όλου του εξοπλισμού, αφού σαν όργανο ζωτικής σημασίας εξασφαλίζει την παροχή αέρα στους δύτες. Γι αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται σχολαστική φροντίδα στα όργανα αυτά, να συντηρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να αποκαθίστανται μετά από κάθε κατάδυση.

Το τρίτο υποσύστημα είναι το *σύστημα ελέγχου πλευστότητας* που σχεδιάστηκε για να προσφέρει στο δύτη ασφάλεια και πλήρη έλεγχο κινήσεων κατά την κολύμβησή του στην επιφάνεια του νερού, τη δυνατότητα να έχει απόλυτο έλεγχο της πλευστότητας και των κινήσεών του στο βυθό, όπως επίσης και τη δυνατότητα να προσφέρει βοήθεια σε άλλους αυτοδύτες σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, γεγονός που οφείλεται στην ανυψωτική ικανότητα που προσφέρει ο μηχανισμός ο οποίος πληροί το ρυθμιστή πλευστότητας με αέρα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από το ρυθμιστή πλευστότητας (BCD) ή τζάκετ, το μηχανισμό πλήρωσης του ρυθμιστή πλευστότητας με αέρα, το σύστημα βαρών, με μηχανισμό απελευθέρωσης βάρους, την καταδυτική στολή (ως παθητικό στοιχείο του συστήματος ελέγχου πλευστότητας) και ένα μέσο

εντοπισμού του αυτοδύτη σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης (σφυρίχτρα, καθρέφτης, φωτοβολίδα κ.λ.π.).

Επόμενο υποσύστημα είναι το *καταδυτικό σύστημα παροχής πληροφοριών* που επιτρέπει στον αυτοδύτη να σχεδιάζει λεπτομερώς την κατάδυση που πρόκειται να πραγματοποιήσει, να παρακολουθεί αδιάλειπτα την πίεση του αναπνεύσιμου αερίου και να γνωρίζει μέσω ενός συστήματος προειδοποίησης, πότε τα αποθέματα αυτού έχουν μειωθεί επικίνδυνα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα όργανο ελέγχου πίεσης (μανόμετρο), ένα βαθύμετρο, ένα ρολόι ή χρονόμετρο, ένα όργανο ελέγχου αποσυμπίεσης, μία πυξίδα, ένα θερμόμετρο και φυσικά μια κονσόλα ώστε όλα τα παραπάνω να βρίσκονται κάπου συγκεντρωμένα. Τέλος, πλέον ένας προσωπικός καταδυτικός υπολογιστής μπορεί να αντικαταστήσει όλα τα προαναφερθέντα όργανα.

Το πέμπτο και τελευταίο υποσύστημα είναι το *σύστημα ειδικού και συμπληρωματικού εξοπλισμού* που περιλαμβάνει ειδικά εξαρτήματα, ανταλλακτικά και εφεδρικό εξοπλισμό, υποβρύχιους φακούς, υποβρύχιο φωτογραφικό εξοπλισμό, μπαλόνι ανέλκυσης και άλλα βοηθητικά καταδυτικά εργαλεία.

Συνοψίζοντας, όταν πραγματοποιείται κατάδυση σε ανοιχτό υδάτινο περιβάλλον, η ασφάλεια των δυτών εξαρτάται άμεσα από την εξοικείωσή τους με το κάθε εξάρτημα του καταδυτικού συστήματος, αλλά και με τη λειτουργία του ως ενιαίου συνόλου.

1.2.5 Μέτρα ασφαλείας

Οι δύτες θα πρέπει να καταδύονται πάντα κατά ζεύγη. Ακόμα και αν πραγματοποιείται κατάδυση από μια ομάδα δυτών (π.χ. τοπογραφικό συνεργείο), πρέπει να ορίζονται ζευγάρια που τα μέλη τους να βοηθούνται μεταξύ τους και να βρίσκονται σε συνεχή οπτική επαφή και επικοινωνία. Το σκοτεινό, παγωμένο και χωρίς ήχο υποβρύχιο περιβάλλον ασκεί ψυχολογική πίεση στο δύτη, που αν δεν βρίσκεται έστω και σε οπτική επαφή με το καταδυτικό του ταίρι, γρήγορα χάνει την ψυχραιμία του, πανικοβάλλεται εύκολα και δεν αντιδρά λογικά, σωστά και έγκαιρα.

Στην περιοχή της κατάδυσης είναι απαραίτητο να υπάρχει σκάφος ασφαλείας, του οποίου το μέγεθος εξαρτάται από τις δυνατότητες της ομάδας, τον αριθμό των δυτών, την απόσταση μέχρι το σημείο κατάδυσης αλλά και το σκοπό της κατάδυσης. Στο σκάφος ασφαλείας παραμένουν κατά τη διάρκεια της κατάδυσης τουλάχιστον δύο μέλη της ομάδας. Αυτοί έχουν συνέχεια στραμμένη την προσοχή τους στην επιφάνεια της περιοχής που γίνεται η κατάδυση και είναι ανά πάσα στιγμή έτοιμοι να προσφέρουν βοήθεια. Στο σκάφος υπάρχει πάντα ο δύτης ασφαλείας και αν είναι εφικτό επιθυμητή είναι και η παρουσία γιατρού. Τα μέλη που βρίσκονται πάνω στο σκάφος υποδεικνύουν σε πλωτά μέσα που κινούνται στην περιοχή την ύπαρξη δυτών μέσα στο νερό.

Ιδιαίτερα χρήσιμα έχουν αποδειχθεί τα τελευταία χρόνια τα τηλεκατευθυνόμενα μη επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα, ευρέως γνωστά ως ROV's (Remotely Operated Vehicles, Εικ.1.6), τα οποία δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης τόσο του βυθού,

όσο και των δυτών που εργάζονται υποβρυχίως μέσω μιας κονσόλας που βρίσκεται στο σκάφος ακριβώς πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος (Εικ. 1.7) και συνδέεται με μια ομάδα στεγανοποιημένων ηλεκτρικών καλωδίων. Τα οχήματα αυτά πρωτοχρησιμοποιήθηκαν από το αμερικάνικο ναυτικό τη δεκαετία του '60, αλλά σήμερα βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές υποβρύχιες εργασίες. Με την πρόοδο της τεχνολογίας δε, ο περιορισμός στο βάθος που μπορούν να φτάσουν τα ROV's όλο και μειώνεται.



Εικ. 1.6: ROV



Εικ. 1.7: Χειριστής που κατευθύνει το ROV και παρακολουθεί τους δύτες

Με αυτόν τον τρόπο, το συνεργείο που βρίσκεται στο σκάφος μπορεί να είναι σε διαρκή επαφή με τους καταδυόμενους, να ελέγχει τις κινήσεις τους, να επέμβει σε περίπτωση ανάγκης και να παρακολουθεί τις εξελίξεις των εργασιών.

Αν και έχει προαναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους, δεν πρέπει να εξαιρεθεί από τα μέτρα ασφαλείας η άριστη εκπαίδευση του συνεργείου σε θέματα καταδύσεων, όπως η άψογη γνώση του καταδυτικού εξοπλισμού καθώς και η πλήρης εξοικείωση των δυτών με την περιοχή εργασιών αλλά και με το υπερβαρικό περιβάλλον γενικότερα.

Φυσικά, οι δύτες απαγορεύεται ρητά να προχωρήσουν σε κατάδυση αν δεν βρίσκονται σε άριστη φυσική κατάσταση ή αν ταλαιπωρούνται ακόμα και από ένα απλό κρυολόγημα. Επίσης, σε περιπτώσεις δεύτερης κατάδυσης την ίδια ημέρα πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι χρόνοι που υπαγορεύονται από τους πίνακες αποσυμπίεσης ή από τον υπεύθυνο των καταδύσεων και να μην λειτουργούν οι δύτες αυτοβούλως και χωρίς την αυστηρή τήρηση του προγραμματισμού και των μέτρων ασφαλείας. Γιατί κανένας λόγος, κανένας σκοπός και καμία φιλοδοξία δεν μπορούν να εξαγοράσουν το μέγιστο αγαθό, τη ζωή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ

Η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός βυθισμένου μνημείου αποτελεί μία πολύ εξειδικευμένη τοπογραφική εφαρμογή, κατά την οποία οι μεθοδολογίες αποτύπωσης που ακολουθούνται, διαφοροποιούνται σημαντικά από αυτές μιας τυπικής χερσαίας τεκμηρίωσης μνημείου. Οι ιδιαιτερότητες του υποβρύχιου περιβάλλοντος καθιστούν απαραίτητη την ανάπτυξη συγκεκριμένων μεθόδων υποβρύχιας τοπογραφίας, οι οποίες αναλύονται διεξοδικά στο κεφάλαιο αυτό. Επίσης, παρουσιάζονται στη συνέχεια, στοιχεία για την ίδρυση και την επίλυση δικτύων υποβρύχια, ενώ αναλύονται τόσο τα κυριότερα όργανα που χρησιμοποιούνται, όσο και ο τρόπος λειτουργίας τους. Τέλος, αναλύονται ο τρόπος και η σειρά με την οποία πρέπει να πραγματοποιούνται οι υποβρύχιας εργασίες και τα στοιχεία εκείνα τα οποία είναι άξια προσοχής.

2.1 Αναγνώριση περιοχής

Όπως και στις χερσαίες εργασίες αποτυπώσεων, έτσι και στις υποβρύχιας πριν από οποιαδήποτε άλλη ενέργεια, απαραίτητη είναι η διαδικασία της αναγνώρισης της περιοχής ενδιαφέροντος έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι ιδιαιτερότητες του χώρου εργασίας. Σκοπός της αναγνώρισης είναι η συλλογή όσο γίνεται περισσότερης πληροφορίας, τόσο για την υποθαλάσσια, όσο και για τη χερσαία περιοχή που πρόκειται να εκτελεστεί μια τοπογραφική εργασία για το σωστό προγραμματισμό των καταδύσεων αλλά και τον τρόπο με τον οποίο θα γίνουν οι εργασίες. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την υποβρύχια αναγνώριση, επιβάλλεται η συλλογή πληροφοριών για την περιοχή κατάδυσης πριν ακόμα κι από την επί τόπου αναγνώριση. Αν είναι δυνατό, καλό είναι να υπάρχουν υδρογραφικοί χάρτες της περιοχής καθώς και τοπογραφικοί ή ακόμα και αεροφωτογραφίες της χερσαίας ζώνης που περιβάλλει την παράκτια ζώνη που βρίσκεται κοντά στην περιοχή μελέτης. Άλλωστε, πολλά συμπεράσματα για το ανάγλυφο της περιοχής κατάδυσης μπορούν να προκύψουν μόνο και μόνο από τη μελέτη του αναγλύφου της κοντινότερης παράκτιας περιοχής. Είναι λογικό για παράδειγμα, μια απότομη και βραχώδης παραθαλάσσια περιοχή να καταλήγει σε έναν εξίσου απότομο και βραχώδη βυθό. Επίσης, πολύ χρήσιμες πληροφορίες είναι οι ειδικές κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, όπως άνεμοι, θερμοκρασίες και ορατότητα.

Οι προκαταρκτικές αναγνωριστικές καταδύσεις λοιπόν είναι απαραίτητες για τη σαφέστερη εικόνα της υποθαλάσσιας έκτασης, της μορφολογίας του βυθού, των συνθηκών που επικρατούν καθώς και για μια προσεγγιστική οριοθέτηση του προς μελέτη αντικειμένου. Μεγάλο ρόλο στον εντοπισμό ναυαγίων, αγκυροβολίων και άλλων σημαντικών ευρημάτων παίζουν οι ντόπιοι άνθρωποι, δύτες ή μη, οι οποίοι συχνά υποδεικνύουν στους αρχαιολόγους τέτοιες θέσεις ενδιαφέροντος.

Η αναγνώριση μιας περιοχής ενδιαφέροντος μπορεί να αποτελέσει εξαιρετικά δύσκολη και επίπονη εργασία για ένα καταδυτικό συνεργείο, κυρίως όταν πρόκειται για κατάδυση σε μεγάλα βάθη. Σε μικρά βάθη τη διαδικασία της αναγνώρισης αναλαμβάνουν κολυμβητές, οι οποίοι με την κατάλληλη οργάνωση σαρώνουν μια περιοχή με σχετική ευκολία και ταχύτητα. Όταν όμως το ενδιαφέρον του συνεργείου βρίσκεται σε βαθιά νερά, τότε ο δείκτης δυσκολίας αυξάνεται σημαντικά και απαιτείται επιχείρηση καταδύσεων προς εντοπισμό του σημείου εργασιών. Το συνεργείο πλέον δεν απαρτίζεται από κολυμβητές αλλά από δύτες που το κυριότερο ζήτημα που αντιμετωπίζουν είναι αυτό της σύντομης παραμονής τους στο βυθό. Απαιτούνται φυσικά ο άψογος συντονισμός των δυτών ανά ομάδες και περιοχές, η άριστη γνώση χρήσης της πυξίδας και το σηματοκότερο, η αυστηρή τήρηση των μέτρων ασφαλείας.

Πολύ σημαντικό, τέλος, είναι να πραγματοποιηθεί φωτογραφική τεκμηρίωση του χώρου εργασίας κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης, που ως σκοπό έχει την παραγωγή ενός φωτομωσαϊκού, χωρίς μετρητική αξία βέβαια, που αποτελεί όμως σε κάθε περίπτωση βοηθητικό εργαλείο για τη γενικότερη επόπτευση της περιοχής και τον προγραμματισμό των μετέπειτα εργασιών.

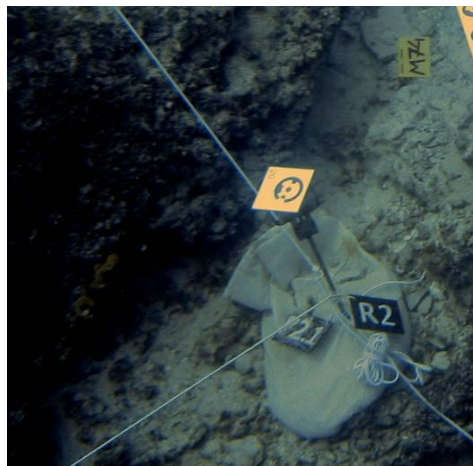
2.2 Σήμανση

Η σήμανση είναι δυνατό να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με το είδος του βυθού, την κατάσταση των ευρημάτων καθώς και τη μονιμότητα των σημείων αναφοράς.

2.2.1 Σήμανση σε αμμώδη βυθό

Ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος σήμανσης είναι η σήμανση με κάποια μεταλλική ράβδο που καρφώνεται στην άμμο. Η σταθερότητα των σημάνσεων βελτιώνεται με την προσθήκη ειδικών πτερυγίων στην άκρη της ράβδου ή ακόμα και με εγκιβωτισμό της ράβδου μέσα σε κυλινδρική βάση από τσιμέντο (Εικ.2.1), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα στις πλευρικές μετακινήσεις.

Επειδή υπάρχει κίνδυνος με την πάροδο του χρόνου να σκεπαστούν τα βάρη από άμμο, χρησιμοποιούνται ράβδοι μεγάλου μήκους οι οποίες εξέχουν πάνω από το τσιμεντένιο βάρη τουλάχιστον μισό μέτρο.



Εικ.2.1: Μπετόβεργα εγκιβωτισμένη σε τσιμεντένιο βάρη

2.2.2 Σήμανση σε βραχώδη βυθό

Συνήθως οι βράχοι μέσα στη θάλασσα είναι σαθροί με αποτέλεσμα να θρυμματίζονται εύκολα και να μην είναι δυνατόν να καρφωθεί ράβδος ή ασάλινο καρφί πάνω τους. Έτσι, οι σημάνσεις γίνονται με ανεξίτηλο χρώμα αφού πρώτα καθαριστεί ο βράχος και τριφτεί με συρματόβουρτσα για να φύγουν η βλάστηση και τα κοχύλια. Όλες οι υποβρύχιες μετρήσεις μειονεκτούν στο ότι δεν διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα επειδή σκεπάζονται από βλάστηση ή άμμο.

Λόγω της μειωμένης ορατότητας ο δύτες δεν έχει την ευχέρεια να εποπτεύει όλη την περιοχή. Έτσι πολλές φορές είναι δυνατό να μην βρίσκει εύκολα τις στάσεις και να περιφέρεται άσκοπα σπαταλώντας τον πολύτιμο χρόνο του. Αυτό αποφεύγεται με τη χρησιμοποίηση σημαντήρων πάνω στους οποίους είναι γραμμένος ο αριθμός της στάσης. Η απλούστερη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση κοινών σηματοδότηρων ψαρέματος δεμένων με ένα σχοινί από την κορυφή της στάσης. Το μήκος του σχοινιού είναι τέτοιο ώστε να επιπλέει σε κάποιο ύψος πάνω από τον πυθμένα ώστε να είναι ορατός από το δύτε ο οποίος έτσι εντοπίζει εύκολα το σημείο της στάσης.

Εξίσου διαδεδομένα μέσα, αλλά και αρκετά οικονομικά, είναι τα πλαστικά μπουκάλια ή οι φελλοί από δίχτυα (Εικ.2.2) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ίδιο καλά. Πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν καταστρέφονται αλλά ούτε αναπτύσσονται πάνω τους φύκια ή οποιαδήποτε άλλη θαλάσσια ζωή.



Όσον αφορά τα ευρήματα, οι τρόποι *Εικ.2.2:Σημαντήρας με φελλό και πλαστικό μπουκάλι* σήμανσης ποικίλουν ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται αυτά. Για παράδειγμα, αν σε ένα ναυάγιο υπάρχουν ακέραιοι αμφορείς ή ακέραια στόμια αμφορέων, πολύ εύκολα μπορούν να



Εικ.2.3:Σήμανση σταθερών σημείων με πλαστικούς κυκλικούς δίσκους στα στόμια αμφορέων (Μαζωτός, Κύπρος)

προσαρμοστούν πάνω τους, χρησιμοποιώντας tie wrap, λεπτοί πλαστικοί δίσκοι με τυπωμένο στόχο και χαρακτηριστικό χρώμα (Εικ.2.3). Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιήθηκε σήμανση σε στόμια αμφορέων στο ναυάγιο του Μαζωτού και οι στόχοι που τυπώθηκαν και προσαρμόστηκαν στο κέντρο κάθε στόμιου χρησιμοποιήθηκαν ως σταθερά σημεία. Αποδείχθηκε αρκετά αποτελεσματικός τρόπος

σήμανσης, αφού οι εν λόγω στόχοι βρέθηκαν στις ίδιες ακριβώς θέσεις ακόμα και μετά από έναν χρόνο, όταν επανήλθε η ερευνητική ομάδα στην περιοχή για τη συνέχιση της έρευνας.

2.3 Υποβρύχιες Μετρήσεις

2.3.1 Μετρήσεις μηκών

Οι κυριότερες, και σε πολλές περιπτώσεις οι μοναδικές, μετρήσεις που πραγματοποιούνται στις υποβρύχιες αποτυπώσεις είναι οι μετρήσεις μηκών. Τα μήκη αυτά μπορεί να είναι πλευρές όδευσης ή δικτύου ή ακόμα και χαρακτηριστικές διαστάσεις του προς μελέτη αντικειμένου. Όπως ισχύει και στην επίγεια τοπογραφία, με μετρήσεις οριζόντιων αποστάσεων από τουλάχιστον δύο σημεία αναφοράς (σημεία δικτύου ή όδευσης), είναι δυνατόν να προσδιοριστεί οριζοντιογραφικά ένα συγκεκριμένο σημείο σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Η συνηθέστερη μορφή μετρήσεων μηκών, για μεγάλα βάθη όπου το μόνο αξιοποιήσιμο όργανο είναι η μετροταινία, είναι οι πλευρομετρήσεις και η επίλυση του δικτύου γίνεται με τριπλευρισμό.

2.3.1.1 Δυσκολίες μετρήσεων

Οι μετρήσεις μηκών με μετροταινία είναι συχνά οι μόνες μετρήσεις στις υποβρύχιες αποτυπώσεις. Ωστόσο, η μέτρηση μηκών εμφανίζει δυσκολίες που προέρχονται κυρίως από το περιβάλλον των μετρήσεων. Παρακάτω αναλύονται διεξοδικά τα βασικά προβλήματα που συναντώνται.



Εικ.2.4: Μέτρηση αποστάσεων με μετροταινία

Αρχικά, το κυριότερο πρόβλημα που προκύπτει είναι η δυσκολία στήριξης του δύτε στο βυθό. Η δυσκολία αυτή οφείλεται τόσο στη δύναμη της άνωσης που ασκείται σε κάθε σώμα που είναι βυθισμένο σε νερό, ανάλογα με τον όγκο του, όσο και στην ύπαρξη ισχυρών ρευμάτων. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να εύκολα να ξεπεραστεί αν αυξηθεί ο ερματισμός του δύτε, κάτι που τον καθιστά όμως λιγότερο ευέλικτο και ευκίνητο. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν ο δύτες να περιέλθει σε θέση ισορροπίας και να είναι δυνατή η καταγραφή των μετρήσεων σε ειδική πινακίδα.

Ένα άλλο ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι δύτες είναι η σαφώς μεγαλύτερη αντίσταση που συναντούν τα αντικείμενα κινούμενα μέσα στο νερό απ'ό,τι στον αέρα, γεγονός που οφείλεται στις διαφορετικές πυκνότητες αέρα και νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μετροταινία να παρουσιάζει ένα βέλος, μια καμπυλότητα, κατά τη διαδικασία τεντώματός της. Η διαφορά μεταξύ της στεριάς και του βυθού είναι ότι στη στεριά το βέλος οφείλεται στο βάρος της κορδέλας, ενώ στο βυθό εκτός από το βάρος, επεμβαίνουν και τα ρεύματα που κάνουν την προσπάθεια τεντώματος της κορδέλας εξαιρετικά επίπονη. Το γεγονός αυτό έχει άμεση επίπτωση στην ποιότητα των μετρήσεων κάνοντας την πραγματική τιμή από τη μετρημένη να διαφέρουν πολλές φορές σημαντικά.

Από την άλλη, τόσο σε βραχώδεις και απότομους βυθούς, όσο και σε ναυάγια με έντονες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των αντικειμένων, είναι πολύ συχνό φαινόμενο να μεσολαβούν εμπόδια μεταξύ των προς μέτρηση σημείων, πράγμα που εξαιρεί αυτόματα πολλές αποστάσεις από την επίλυση.

Επίσης, κάτι πολύ σημαντικό που συχνά αγχρωτεύει τις μετρήσεις των δυτών, είναι η νάρκωση που πιθανόν να υποστούν οι δύτες σε μεγάλα βάθη και τους κάνει να διαβάζουν ή και να καταγράφουν λάθος ό,τι μέτρησαν. Για αυτόν τον λόγο, καλό είναι εφόσον υπάρχει πολυτέλεια χρόνου, να πραγματοποιούνται επαναληπτικές μετρήσεις αποστάσεων, ώστε να γίνεται έλεγχος των δεδομένων πριν από την επίλυση.

Τέλος, τις περισσότερες φορές, ο αριθμός των προγραμματισμένων προς μέτρηση μηκών, σε περίπτωση που ένα αντικείμενο έχει μεγάλη έκταση, είναι αντιστρόφως ανάλογος με τον αυστηρά περιορισμένο χρόνο βυθού που έχουν στη διάθεσή τους οι δύτες. Αυτό σημαίνει, ότι απαιτούνται πολλές καταδύσεις για την ολοκλήρωση των μετρήσεων. Άρα, προκύπτουν επιπρόσθετα προβλήματα όπως η έλλειψη δυνατότητας ελέγχου των αποστάσεων με επαναληπτικές μετρήσεις ή η μεσολάβηση μετακινήσεων κάποιων όχι και τόσο σταθερών σημείων.

2.3.1.2 Όργανα μέτρησης

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται υποβρύχια για τις μετρήσεις μηκών είναι όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται επίγεια, αν εξαιρέσει κανείς βέβαια τα Total Station και τα GPS και καθορίζονται ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης σε άμεσα και έμμεσα. Στις άμεσες μετρήσεις μηκών προσδιορίζεται το ζητούμενο μέγεθος με τη βοήθεια πλαστικής ή μεταλλικής μετροταινίας, ενώ τα παρελκόμενα που χρησιμοποιούνται είναι ακόντια με αεροστάθμες ή όχι, τρίποδες στήριξης, ορθόγωνο, λιναίες ή γωνιακές αεροστάθμες. Στον έμμεσο προσδιορισμό του ζητούμενου μήκους χρησιμοποιούνται και όργανα με τη βοήθεια των οποίων γίνεται ο προσδιορισμός της κλίσης μεταξύ δύο σημείων αναφοράς. Ο προσδιορισμός του οριζόντιου μήκους σε αυτήν την περίπτωση γίνεται έμμεσα με την αναγωγή του μετρημένου με μετροταινία κεκλιμένου μήκους σε οριζόντιο.

Το βασικό όργανο μέτρησης μηκών υποβρύχια είναι οι *μετροταινίες*. Μια βασική διαφοροποίηση των μετροταινιών είναι αυτή που γίνεται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους. Το πιο απλό είδος μετροταινιών είναι από πλαστικό ή fiber-glass. Στα πλεονεκτήματά τους είναι το γεγονός ότι είναι σχετικά ελαφριές, μαζεύονται εύκολα μετά από κάθε χρήση, δεν παρουσιάζουν μεγάλο βέλος λόγω του μειωμένου βάρους τους και δεν υπάρχει κίνδυνος να τραυματιστούν οι δύτες από τις ακμές τους. Από την άλλη όμως, σε περιπτώσεις ισχυρών ρευμάτων δεν μπορούν εύκολα να τεντωθούν, κάτι που κάνει δύσκολη τη μέτρηση μεγάλων αποστάσεων. Όσον αφορά τις μεταλλικές μετροταινίες, αφενός η μεταφορά τους είναι δύσκολη στο νερό και αφετέρου παρουσιάζουν μεγάλο βέλος λόγω του βάρους τους. Επίσης, είναι επικίνδυνες για τραυματισμούς των δυτών λόγω των ακμών τους.

Ωστόσο, εκτός από τις μετροταινίες, ποικιλία παρουσιάζουν και τα παρελκόμενα που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις μηκών και διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται κάθε φορά. Έτσι, στην περίπτωση που μετρώνται απ'ευθείας οριζόντια μήκη, το πιθανότερο είναι χρειαστούν *ακόντια* και *τρίποδες*, αν μεταξύ των σημείων αναφοράς δεν υπάρχει αμοιβαία ορατότητα. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να μεταφερθεί το μετρημένο μέγεθος παράλληλα, σε επίπεδο που υπάρχει αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων αναφοράς. Τα ακόντια τοποθετούνται στα σημεία αναφοράς και κατακορυφώνονται με τη βοήθεια αεροσταθμών ή λιναίης.

Στην περίπτωση που προσδιορίζονται κεκλιμένες αποστάσεις η αναγωγή σε οριζόντιες γίνεται με τη βοήθεια οργάνων που υπολογίζουν την κλίση, όπως είναι το *κλισίμετρο*. Η διεύθυνση της σκόπευσης γίνεται με ένα νήμα ή απ'ευθείας με μια μετροταινία. Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει το πλεονέκτημα ότι γίνεται ταυτόχρονη ανάγνωση της κλίσης και της κεκλιμένης απόστασης. Η διαδικασία μέτρησης στο βυθό είναι δύσκολη, ιδιαίτερα στην περίπτωση που υπάρχουν στην περιοχή δυνατά ρεύματα, που δεν αφήνουν τη λιναίη του συστήματος να ισορροπήσει. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η κοιλιά η οποία εμφανίζεται στο νήμα που υλοποιεί τη διεύθυνση σκόπευσης. Αυτό υποχρεώνει τους δύτες να προσδιορίζουν δύο τιμές της κλίσης, μία από την αρχή και μία στο τέλος της, υπολογίζοντας έτσι το μέσο όρο της. Για το λόγο αυτό, η χρήση του κλισιμέτρου είναι προτιμότερο να γίνεται μόνο σε αναγνωριστικές εργασίες και αποτυπώσεις με μικρή σχετικά ακρίβεια.

2.3.1.3 Πινακίδες καταγραφής μετρήσεων

Ένα ερώτημα που απασχολεί κάποιον που έρχεται πρώτη φορά σε επαφή με τον κόσμο των υποβρύχιων αποτυπώσεων είναι το πώς γίνεται μία καταγραφή υποβρυχίως, είτε μετρήσεων μηκών ή μηνυμάτων μεταξύ των δυτών ή ακόμα το πώς μπορεί κανείς να σχεδιάσει ένα αυτοσχέδιο σκαρίφημα. Η αλήθεια είναι ότι υπάρχει ποικιλία υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή πινακίδων καταγραφής υποβρυχίως.



Εικ.2.5: Πινακίδα καταγραφής μετρήσεων & πλαστική μετροταινία

Οι πιο διαδεδομένες πινακίδες καταγραφής είναι από Plexiglas και μπορεί κανείς να τις βρει σε διαφορετικά μεγέθη. Συχνότερα, χρησιμοποιούνται διαστάσεις 30x40 cm², ώστε να προσαρμόζεται πάνω τους μέγεθος χαρτιού A4, αλλά υπάρχουν όμως και μικρές πινακίδες Plexiglas που προσαρμόζονται στο χέρι του δύτη και είναι εξίσου λειτουργικές ως προς την οποιαδήποτε καταγραφή. Το χαρτί που χρησιμοποιείται είναι αδιάσταλο, δεν αλλοιώνεται, δεν σκίζεται και ο δύτης

μπορεί να γράψει πάνω σε αυτό με ένα απλό μολύβι. Το αδιάσταλο χαρτί προσαρμόζεται εύκολα και σταθερά πάνω στην πινακίδα με μια ισχυρή κολλητική ταινία. Το αδιάσταλο είναι εξαιρετικά χρήσιμο και λειτουργικό υλικό, ταυτόχρονα όμως είναι και δαπανηρό και βρίσκεται σε εξειδικευμένα καταστήματα.

2.3.2 Γωνιομετρήσεις (μέθοδοι & όργανα)

Στις επίγειες αποτυπώσεις, το μέγεθος που προτιμάται να μετράται είναι οι γωνίες σε αντίθεση με τις υποβρύχιες αποτυπώσεις, όπου προτιμούνται κατεξοχήν οι μετρήσεις μηκών. Είναι λογικό οι μέθοδοι προσδιορισμού γωνιών που εφαρμόζονται στη στεριά να μην μπορούν να εφαρμοστούν υποβρυχίως, λόγω του ότι τα σύγχρονα όργανα δεν «βυθίζονται», συν το γεγονός ότι πολλές φορές η ορατότητα είναι τόσο κακή που δυσχεραίνει οποιαδήποτε απόπειρα μέτρησης κάποιας γωνίας.

Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις, όπου η αποτύπωση δεν μπορεί να ολοκληρωθεί αποκλειστικά με μετρήσεις αποστάσεων και ο προσδιορισμός γωνιών κρίνεται απαραίτητος. Σ' αυτές τις περιπτώσεις το συνεργείο καταφεύγει στη χρήση μιας υποβρύχιας πυξίδας. Έτσι, η πυξίδα τοποθετείται πάνω σε κάποιο τρίποδα ο οποίος κεντρώνεται πάνω από το σημείο αναφοράς από το οποίο προσδιορίζονται οι γωνίες. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μια μαγνητική πυξίδα μπορεί πολύ εύκολα να επηρεαστεί από τον καταδυτικό εξοπλισμό, δίνοντας λάθος τιμές για τα μετρημένα μεγέθη.

Μια άλλη λύση είναι το κλασικό γωνιόμετρο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν οριζόντιο αριθμημένο κύκλο και μια σκοπευτική διάταξη. Με τη βοήθεια της διάταξης σκοπεύεται ένα σημείο και προσδιορίζεται η γωνία του ως προς κάποιο σημείο αναφοράς. Στον οριζόντιο κύκλο φαίνεται η τιμή της γωνίας η οποία και καταγράφεται. Το μειονέκτημα του οργάνου αυτού είναι ότι δεν μπορούν να προσδιοριστούν κατακόρυφες γωνίες.

Για ιστορικούς λόγους κυρίως, γιατί δεν χρησιμοποιούνται πλέον τέτοιες μέθοδοι προσδιορισμού γωνιών, αξίζει να αναφερθεί και η κατασκευή ενός υποβρύχιου θεοδόλιχου από τους Farrington και Wharton. Πρόκειται για ένα απλό θεοδόλιχο απόδοσης 20'' με διαφοροποιημένο σκόπευτρο. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται με την οπτική του τηλεσκοπίου. Για τη στερέωσή του χρησιμοποιείται ένας απλός ξύλινος τρίποδας και για την κέντρωση χρησιμοποιείται λιναίη. Η κατασκευή είναι σχεδιασμένη από αλουμίνιο, υλικό που αντέχει στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό. Η οριζοντίωση του οργάνου γίνεται με αεροστάθμες που είναι προσαρμοσμένες πάνω στο όργανο.

Θα μπορούσε να γίνει εκτενέστερη αναφορά στις γωνιομετρήσεις. Ωστόσο, οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν δεν βρίσκουν σημαντική εφαρμογή σήμερα, αν εξαιρέσει κανείς την πυξίδα, που πάντα είναι χρήσιμη· μπορεί να μην δίνει μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση μιας γωνίας, είναι όμως ένα εύχρηστο και απλό όργανο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάποιου είδους έλεγχο. Στις εφαρμογές που ακολουθούν δεν γίνεται αναφορά σε γωνιομετρήσεις, αφού οι μόνες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν μετρήσεις μηκών.

2.3.3 Υψομετρία

Στις υποβρύχιες αποτυπώσεις η υψομετρία αναφέρεται σε υψομετρικές διαφορές μεταξύ σημείων του βυθού ή σε υψόμετρα σημείων σε σχέση με μία επιφάνεια αναφοράς που χρησιμοποιείται ως αρχή. Αυτή η επιφάνεια αναφοράς ορίζεται αυθαίρετα στο τοπικό σύστημα, αλλά αν απαιτείται από τους στόχους της εργασίας, μπορεί να εξαρτηθεί από τη μέση στάθμη της θάλασσας, όπως γίνεται και με την επίγεια υψομετρία.

Στις περισσότερες εργασίες (τεχνικά και λιμενικά έργα) είναι απαραίτητη η αναγωγή των μετρήσεων στο datum της κατώτατης ρηχίας, δηλαδή στο επίπεδο κάτω από το οποίο το νερό πολύ σπάνια μπορεί να φτάσει. Η δημιουργία ενός datum κατώτατης ρηχίας προϋποθέτει την παρατήρηση και καταγραφή του φαινομένου της παλίρροιας στον τόπο εργασίας για αρκετό χρόνο. Τόσο ο προσδιορισμός της μέσης στάθμης της θάλασσας, όσο και του datum κατώτατης ρηχίας γίνεται με παλιρροιόμετρα ή παλιρροιογράφους.

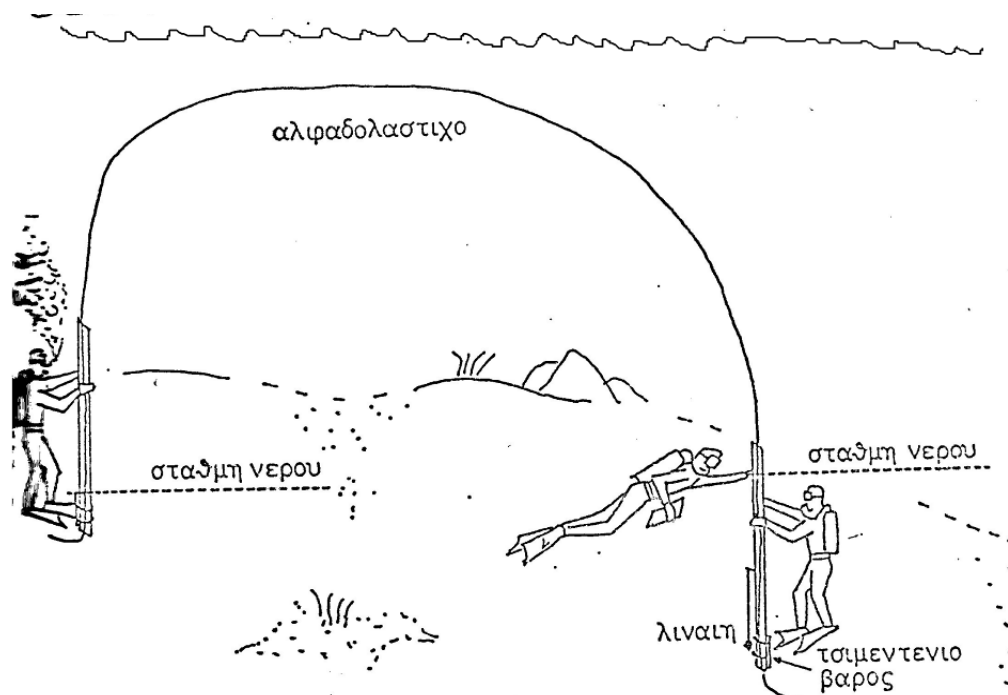
2.3.3.1 Υδραυλική χωροστάθμηση

Η υδραυλική χωροστάθμηση είναι άμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών και βασίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων (Εικ.2.6). Η μετρητική διάταξη συνίσταται από δύο σταδίες και ένα διαφανές αλφαδολάστιχο διαμέτρου 1.5 έως 3 cm και μήκους ανάλογο με τις αποστάσεις των σημείων που θα χωροσταθμηθούν. Οι άκρες του αλφαδολάστιχου στερεώνονται από την πλευρά των ενδείξεων σε όλο το μήκος των σταδίων. Το όλο αυτό σύστημα βυθίζεται στο νερό. Το λίγο νερό που μπαίνει στο αλφαδολάστιχο εγκλωβίζει τον ατμοσφαιρικό αέρα που ήδη υπάρχει μέσα.

Οι σταδίες τοποθετούνται στα σημεία των οποίων μετριέται η υψομετρική διαφορά και κατακορυφώνονται. Το σύστημα αφήνεται να ισορροπήσει ελέγχοντας ότι δεν διακόπτεται η συνέχεια του αέρα μέσα στο αλφαδολάστιχο. Σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων οι διαχωριστικές γραμμές νερού – αέρα στα δύο άκρα του αλφαδολάστιχου θα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Έτσι, διαβάζοντας τις αναγνώσεις της διαχωριστικής αυτής γραμμής πάνω στις δύο σταδίες και αφαιρώντας τις, βρίσκεται η υψομετρική διαφορά των δύο σημείων.

Η μέθοδος της υδραυλικής χωροστάθμησης απαιτεί τρεις ή τέσσερις δύτες. Οι δύο δύτες φροντίζουν αποκλειστικά τις σταδίες προσπαθώντας να τις κρατήσουν κατακόρυφες. Οι άλλοι δύο διαβάζουν τις ενδείξεις πάνω στις σταδίες.

Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από τις χρησιμοποιούμενες σταδίες καθώς και από την κατάσταση της θάλασσας. Σημαντικός παράγοντας για ακριβείς μετρήσεις είναι η κατακορυφότητα της σταδίας. Σε μια χωροσταθμική όδευση η ακρίβεια είναι συνάρτηση του μήκους της χωροσταθμικής όδευσης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ αρχικού και τελικού σημείου.



Εικ.2.6: Υδραυλική Χωροστάθμηση

Οι ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν στο βυθό συμβάλλουν σημαντικά στη δημιουργία σφαλμάτων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σταθερότητα τοποθέτησης της σταδίας, ιδίως σε αμμώδη βυθό, ώστε να μην παρατηρείται υποχώρηση του εδάφους. Εξάλλου κατά τη διαδικασία της μέτρησης, παρατηρείται ότι η στάθμη αέρα δεν ισορροπεί εντελώς, αλλά ταλαντώνεται με διαφορετικό εύρος γύρω από μία κεντρική θέση. Η ταλάντωση αυτή οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, που μπορούν να δρουν όλοι μαζί ή μεμονωμένα. Τα υποθαλάσσια ρεύματα ή ο κυματισμός στα ρηχά, που δυσκολεύουν το δύτε να κρατηθεί εντελώς ακίνητος, συμβάλλουν στη μη σταθεροποίηση της σταδίας σε κατακόρυφη θέση και έχουν ως επακόλουθο την ταλάντωση της στάθμης.

Ο κυριότερος όμως παράγοντας ταλάντωσης της στάθμης είναι το επιφανειακό κύμα, το οποίο παρουσιάζει κορυφές και κοίλα, με επακόλουθο την αυξομείωση του ύψους της στήλης του νερού, που βρίσκεται κάθε στιγμή πάνω από το σημείο μέτρησης. Αυτό συνεπάγεται τη μικρή αυξομείωση της υδροστατικής πίεσης στο συγκεκριμένο σημείο στο βυθό και επομένως την αυξομείωση της ποσότητας του νερού που μπαίνει στο αλφαδολάστιχο. Το φαινόμενο αυτό είναι έντονο στα ρηχά όπου μικρές αλλαγές στην υδροστατική πίεση.

Η κίνηση των μορίων του νερού κατά τον κυματισμό διαγράφει μια περίπου κυκλική τροχιά. Η διάμετρος της διαγραφόμενης τροχιάς είναι μέγιστη στην επιφάνεια της θάλασσας, ελαττώνεται όσο αυξάνει το βάθος, ανάλογα με το μήκος κύματος. Επομένως, η επίδραση του κύματος, είναι μεγαλύτερη στα ρηχά νερά, ενώ μειώνεται σε μεγαλύτερα βάθη και η επίδραση της στιγμιαίας έξαρσης, όσον αφορά την υδροστατική πίεση, μειώνεται αναλογικά όσο αυξάνεται η απόσταση από το αίτιο. Λόγω της ταλάντωσης της στάθμης νερού – αέρα δυσκολεύεται ο εντοπισμός της θέσης ισορροπίας. Σε αυτήν την περίπτωση σημειώνονται οι ακραίες ενδείξεις για ορισμένο αριθμό ταλαντώσεων, ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια και υπολογίζεται ο μέσος όρος των ενδείξεων. Οι μετρήσεις στις δύο σταδίες δεν είναι απαραίτητο να παίρνονται ταυτόχρονα, αλλά δεν πρέπει να απέχουν πολύ χρονικά η μία από την άλλη, αφού μετά από μία ακολουθία κυμάτων ίσων περίπου ως προς το ύψος, ακολουθεί κάποιο μεγαλύτερο.

Όσον αφορά το εύρος της ταλάντωσης της στάθμης νερού – αέρα υπάρχει κι άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κι αυτός είναι η διάμετρος του αλφαδολάστιχου. Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο η στήλη του νερού μέσα στο αλφαδολάστιχο γίνεται πιο αδρανής και ως προς τις μικροκινήσεις της σταδίας και ως προς τη μεταβολή της υδροστατικής πίεσης λόγω ύψους κύματος. Μεγάλη όμως αύξηση της διαμέτρου του αλφαδολάστιχου το καθιστά δύσχρηστο, λόγω της ακαμψίας και της μεγαλύτερης άνωσης που συνεπάγεται. Σε κάθε περίπτωση καθορίζονται οι καταλληλότερες διαστάσεις, διάμετρος και μήκος, ανάλογα με τις συνθήκες.

2.3.3.2 Υποβρύχια γεωμετρική χωροστάθμηση

Η αρχή της υποβρύχιας γεωμετρικής χωροστάθμησης είναι ίδια με εκείνη των επίγειων μετρήσεων. Χρησιμοποιούνται κοινές σταδίες που για να γίνει δυνατόν να σταθούν κατακόρυφα στον πυθμένα, στο κάτω άκρο τους προσαρμόζεται πρόσθετο βάρος μερικών κιλών. Οι σταδίες κατακορυφώνονται με γωνιακές αεροστάθμες.

Το όργανο που χρησιμοποιείται για την υποβρύχια γεωμετρική χωροστάθμηση μπορεί να είναι ένα απλό τηλεσκόπιο που να έχει τη δυνατότητα να οριζοντιώνεται και να στρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε ο οπτικός του άξονας να υλοποιεί ένα οριζόντιο επίπεδο. Ένα τέτοιο όργανο θα πρέπει να είναι από μπρούτζο ή αλουμίνιο ώστε να μη διαβρώνεται από το θαλασσινό νερό. Αντί για τηλεσκόπιο με μεγεθυντικούς φακούς, το οποίο με τη διάθλαση θα αλλοίωνε τις μετρήσεις, χρησιμοποιείται ένας σωλήνας ανοιχτός και από τα δύο άκρα του. Ο

σκοπευτικός άξονας υλοποιείται από μια οπή μικρής διαμέτρου στο προσοφθάλμιο σύστημα και έχει ένα σταυρόνημα από λεπτό νήμα στο άλλο άκρο. Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γίνεται με μια σφαιρική αεροστάθμη.

Επειδή η ορατότητα είναι μικρή, η τοποθέτηση της σταδίας γίνεται περίπου ένα μέτρο μακριά από το όργανο. Με αυτόν τον τρόπο είναι απαραίτητο να γίνει χωροσταθμική όδευση όταν τα σημεία απέχουν μεταξύ τους μεγάλες αποστάσεις. Το συνεργείο σε μια τέτοια εργασία αποτελείται από τρεις δύτες, τον παρατηρητή και τους δύο σταδιοφόρους.

Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από το μήκος της χωροσταθμικής όδευσης. Η μειωμένη ορατότητα αυξάνει την αβεβαιότητα των μετρήσεων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θα πρέπει τόσο ο παρατηρητής όσο και οι σταδιοφόροι να παραμένουν ακίνητοι, κάτι αρκετά δύσκολο υποβρύχια, κυρίως όταν υπάρχουν ρεύματα. Γι αυτό πρέπει να τοποθετούνται πρόσθετα βάρη που καθιστούν όμως δυσκολότερη τη μετακίνηση των δυτών. Σε αμμώδεις βυθούς μάλιστα μπορούν να προκύψουν και πρόσθετα σφάλματα λόγω υποχώρησης του εδάφους.

2.3.3.3 Διαφορικό βαθύμετρο

Μια έμμεση μέθοδος μέτρησης υψομετρικών διαφορών είναι αυτή που χρησιμοποιεί το διαφορικό βαθύμετρο. Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς της υδροστατικής πίεσης μεταξύ δύο σημείων. Το όργανο που χρησιμοποιείται είναι ένα κλασικό μεταλλικό πιεσόμετρο. Το μεταλλικό πιεσόμετρο είναι όργανο που μετρά την πίεση των αερίων ή των υγρών σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση. Ένα τέτοιο πιεσόμετρο (πιεσόμετρο Bourdon), αποτελείται από ένα καμπύλο μεταλλικό σωλήνα, του οποίου το ένα άκρο είναι στερεωμένο ενώ το άλλο καταλήγει σε σύστημα μοχλών και οδοντωτών τροχών, που κινεί μια βελόνα πάνω σε ένα βαθμονομημένο κυκλικό δίσκο.

Αν αυτό το πιεσόμετρο κλειστεί σε μια στεγανή θήκη και προστεθούν δύο σωλήνες που ο ένας να καταλήγει σε ένα θάλαμο αναφοράς που να μπορεί να αντιληφθεί τη μεταβολή της πίεσης του περιβάλλοντος (π.χ. πουάρ) και ο άλλος συνδεθεί με το πιεσόμετρο, δημιουργείται ένας απλός τύπος διαφορικού βαθύμετρου.

Η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη. Δεν απαιτεί σταδίες και δύσκολες κατακορυφώσεις και χρειάζονται μόνο δύο δύτες. Η επιλογή του οργάνου εξαρτάται από την επιζητούμενη ακρίβεια. Ένα πιεσόμετρο με δυνατότητα μέτρησης μεγάλης πίεσης δεν είναι δυνατόν να αντιληφθεί μικρές μεταβολές της πίεσης. Η αύξηση της διαμέτρου του κύκλου ανάγνωσης των ενδείξεων αυξάνει την ακρίβεια.

2.4 Ίδρυση Σημείων Αναφοράς

Όπως και στην επίγεια τοπογραφία, έτσι και στην υποβρύχια, θα πρέπει πριν από τη λήψη των σημείων αποτύπωσης να έχει ιδρυθεί, μετρηθεί και επιλυθεί ένα σύστημα βασικών σημείων πάνω στα οποία θα βασιστεί η αποτύπωση. Στην ξηρά το ρόλο αυτό παίζουν οι κορυφές της όδευσης της οποίας τα στοιχεία (γωνίες, αποστάσεις,

υψομετρικές διαφορές) μετρώνται εύκολα και με ακρίβεια με τη βοήθεια των τοπογραφικών οργάνων. Τα ίδια αυτά στοιχεία προσδιορίζονται και στις υποβρύχιες αποτυπώσεις, με τη διαφορά όμως ότι οι μεθοδολογίες και τα όργανα που χρησιμοποιούνται, όπως επίσης η έκταση και η ακρίβεια των μεγεθών που μετρώνται, διαφοροποιούνται σημαντικά από τα αντίστοιχα στην ξηρά. Αφενός η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι μικρότερη και αφετέρου η ίδια η μέτρηση εκτείνεται σε πολύ πιο περιορισμένο πεδίο απ'ό,τι στην ξηρά.

Με δεδομένες λοιπόν τις μεθοδολογίες, τους περιορισμούς που αυτές επιβάλλουν, τις ακρίβειες που αυτές δίνουν αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν στο υποβρύχιο περιβάλλον, βρίσκεται κάθε φορά ο βέλτιστος τρόπος για το πώς θα επιλεχθούν και πώς θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν.

Στο βυθό, όπως έχει προαναφερθεί, οι πλευρομετρήσεις δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια απ'ό,τι οι γωνιομετρήσεις. Έτσι, για να οριστεί ένα δίκτυο με σχετικά καλή ακρίβεια, προτιμούνται κυρίως οι μετρήσεις μηκών. Από τη στιγμή που μετρώνται περισσότερα μήκη από τα αναγκαία για να ορίσουν ένα σχήμα στο επίπεδο, τότε υπάρχει η δυνατότητα της συνόρθωσης. Η έννοια του δικτύου και η σκοπιμότητά του, διαφέρουν από τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται στην ξηρά. Στην προκειμένη περίπτωση οι κορυφές του δικτύου παίζουν το ρόλο της όδευσης και η επίλυσή του αποβλέπει στο να επιτύχει την ακρίβεια μιας συνηθισμένης επίγειας όδευσης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό στις υποβρύχιες αποτυπώσεις είναι η δυσκολία προσέγγισης του προς μελέτη αντικειμένου. Κάθε επίσκεψη στο χώρο των μετρήσεων έχει σημαντικό κόστος και προϋποθέτει μια ολοκληρωμένη επιχείρηση προετοιμασίας και οργάνωσης του συνεργείου και φυσικά πολύ περιορισμένο και αυστηρό χρονικό διάστημα παραμονής στο χώρο αυτό. Γι αυτό το λόγο ο καθορισμός των μεταβλητών που περιλαμβάνει η έννοια του δικτύου είναι πολύ σημαντικός και θα πρέπει να προκαθοριστεί το σχήμα του δικτύου, ο αριθμός των κορυφών του καθώς και οι πλευρές που θα μετρηθούν. Ο προγραμματισμός αυτός γίνεται αμέσως μετά την αναγνώριση της περιοχής, τη σύνταξη σκαριφήματος ή ακόμα καλύτερα και την παραγωγή ενός, πρόχειρου έστω, φωτομωσαϊκού που σίγουρα αποτελεί βοηθητικό στοιχείο.

Παράλληλα, η δυσκολία επαναπροσέγγισης της περιοχής καθιστά απαραίτητο τον έλεγχο των αποτελεσμάτων όσο διαρκούν οι εργασίες, γι αυτό θα πρέπει να συγκαταλέγεται στον εξοπλισμό του συνεργείου και η απαραίτητη για την επίλυση του δικτύου υπολογιστική υποδομή. Το πλήθος των κορυφών και το σχήμα του δικτύου υπαγορεύονται από το αντικείμενο και τη μορφολογία της περιοχής των μετρήσεων. Το πλήθος και η επιλογή των μηκών που θα μετρηθούν εξαρτώνται από το σχήμα του δικτύου, την απαιτούμενη ακρίβεια καθώς και από τις συνθήκες που επικρατούν.

Ο περιορισμός του μήκους που μπορεί να μετρηθεί αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα κατά την ίδρυση ενός δικτύου. Είναι αυτονόητο ότι μεταξύ διαδοχικών κορυφών θα πρέπει να υπάρχει ορατότητα. Αλλιώς απαιτείται πύκνωση των

κορυφών. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις, για παράδειγμα, όπου η ίδρυση και μέτρηση ενός πλευρομετρικού δικτύου είναι ασύμφορη. Τέτοιες περιπτώσεις είναι όταν το προς αποτύπωση αντικείμενο είναι κάποιος βυθισμένος λιμενοβραχίονας ή αγωγός, ένα ναυάγιο με πολλές υψομετρικές διαφορές, όπως με διάσπαρτους αμφορείς και συχνά με βράχια να μεσολαβούν ή ακόμη κι αν η κλίση του βυθού είναι πάρα πολύ απότομη. Η μέτρηση μεγάλων διαγωνίων όπου απαιτούνται πυκνώσεις καθώς και ο μεγάλος αριθμός των πλευρομετρήσεων συνεπάγονται την αποκλειστική απασχόληση για κάποιο χρόνο του συνεργείου με αυτές, χωρίς να είναι δυνατό να γίνουν ταυτόχρονα άλλες εργασίες. Στο πλαίσιο, για παράδειγμα, μιας αρχαιολογικής έρευνας παράλληλα με την οποία πραγματοποιείται αποτύπωση, είναι πολύ στενά τα χρονικά περιθώρια και ο αριθμός των καταδύσεων για τη διεξαγωγή των μετρήσεων είναι πολύ περιορισμένος.

Τέλος, η συνόρθωση του δικτύου, γίνεται με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων, η οποία έχει το προτέρημα να δίνει κατευθείαν τις συντεταγμένες των άγνωστων κορυφών και τις μεταβλητότητές τους. Η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται, όπως είναι γνωστό, από την ποιότητα των μετρήσεων, το πλήθος τους καθώς και το σχήμα του δικτύου.

Μια πιο απλή μέθοδος από το δίκτυο, που παρόλα αυτά εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα των μετρήσεων να γίνονται πιο εύκολα και με ακρίβεια, είναι η ίδρυση κορυφών με απλές πλευροτομίες ξεκινώντας από κάποια σταθερή κεντρική βάση ή τρίγωνο αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο απαιτούνται πολύ λιγότερες πλευρομετρήσεις, ίσως μόνο οι απαραίτητες για να ορίσουν το σχήμα στο επίπεδο και εξοικονομείται αρκετός χρόνος, χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ιδίως όταν μετρώνται μικρές αποστάσεις. Εξάλλου, όσο πιο πολύ απομακρύνονται οι μετρήσεις από τις κορυφές που θεωρούνται σταθερές, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση από τη μετάδοση του σφάλματος των μετρήσεων στις προσδιοριζόμενες κορυφές. Ακόμα, οι πλευρές θα πρέπει να τέμνονται όσο το δυνατό κάθετα μεταξύ τους. Οι μετρήσεις γίνονται κι εδώ με πλαστική μετροταινία σε μετάβαση και επιστροφή και ο τρόπος επίλυσης συναντάται ως «πλευρομετρική αλληλοτομία» ή εμπροσθοτομία με πλευρομετρήσεις. Η εν λόγω μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε αποτυπώσεις μικρών επίπεδων υποβρύχιων εκτάσεων, στη δημιουργία βοηθητικών κορυφών σε κάποια όδευση, στη σύνδεση γεωμετρικών σχημάτων καθώς και στις περιπτώσεις όπου και η αποτύπωση γίνεται με την ίδια μέθοδο.

2.5 Εξάρτηση από το Κρατικό Σύστημα

Τις περισσότερες φορές η μέτρηση και επίλυση του δικτύου σε ένα τοπικό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς καλύπτει τις ανάγκες της αποτύπωσης. Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση να χρειαστεί να ενταχθεί η προς αποτύπωση περιοχή σε ένα ενιαίο δίκτυο συντεταγμένων ώστε να γίνει δυνατή η σύνδεσή της με μια παρακείμενη ή με μία άλλη περιοχή στη στεριά, όπως για παράδειγμα η συνέχιση ενός οικισμού από την ξηρά στη θάλασσα. Σ' αυτήν την περίπτωση η ένταξη του δικτύου γίνεται στο Κρατικό Δίκτυο Συντεταγμένων.

Για να εξαρτηθεί ένα σύνολο σημείων, είτε όδευση είτε πολυγωνικό δίκτυο πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες στο Κρατικό Δίκτυο σε δύο τουλάχιστον κορυφές ή σε μία με ταυτόχρονο προσδιορισμό του αζιμουθίου μιας πλευράς. Η κατευθείαν μέτρηση του αζιμουθίου μιας πλευράς είναι πολύ δύσκολη κάτω από το νερό. Ο μόνος τρόπος που θα μπορούσε να γίνει αυτό είναι να μετρηθεί το μαγνητικό αζιμουθίο με κάποια στεγανοποιημένη πυξίδα, όμως και πάλι η ακρίβεια προσδιορισμού του αζιμουθίου θα ήταν μικρή. Αιτία γι αυτό είναι παράγοντες όπως η μειωμένη ορατότητα κάτω από το νερό που κάνει αδύνατη τη σκόπευση μεγάλης απόστασης, η αδυναμία χρήσης πυξίδας ακριβείας καθώς και το γεγονός ότι τα μεταλλικά αντικείμενα που έχει στον εξοπλισμό του ο δύτες (ρυθμιστής, μαχαίρι κλπ) μπορούν να επηρεάζουν τη μαγνητική βελόνα.

Έτσι, είναι πάντα προτιμότερο ο προσδιορισμός των συντεταγμένων σε δύο σημεία του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με αναβιβασμούς σημείων από το βυθό, είτε με καταβιβασμούς σημείων από την επιφάνεια της θάλασσας στο βυθό. Στην πρώτη περίπτωση κατάλληλος στόχος αναβιβάζεται από την κορυφή προς εξάρτηση στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τυχαίο σημείο στην επιφάνεια της θάλασσας που υλοποιείται με στόχο που επιπλέει καταβιβάζεται με λιναίη στο βυθό και από εκεί συνδέεται με το υποβρύχιο δίκτυο. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη δεύτερη περίπτωση οι καταβιβασμοί δεν γίνονται σε ήδη υπάρχουσα κορυφή διότι πρακτικοί λόγοι κάνουν πολύ δύσκολη και χρονοβόρα την κατακόρυφη σύμπτωση του στόχου σε αυτήν. Γι αυτό αν πρόκειται να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος σε υποβρύχιες αποτυπώσεις καλό είναι να ιδρύονται πρώτα αυτές οι κορυφές μετά από καταβιβασμό τους και στην επιφάνεια να συνδέονται με το υπόλοιπο δίκτυο για οικονομία χώρου (αποφυγή δημιουργίας και μέτρησης επιπλέον κορυφών).

Και στις δύο περιπτώσεις κάποιο σημείο που υλοποιείται με στόχο που εξέρχεται από την επιφάνεια της θάλασσας σκοπεύεται από την ξηρά. Το σημείο εντοπίζεται από εμπροσθοτομίες με αμοιβαίες ταυτόχρονες σκοπεύσεις. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη δύο τριγωνομετρικών στην ακτή κοντά στην περιοχή που διεξάγονται οι υποβρύχιες εργασίες. Κριτήρια για την τοποθέτησή τους είναι η καλή ορατότητα και η γεωμετρική αξιοπιστία των εμπροσθοτομιών.

2.5.1 Βασικές συνθήκες

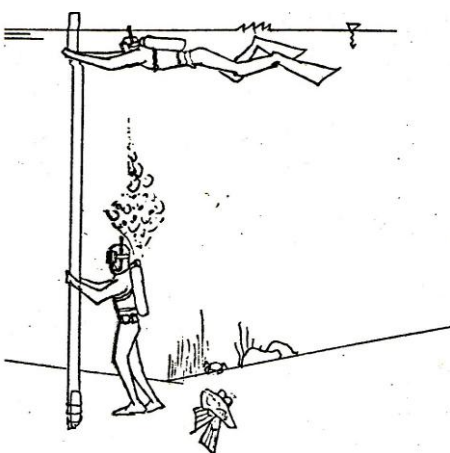
Η βασική συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται στις εξαρτήσεις σημείων είναι το σκοπευόμενο σημείο και το σημείο στο βυθό να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο. Για να επιτευχθεί αυτό με τη μεγαλύτερη δυνατή προσέγγιση πρέπει να εξαλειφθεί η επίδραση πολλών παραγόντων. Τέτοιοι παράγοντες είναι το υποθαλάσσιο ρεύμα, το επιφανειακό ρεύμα, τα κύματα και ο άνεμος. Η λιναίη καταβίβασμού ή ο στυλός αναβίβασμού παρασύρονται προς μια κατεύθυνση, όχι απαραίτητα σταθερή. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται και η επιλογή της μεθοδολογίας θα πρέπει να αποβλέπουν στην ελαχιστοποίηση των παραγόντων αυτών.

2.5.2 Απαιτήσεις ακρίβειας προσδιορισμού

Οι απαιτήσεις ακρίβειας, που εξαρτώνται από το είδος της εργασίας το αντικείμενο και τις συνθήκες που επικρατούν, καθορίζουν την α-ρτιογί ακρίβεια στον προσδιορισμό των συντεταγμένων κρατικού δικτύου των κορυφών που θα εξαρτηθούν. Μια ακρίβεια της τάξης των ± 10 cm μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική στις συνηθισμένες περιπτώσεις υποβρυχίων αποτυπώσεων. Πραγματικά μια τέτοια αβεβαιότητα στις θέσεις δύο κορυφών για μια πλευρά μήκους 50 μέτρων δημιουργεί μια αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του αζιμουθίου περίπου 0.25 grad ενώ η θέση της θεωρούμενης ως σταθερής κορυφής θα έχει προφανώς την ακρίβεια προσδιορισμού της. Επειδή στον προσδιορισμό των σχετικών θέσεων των κορυφών η ακρίβεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη, είναι φανερό ότι μία επίλυση του δικτύου κρατώντας σταθερές τις δύο ή περισσότερες εξαρτημένες κορυφές το παραμορφώνει, γι αυτό και προτιμάται να γίνει η εξάρτηση, κρατώντας σταθερή τη μία κορυφή και το αζιμούθιο. Σε άλλες περιπτώσεις υποβρυχίων αποτυπώσεων όπου δεν έχει ιδρυθεί ένα κλειστό σχήμα (όδευση ή δίκτυο), δηλαδή υπάρχει μια επιμήκης ανοιχτή όδευση, αυτή θα επιλυθεί θεωρώντας τις δύο εξαρτημένες ακραίες κορυφές σαν σταθερές.

2.5.3 Μέθοδοι αναβίβασμού σημείων (μικρά & μεγάλα βάθη)

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον αναβίβασμό κάποιου σημείου στην επιφάνεια της θάλασσας ποικίλλουν ανάλογα με το βάθος τη θάλασσας.



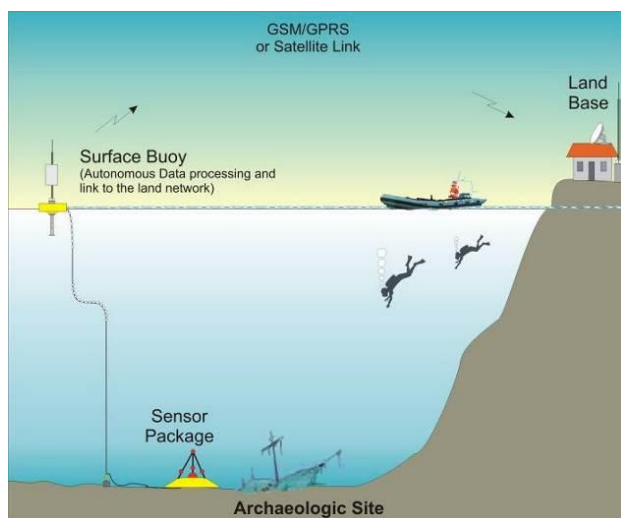
Εικ.2.7: Αναβίβασμός σημείου

είναι επίσης επιφορτισμένος με τις συνεννοήσεις με το συνεργείο στην ξηρά και

Για μικρά βάθη μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο ακόντιο ή στυλός ή ακόμα και σταδία (Εικ.2.7). Αυτά κατακορυφώνονται πάντα με τη βοήθεια μιας γωνιακής αεροστάθμης. Η δυσκολία βρίσκεται στο να μπορέσουν να κρατηθούν ακίνητα και κατακόρυφα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Έτσι, εκτός της δυνατότητας να τοποθετηθούν σε κάποιο βαρύ τρίποδα, χρειάζονται οπωσδήποτε και δύο δύτες για να τα στηρίζουν. Ο ένας στο βυθό κρατώντας και την αεροστάθμη και ο δεύτερος στην επιφάνεια της θάλασσας. Ο δεύτερος δύτες

όποτε είναι απαραίτητο καταδύεται για να βοηθήσει τον πρώτο. Στην κορυφή του ακοντίου τοποθετείται στόχος έτσι ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη σκόπευση από την ξηρά. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί και κατάφωτο για την ταυτόχρονη λήψη των αποστάσεων, κάτι που θα βελτιώνει και την ταχύτητα των μετρήσεων και την ακρίβειά τους. Όπως είναι λογικό η μέθοδος αναβιβασμού απαιτεί μικρά βάθη.

Για μεγαλύτερα βάθη θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί πλωτός στόχος (Εικ.2.8) που συνδέεται με την προς αναβιβασμό κορυφή με κάποιο νήμα. Είναι προφανές ότι μια τέτοια κατασκευή επηρεάζεται πολύ εύκολα από τον κυματισμό και τα θαλάσσια ρεύματα, ενώ είναι πιο δύσκολος ο έλεγχος της κατακορυφότητάς τους. Η επίδραση του κυματισμού μπορεί να μειωθεί αν ο στόχος δεν επιπλέει, αλλά βρίσκεται λίγο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικ.2.8: Αναβιβασμός σημείου με πλωτό στόχο

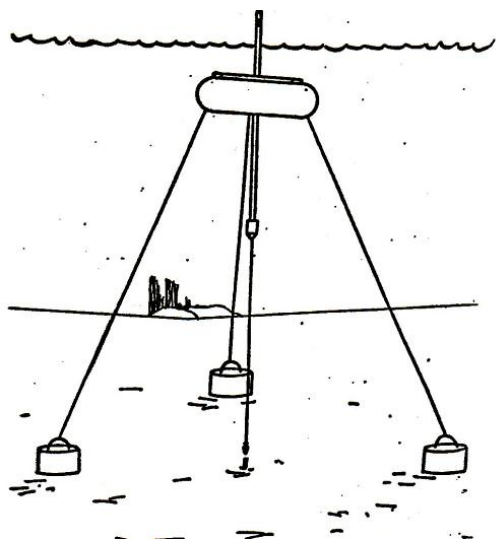
Η επίδραση των ρευμάτων δεν είναι δυνατό να εξαλειφθεί τελείως, είναι όμως δυνατό να περιοριστεί, γιατί όσο αυξάνεται η άνωση και όσο μειώνεται η επιφάνεια του πλωτήρα, τόσο λιγότερο επηρεάζεται από το ρεύμα. Επίσης, το νήμα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά λεπτό.

Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της εκτροπής από την κατακόρυφο. Για το λόγο αυτό προσδένεται στο στόχο μια λιναίη με βαρίδι. Έτσι έχουμε κάθε στιγμή το μέγεθος της εκτροπής. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να διακοπούν οι παρατηρήσεις όταν η εκτροπή υπερβεί κάποιο προκαθορισμένο όριο.

2.5.4 Μέθοδοι καταβιβασμού σημείων

Οι καταβιβασμοί σημείων είναι γνωστές μέθοδοι ήδη από την επίγεια γεωδαισία καθώς χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδέσεις ορυχείων, πηγαδιών κλπ. Στην υποβρύχια τοπογραφία μπορούν να εφαρμοστούν σε βάθη μεγαλύτερα απ' ό,τι οι άλλες μέθοδοι. Το στοιχείο, όμως, εκείνο που διαφοροποιεί τους καταβιβασμούς στη θάλασσα από εκείνους στην ξηρά είναι ότι στην επιφάνεια της θάλασσας δεν υπάρχουν σταθερά σημεία στα οποία θα προσδεθεί το νήμα καταβιβασμού. Έτσι, θα πρέπει καταρχάς να υλοποιηθεί ένα τέτοιο ακλόνητο σημείο και στη συνέχεια να γίνει ο καταβιβασμός του.

Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί αν δεθεί ένα αντικείμενο με ισχυρή άνωση από τρία σταθερά σημεία στο βυθό, είτε από τσιμεντένια μπλοκ ή ακόμα και από βράχους, με σχοινιά έτσι ώστε να διατηρείται λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Από αυτό το σημείο καταβιβάζεται με λεπτό νήμα μια λιναίη με μεγάλο βάρος ενώ κατακόρυφα από πάνω αναρτάται κάποιος στόχος.



Εικ.2.9: Μηχανισμός Cardan

Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα Cardan (Εικ.2.9), επιτυγχάνεται η κατακορυφότητα του στόχου παρά τις κάποιες αναταράξεις του λόγω του κυματισμού της θάλασσας. Ο στόχος αποτελείται από μεταλλική ράβδο με βάρος κάτω από τον άξονα στήριξης, συνδεδεμένη με καρτανικό μηχανισμό κατασκευασμένο από μεταλλικούς κυλίνδρους έτσι ώστε η ράβδος να παραμένει κατακόρυφη σε οποιαδήποτε θέση. Από τον εξωτερικό κύλινδρο ξεκινούν τρεις μεταλλικές ράβδοι που δένονται σε σαμπρέλα αυτοκινήτου η οποία παίζει το ρόλο του πλωτήρα. Ο μηχανισμός αυτός δένεται από τις άκρες

των ράβδων με σχοινιά σε τρεις βάσεις, κατά προτίμηση από τσιμέντο, στο βυθό έτσι ώστε να εξέχει από την επιφάνεια μόνο η ράβδος του στόχου, πάνω στην οποία έχουν σχεδιαστεί ευδιάκριτες λωρίδες σκόπευσης. Στο πάνω μέρος της ράβδου μπορεί επίσης να έχει προσαρμοστεί και κατάφωτο για τη λήψη αποστάσεων από κάποιο άλλο γνωστό σημείο αναφοράς. Μια λιναίη αρκετού βάρους καταβιβάζει το σημείο που υλοποιεί ο κατακόρυφος άξονας της ράβδου στο βυθό. Η όλη κατασκευή είναι αρκετά βαριά και σταθερή ώστε να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο από τον κυματισμό, το ρεύμα και τον άνεμο. Επίσης για όσο το δυνατό μεγαλύτερη σταθερότητα θα πρέπει η άνωση να είναι ισχυρή (πράγμα που εξαρτάται από το μέγεθος της σαμπρέλας) αρκεί φυσικά αυτή να μην παρασέρνει τα τρία βάρη στήριξης. Η συγκεκριμένη διάταξη επηρεάζεται από το ρεύμα, τον κυματισμό και τον άνεμο. Η επίδραση του ρεύματος είναι σχετικά μικρή, αφού επιδρά στο νήμα και στη λιναίη. Γι αυτό το λόγο το νήμα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό λεπτότερο.

Ένα πρόβλημα που είναι δύσκολο να εξαλειφθεί εντελώς είναι η ταλάντωση της λιναίης στο βυθό που δυσχεραίνει την εύρεση της ακριβούς θέσης του σημείου καταβιβασμού. Αυτή η ταλάντωση οφείλεται σε δύο λόγους: πρώτον στην ταλάντωση, λόγω κυματισμού, της ράβδου του στόχου που μεταδίδεται στη λιναίη και είναι πιο έντονη όσο μεγαλώνει η απόσταση του σημείου πρόσδεσης από τον άξονα του μηχανισμού και δεύτερον, στις αυξομειώσεις της έντασης του ρεύματος στο βυθό και στις αλλαγές της διεύθυνσής του. Η επίδραση αυτού του παράγοντα μειώνεται όσο πιο βαριά είναι η λιναίη αλλά δεν είναι δυνατό να εξαλειφθεί εντελώς.

2.5.5 Σύγκριση των μεθόδων

Οι συνθήκες σε συνάρτηση με το βάθος αποτελούν αναμφίβολα τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων στους αναβιβασμούς ή καταβιβασμούς σημείων. Στα ρηγά, μέχρι τα 4 μέτρα, και με ήρεμα νερά, όλες οι μέθοδοι δίνουν εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα. Υπερισχύουν οι αναβιβασμοί με λεπτούς στυλεούς που εκτός από την πολύ καλή ακρίβεια έχουν και το πλεονέκτημα της ευκολίας και του καλύτερου ελέγχου, γι' αυτό θα πρέπει να προτιμώνται. Οι σταδίες δεν δίνουν τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της μεγάλης τους επιφάνειας που τις κάνει να επηρεάζονται πολύ από τα ρεύματα, γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε πολύ ήρεμα νερά. Μια σωστή στήριξη μπορεί να κρατήσει έναν στυλεό πρακτικά ακίνητο με ελάχιστες μικροεκτροπές, γι' αυτό σε εξαρτήσεις με απαίτηση μεγαλύτερης ακρίβειας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τρίποδες για τη στήριξη του στυλεού. Επειδή γενικά οι εξαρτήσεις σε μικρά βάθη δίνουν καλύτερα αποτελέσματα θα πρέπει να επιλέγονται οι κορυφές προς εξάρτηση να είναι όσο το δυνατό στα ρηγά, ενώ συγχρόνως θα πρέπει να έχουν σχετικά μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Όσον αφορά τα μεγαλύτερα βάθη, η μέθοδος που χρησιμοποιείται κάθε φορά είναι ανάλογη των συνθηκών, των απαιτήσεων ακριβείας καθώς και του εξοπλισμού και του διατιθέμενου χρόνου. Οι αναβιβασμοί με πλωτούς στόχους έχουν το προτέρημα της μεγάλης οικονομίας σε χρόνο σε σχέση με τους καταβιβασμούς, αλλά και το μειονέκτημα της άμεσης εξάρτησης από τις συνθήκες. Οι καταβιβασμοί είναι η πιο πολύπλοκη και χρονοβόρα μέθοδος αλλά έχει και το πλεονέκτημα να μπορεί να εφαρμοστεί εκεί όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν άλλες μέθοδοι, χωρίς πολύ μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα των αποτελεσμάτων που δίνει.

Συνοψίζοντας, στις εξαρτήσεις υποβρυχίων κορυφών η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων τους είναι μικρότερη απ' ό τι στην ξηρά. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει το πρόσθετο σφάλμα λόγω μη κατακόρυφης ταύτισης στόχου – κορυφής, ενώ συγχρόνως δεν παραμένει σταθερή η θέση του στόχου σε σχέση με το χρόνο. Το μέγεθος αυτού του σφάλματος δεν είναι δυνατό να είναι πάντα γνωστό, ώστε να μπορεί εύκολα να απαλειφθεί, μπορεί ωστόσο με διάφορους τρόπους να μειωθεί.

Η ακρίβεια προσδιορισμού είναι συνάρτηση των συνθηκών, του βάθους και των διατάξεων που χρησιμοποιούνται, παράγοντες που σε συνδυασμό με το χρόνο και το βαθμό δυσκολίας της εφαρμογής, υποδεικνύουν τη μέθοδο που θα προτιμηθεί. Οι διατάξεις που μια ερευνητική ομάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει είναι πολλές. Ωστόσο, αυτό που σφραγίζει κάθε φορά την επιτυχία, είναι οι μικροί αυτοσχεδιασμοί που επινοούνται και λύνουν πολλά πρακτικά προβλήματα.

2.6 Αποτύπωση

Οι μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται υποβρύχια δεν διαφέρουν πολύ, όσον αφορά τις γενικές αρχές, από τις μεθόδους που εφαρμόζονται επίγεια. Τα στοιχεία, ωστόσο, που κάνουν τις υποβρύχιες αποτυπώσεις να διαφοροποιούνται σημαντικά

από τις επίγειες είναι οι συνθήκες που επικρατούν, τα όργανα που χρησιμοποιούνται, το πλήθος των μελών του συνεργείου καθώς και η ακρίβεια.

Η καταλληλότερη μέθοδος επιλέγεται ως συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως ο χρόνος, η έκταση και μορφολογία του εδάφους, τα υποθαλάσσια και τα επιφανειακά ρεύματα, η ορατότητα, τα διαθέσιμα όργανα, το κόστος που αυτά συνεπάγονται, το βάθος της κατάδυσης κ.ά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο διαδεδομένες τεχνικές αποτύπωσης, άλλες που εφαρμόζονταν κυρίως στο παρελθόν, άλλες διαχρονικές και άλλες που χρησιμοποιούν τα πιο σύγχρονα μέσα.

2.6.1 Αποτύπωση με αναβιβασμό σημείων

Η αποτύπωση με αναβιβασμό σημείων είναι ίσως ο πιο απλός τρόπος αποτύπωσης για μικρά βάθη και μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με χρήση πλήρους γεωδαιτικού σταθμού (μέθοδος ταχυμετρίας), είτε με εμπροσθοτομίες στο χώρο. Ο προσδιορισμός γίνεται τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά, ενώ με τον προσανατολισμό του θεοδόλιχου επιτυγχάνεται συγχρόνως και η ένταξη στο κρατικό δίκτυο.

Οι στάσεις του οργάνου επιλέγονται με βάση τη μορφολογία της παραλιακής ζώνης και την έκταση και τον προσανατολισμό της υποβρύχιας περιοχής προς αποτύπωση. Το ακόντιο με το κατάφωτο τοποθετείται σε σημεία του βυθού και κατακορυφώνεται με τη βοήθεια γωνιακής αεροστάθμης. Το συνεργείο αποτελείται από έναν δύτη που έχει τον έλεγχο του ακοντίου, έναν κολυμβητή στην επιφάνεια υπεύθυνο για τις συνεννοήσεις με το συνεργείο στην ξηρά και δύο τουλάχιστον παρατηρητές στην ξηρά. Για τις εμπροσθοτομίες απαιτείται αμοιβαία επικοινωνία μεταξύ των δύο παρατηρητών για το συγχρονισμό των μετρήσεων. Για βάθη μεγαλύτερα των 3-4 μέτρων, η επισήμανση είναι δυνατό να γίνει με πλωτούς στόχους δεμένους πάνω από κάθε σημείο με την προϋπόθεση όμως ότι δεν θα υπάρχει καθόλου ρεύμα ή κυματισμός που να παρασύρει τον στόχο.

Όταν πρόκειται για πολύ μικρά βάθη, ώστε το ακόντιο να εξέχει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει πολύ καλές ακρίβειες, αντάξιες μιας τυπικής χερσαίας τοπογραφικής εφαρμογής.

Περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόστηκε με επιτυχία η εύκολη και γρήγορη μέθοδος του αναβιβασμού σημείων, ήταν η αποτύπωση του αρχαιολογικού χώρου της Πλύτρας -όπου το σχέδιο αποδόθηκε σε κλίμακα 1:500 και χρησιμοποιήθηκαν δύο θεοδόλιχα και πλωτήρες για την επισήμανση των σημείων- όπως επίσης και η αποτύπωση σε αρχαιολογικό χώρο σε βάθος ενός μέτρου στον Αστακό με ταχυμετρικό όργανο και σύστημα ακόντιο – κατάφωτο.

2.6.2 Αποτύπωση με καταβιβασμούς σημείων

Εδώ, περιγράφεται η αντίστροφη σχεδόν τεχνική από αυτήν του αναβιβασμού σημείων, κατά την οποία ένα υποβρύχιο δίκτυο σημείων μπορεί να συνδεθεί οριζοντιογραφικά με σημεία αναφοράς της επιφάνειας, χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό Cardan, όπως περιγράφηκε αναλυτικά και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η μέθοδος είναι ακριβής και αξιόπιστη, συνάμα όμως και χρονοβόρα, σε σχέση με τους αναβιβασμούς σημείων. Το πλεονέκτημά της σε σχέση με τους αναβιβασμούς είναι ότι ενδείκνυται για μεγαλύτερα βάθη, με την προϋπόθεση όμως ότι και εδώ επικρατούν ευνοϊκές, όσον αφορά τον κυματισμό, το ρεύμα και τον άνεμο, συνθήκες.

Έχει βρει πολλές εφαρμογές στο παρελθόν σε αποτυπώσεις υποβρύχιων αρχαιολογικών χώρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αποτύπωση τριών ναυαγίων, σε βάθος από 7 έως 12 μέτρα, που μετέφεραν το ένα Σαρκοφάγους, το άλλο γρανιτένιους κίονες και το τρίτο ογκόλιθους μαρμάρου στον κόλπο του Πόρτο – Λόγγο στη νήσο Σαπιέντζα στη Μεθώνη, στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας φοιτητών της σχολής Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ και φυσικά στο πλαίσιο έρευνας υπό τη διεύθυνση της Ε.Ε.Α. (Παπαγεωργίου κ.ά., 2001).

2.6.3 Αποτύπωση με κάνναβο

Η μέθοδος αποτύπωσης με κάνναβο βασίζεται σε ορθογώνιο ή τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων. Κάθε μετρούμενο σημείο χαρακτηρίζεται από ένα σετ δύο ή τριών συντεταγμένων - μετρήσεων (x,y ή x,y,z). Το σύστημα υλοποιείται με την κατασκευή και τοποθέτηση ενός κανάβου στο βυθό (Εικ.2.10). Ο κάνναβος αυτός μπορεί να κατασκευαστεί από πλαστικούς ή αλουμινένιους σωλήνες. Με τέτοιους σωλήνες κατασκευάζεται στο βυθό ένα πλέγμα τετραγώνων, που οι διαστάσεις τους ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή.



Εικ.2.10: Αποτύπωση με κάνναβο

Ο κάνναβος τοποθετείται έτσι ώστε οι πλευρές του να είναι οριζόντιες. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατό σε βυθούς με μεγάλες κλίσεις να υλοποιείται τρισδιάστατος κάνναβος. Από τη στιγμή που θα υλοποιηθεί αυτός ο κάνναβος, η θέση του κάθε σημείου βρίσκεται με τη μέτρηση των καρτεσιανών συντεταγμένων του από την πλησιέστερη ακμή του.

Πάνω στις ακμές του καννάβου είναι δυνατό να υπάρχουν ειδικές κυλιόμενες ράβδοι κάθετες μεταξύ τους, που τοποθετούμενες πάνω από το σημείο δίνουν απευθείας τις ορθογώνιες συντεταγμένες του.

Η τοποθέτηση του καννάβου είναι επίπονη και χρονοβόρα εργασία. Ιδίως όταν το έδαφος δεν είναι επίπεδο, οπότε χρειάζεται μεγαλύτερη προσπάθεια οριζοντίωσής του. Επίσης, είναι μια βαριά και ακριβή κατασκευή με αποτέλεσμα να είναι και δύσχρηστη τις περισσότερες φορές. Από τη στιγμή που τοποθετηθεί όμως ο κάνναβος, τότε η αποτύπωση της περιοχής μπορεί να γίνει πολύ απλή και γρήγορη.

Απαιτούνται μόνο δύο δύτες από τα μέλη του συνεργείου. Επίσης, είναι δυνατό με ένα πλέγμα τετραγώνων το κάθε τετράγωνο να υποδιαιρείται σε πολλά μικρότερα, διαστάσεων μέχρι μερικά cm. Τότε αρκεί και ένας μόνο δύτες.

Η μέθοδος είναι κατάλληλη για μικρές περιοχές και αποτυπώσεις λεπτομερειών. Η αποτύπωση σε κάθε τετράγωνο δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την υποβρύχια ορατότητα, αφού με τις κατάλληλες υποδιαιρέσεις μπορεί να ικανοποιεί και συνθήκες κακής ορατότητας. Η αποτύπωση με κάρναβο έχει επιλεγθεί πολλάκις στο παρελθόν ως μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση υποβρύχιων αρχαιολογικών χώρων.

2.6.4 Αποτύπωση με μετροτράπεζα

Η χρήση της μετροτράπεζας βασίζεται στη χάραξη επιτόπου των διευθύνσεων των σκοπευόμενων σημείων σε μια πινακίδα σχεδίασης. Αυτό, σε συνδυασμό με τη μέτρηση της απόστασης μέχρι αυτό το σημείο ανάγει τη μέθοδο στην αποτύπωση με πολικές συντεταγμένες. Η μόνη διαφορά είναι ότι η γωνία δεν μετρείται με ένα γωνιομετρικό όργανο αλλά αποτυπώνεται γραφικά πάνω στο σχέδιο.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η σκόπευση των σημείων δεν γίνεται μέσα από τηλεσκόπιο αλλά μπορεί να γίνει από μια απλή σκοπευτική διάταξη. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ορατότητα και το μήκος της σκόπευσης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ένα κλεισίμετρο προσαρμοσμένο στη σκοπευτική διάταξη έτσι ώστε να έχουμε τη δυνατότητα του προσδιορισμού και του υψομέτρου. Επίσης, είναι δυνατό το σχέδιο να παραχθεί επιτόπου έτσι ώστε να υπάρχει έλεγχος στο πεδίο της εργασίας. Αυτό όμως απαιτεί περισσότερο χρόνο παραμονής στο βυθό, πράγμα ορισμένες φορές απαγορευτικό.

Η μέθοδος απαιτεί τέσσερις δύτες: έναν παρατηρητή, δύο για τη μέτρηση της απόστασης και έναν στοχοφόρο. Η χρήση της μετροτράπεζας για τη μέτρηση των οδύσεων στην ίδρυση του υποβρύχιου δικτύου αναφοράς, σε συνδυασμό με τη χρήση της και στην αποτύπωση, έχει σαν αποτέλεσμα να θεωρείται ως αρκετά εύχρηστη μέθοδος.

Για ιστορικούς λόγους, αξίζει να σημειωθεί ότι πρώτη φορά η μέθοδος της μετροτράπεζας χρησιμοποιήθηκε από τον G.Bass το 1961, για την αποτύπωση Βυζαντινού ναυαγίου στο Yassi Ada (Bass,1974).

2.6.5 Αποτύπωση με τριπλευρισμό

Η επιλογή της αναφοράς στην αποτύπωση με τριπλευρισμό ως τελευταία, δεν έγινε τυχαία. Ο λόγος είναι ότι στις εφαρμογές που ακολουθούν, ο τριπλευρισμός είναι η μέθοδος που επιλέχθηκε για την ίδρυση και επίλυση των δικτύων των σταθερών σημείων στα προς μελέτη ναυάγια. Ως εκ τούτου, ακολουθεί εκτενής αναφορά στη μέθοδο.

Μετά την ίδρυση ενός δικτύου σταθερών σημείων στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιούνται μετρήσεις αποστάσεων με μετροταινία μεταξύ αυτών των σταθερών σημείων (πλευρομετρήσεις). Τα σταθερά σημεία που ιδρύονται στο χώρο

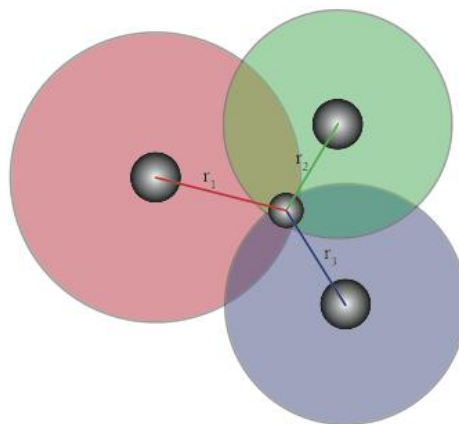
πρέπει να είναι καλά κατανοημένα, με την έννοια της σωστής διασποράς σε όλη την επικράτεια του αντικειμένου. Σε περιπτώσεις που το αντικείμενο παρουσιάζει έντονες υψομετρικές διαφορές και είναι αδύνατη η απευθείας μέτρηση αποστάσεων μεταξύ σημείων, επιβάλλεται η πύκνωση του δικτύου αυτού. Αυτές οι υψομετρικές διαφορές είναι εμπόδια που μεσολαβούν μεταξύ των σημείων και μεταφράζονται συχνά σε βράχια ή συσσωρεύσεις από αμφορείς.

Για τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων, απαιτούνται τουλάχιστον 3 μετρημένες αποστάσεις από σημείο σε σημείο. Ωστόσο, για τις ανάγκες της συνόρθωσης του δικτύου και του προσδιορισμού της αβεβαιότητας των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων, ο αριθμός των πλευρομετρήσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου, πρέπει να είναι μεγαλύτερος των 3. Με 4 και παραπάνω μετρήσεις για κάθε σημείο, γίνεται δυνατό να εκτιμηθεί η ακρίβεια με την οποία μετρήθηκαν οι αποστάσεις, να εξαιρεθούν λανθασμένες αποστάσεις κλπ. Οι επιπλέον μετρήσεις αυξάνουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Θα πρέπει όμως να συνυπολογίζονται κάθε φορά τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις. Στις περιπτώσεις μετρήσεων με μετροταινία τα σφάλματα που παρουσιάζονται μπορεί να οφείλονται: α)στη λάθος ανάγνωση της μέτρησης· οι αποκλίσεις μπορεί να έχουν μεγάλο εύρος και να προέρχονται είτε από λάθος ανάγνωση του mm ή ακόμα και του m, αλλά μπορούν να διαγνωστούν σχετικά εύκολα, β)στο βέλος της μετροταινίας λόγω ισχυρού ρεύματος και γ)σε συστηματικά σφάλματα της μετροταινίας. Για την τρίτη περίπτωση, καλό είναι να χρησιμοποιείται πάντα η ίδια μετροταινία, η οποία είναι απαραίτητο να βαθμονομείται συχνά για πιθανόν παραμορφώσεις της ή μετακίνησης της αφετηρίας μέτρησης.

Ο τριπλευρισμός μπορεί να εκφραστεί διαφορετικά ως η διαδικασία εύρεσης της τομής τριών σφαιρών στο χώρο (Εικ.2.11) μέσω της επίλυσης ενός συστήματος εξισώσεων. Η βασική εξίσωση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων στο χώρο είναι:

$$d_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2$$



Εικ.2.11: Τομή τριών σφαιρών

Στην προσπάθεια εύρεσης των συντεταγμένων X, Y, Z ενός σημείου, με δεδομένες τις μετρημένες αποστάσεις του από τρία άλλα σημεία στο χώρο, με γνωστές συντεταγμένες, επιλύεται μονοσήμαντα ένα σύστημα τριών εξισώσεων της παραπάνω μορφής και προκύπτει τελικά η θέση του σημείου στο χώρο. Με επιπλέον παρατηρήσεις, όπως 4° , 5° κ.ο.κ. γνωστό σημείο στο χώρο, και ελαχιστοτετραγωνική επίλυση προκύπτει η θέση του ζητούμενου σημείου στο χώρο καθώς και η αβεβαιότητά της.

Ενώ ο τριπλευρισμός ανήκει στα απλά γεωδαιτικά προβλήματα, η σχετική τεχνική βιβλιογραφία πάσχει στην καταγραφή προγραμμάτων και λογισμικών που να ακολουθούν μια κλασική επίλυση τριπλευρισμού. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιχειρήθηκε η χρήση ενός προγράμματος που να μπορεί να επιλύσει ένα δίκτυο κορυφών με μοναδικές μετρήσεις τις πλάγιες αποστάσεις, με άλλα λόγια τις πλευρομετρήσεις, από κορυφή σε κορυφή του δικτύου. Έτσι, έγιναν δοκιμές σε διάφορα λογισμικά, που ήταν διαθέσιμα στη Σχολή Αγρ.&Τοπογράφων Μηχ. του ΕΜΠ, όπως το BINGO, το Aerosys, το Cuba ή ακόμα και σε λογισμικά επίλυσης δικτύων από GPS δεδομένα, όπως το Columbus. Σε κανένα από τα διαθέσιμα όμως λογισμικά δεν ήταν εφικτή η εφαρμογή και επίλυση ενός τριπλευρισμού. Ιδανική λύση θα ήταν, με την προϋπόθεση της διαθεσιμότητας χρόνου, να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα επίλυσης τριπλευρισμού στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας για τους σκοπούς της ίδιας της εργασίας, κάτι που όμως τελικά δεν ήταν δυνατό, λόγω περιορισμένου χρόνου.

Η λύση στο πρόβλημα δόθηκε από τη βιβλιογραφία των αποτυπώσεων ενάλιων αρχαιολογικών χώρων, όπου εντοπίστηκε ένα λογισμικό το οποίο σχεδιάστηκε ακριβώς για εφαρμογές ενάλιας αρχαιολογίας. Το εν λόγω λογισμικό ονομάζεται Site Recorder και η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Site Recorder 4SE (Student Edition), η οποία είναι ελεύθερη στο διαδίκτυο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Η ολοκληρωμένη έκδοση ανήκει στον Peter Holt, για την εταιρεία 3HConsulting (www.3hconsulting.com).

Το Site Recorder δεν είναι παρά ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών σχεδιασμένο από αρχαιολόγους, ικανό να διαχειρίζεται πληθώρα ερημάτων, φωτογραφιών, τοπογραφικών δεδομένων (σημεία συντεταγμένων, μετρήσεις κλπ), ημερολόγια καταδύσεων και γενικά οποιαδήποτε πληροφορία σχετίζεται άμεσα με ένα υποβρύχιο μνημείο, χωρίς να χρειάζεται να εμπλακούν στην έρευνα πολλά εξειδικευμένα προγράμματα επίλυσης δικτύων συντεταγμένων, σχεδίασης ή άλλα προγράμματα GIS.

Φυσικά, στην παρούσα εργασία το SR χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ως εργαλείο επίλυσης των δικτύων που υλοποιήθηκαν στα ναυάγια που θα αναφερθούν στη συνέχεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΝΑΥΑΓΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗΣ ΕΠΟΧΗΣ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΕΥΒΟΪΚΟ ΚΟΛΠΟ

Αναμφίβολα, η φωτογραμμετρία αποτελεί μέθοδο επιλογής για αμέτρητες εφαρμογές αποτυπώσεων, άλλοτε απλές και άλλοτε πολύ πιο σύνθετες. Οι εφαρμογές αυτές διακρίνονται σε εναέριες, επίγειες, δορυφορικές, computer vision, αλλά και υποβρύχιες. Η τελευταία διάκριση των φωτογραμμετρικών εφαρμογών είναι που αναλύεται διεξοδικά στη συνέχεια και αφορά τις συνθήκες του υποβρύχιου περιβάλλοντος. Όταν δε, το αντικείμενο μελέτης βρίσκεται μέχρι και 47 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, τότε η φωτογραμμετρία αποδεικνύεται τόσο επαναστατική μέθοδος, όσο και μοναδική λύση για την λεπτομερή και ακριβή αποτύπωση αντικειμένων όπως είναι η περίπτωση ενός αρχαίου ναυαγίου.

3.1 Αρχαιολογικά στοιχεία και γεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

Ο Νότιος Ευβοϊκός είναι μία επιμήκης αβαθής θάλασσα που χωρίζει τη Στερεά Ελλάδα από την Εύβοια και γεωγραφικά μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα, τον ενδότερο νότιο Ευβοϊκό, ο οποίος εκτείνεται από την πόλη της Χαλκίδας έως το στενό της Καβαλλιανής και των εξώτερο Ευβοϊκό που εκτείνεται από το στενό έως τον Καφηρέα και τις Καβοκολώνες στο Σούνιο (Εικ.3.1).



Εικ.3.1: Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος

Οι δύο αυτοί θαλάσσιοι χώροι συναντιούνται σε ένα στενό πέρασμα στο οποίο δεσπόζει η Καβαλλιανή από τα βόρεια, οι τέσσερις μικρές νησίδες των Βερδουγιών στα δυτικά και το νησιωτικό σύμπλεγμα των Στύρων ανατολικά. Ακόμα και σε έναν απλό ναυτικό χάρτη μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι συνολικά οκτώ φάροι ναυσιπλοΐας συνωθούνται σε μία πολύ μικρή περιοχή και όλοι οι πλοηγοί από την

εποχή της Αναγέννησης έως και σήμερα επισημαίνουν ότι το πέρασμα αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

Τα κριτήρια επιλογής της θαλάσσιας περιοχής του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου για υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα ήταν πολλά. Τα κυριότερα από αυτά είναι ο μεγάλος αριθμός αξιόπιστων και διασταυρωμένων πληροφοριών για την ύπαρξη αρχαιοτήτων στο βυθό, η παρουσία επικίνδυνων σημείων για τη ναυσιπλοΐα, όπως εμφανείς ή αφανείς ξέρες, προσήνεμα ακρωτήρια και κάβοι, η παρουσία αγκυροβολίων καταφυγής στην ίδια περιοχή με θέσεις υψηλής επικινδυνότητας και τέλος, η ύπαρξη τοπωνυμίων ή ακτωνυμίων που θα μπορούσαν να συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με επικίνδυνα σημεία για τη ναυσιπλοΐα ή ναυτικές τραγωδίες (όπως Δρακονέρα, Φονιάς, Πνιγμένος, Μαύρος Κάβος κλπ).

Το ερευνητικό πρόγραμμα στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο είναι συνεργασία του Ινστιτούτου Ενάλιων Αρχαιολογικών Ερευνών (IENAE) καθώς και της Εφορείας Ενάλιων Αρχαιοτήτων (ΕΕΑ) και βρίσκεται υπό τη διεύθυνση του αρχαιολόγου Γιώργου Κουτσοφλάκη. Από το 2006 και μετά, όταν δόθηκε επίσημη έγκριση από το Υπουργείο Πολιτισμού, ξεκίνησε η ερευνητική περίοδος στην εν λόγω θαλάσσια περιοχή. Στις διερευνημένες περιοχές, εντοπίστηκαν και τεκμηριώθηκαν 11 αρχαία και βυζαντινά ναυάγια που περιλαμβάνουν 2 ναυάγια της κλασικής περιόδου (Κυνόσουρα Μαραθώνα), 2 ναυάγια της ελληνιστικής περιόδου (νήσος Στύρα), 3 ναυάγια της ρωμαϊκής περιόδου (νησίδες Πετούσι, Αγ.Ανδρέας και Πορτολάφια) και δύο ναυάγια της βυζαντινής περιόδου (Πορτολάφια, νήσος Καβαλλιανή). Από το περιβάλλον κάθε ναυαγίου ανελκυστήκαν δειγματοληπτικά μόνο τμήματα του φορτίου, προκειμένου να καταστεί ευκολότερη η αναγνώριση και χρονολόγησή τους. Εκτός των ναυαγίων, εντοπίστηκαν επίσης εκατοντάδες μεμονωμένα κεραμικά, λίθινα ή μεταλλικά ευρήματα (αμφορείς, επιτραπέζια κεραμική, λύχνοι, άγκυρες, κέραμοι κλπ) εκ των οποίων για περίπου 220 κρίθηκε σκόπιμη η ανέλκυσή τους. Ο συνολικός αριθμός των ευρημάτων που έχουν ανελκυστεί κατόπιν των τριών πρώτων χρόνων έρευνας ξεπερνάει τα 400.

Συγκεκριμένα, το ναυάγιο στο οποίο την αποτύπωση επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εντοπίστηκε το 2006 στη βόρειοδυτική πλευρά της νήσου Στύρα, σε βάθος από 40 έως 47 μέτρα, πρόκειται για ναυάγιο της Ύστερης Ελληνιστικής εποχής (2^{ος}-1^{ος} αι.π.Χ.) και αποτελεί μέχρι σήμερα το μόνο ναυάγιο που έχει βρεθεί στο Νότιο Ευβοϊκό σε καλή σχετικά κατάσταση.

Ο χώρος του ναυαγίου απαρτίζεται από μία κύρια συγκέντρωση ακέραιων και σπασμένων αμφορέων που καταλαμβάνει μια έκταση 120 περίπου τετραγωνικών μέτρων και εδράζεται σε αμμώδη πυθμένα κοντά στην απόληξη της αποχής. Το 90% του φορτίου του αποτελείται από αμφορείς γνωστούς στη διεθνή βιβλιογραφία ως Brindisi. Τα αγγεία αυτά είναι πιθανότατα ρωμαϊκής προέλευσης, με τα εργαστήρια παραγωγής τους να έχουν εντοπιστεί μέχρι στιγμής στην περιοχή του Λέτσε της Ιταλίας και παρουσιάζουν μία αρκετά εκτενή διασπορά στην Ιταλική χερσόνησο και την Αδριατική. Η παρουσία τους στο Αιγαίο είναι σχετικά περιορισμένη και εμφανίζονται σε σχετικά μικρά ποσοστά στη στρωματογραφία της Αθήνας και της

Δήλου. Κάποιοι από αυτούς έφτασαν μέχρι και την αγορά της Θεσσαλονίκης, ενώ δείγματά τους έχουν επισημανθεί και στην περιοχή της Καρυστίας, Θήβας και Σικυώνας. Μέσα στον κύριο όγκο του φορτίου εντοπίστηκαν και δύο δείγματα κώνων ή ψευδοκώνων αμφορέων. Κατά την τελευταία ανασκαφική περίοδο μάλιστα (Ιούλιος 2010), εντοπίστηκαν μεταξύ των ευρημάτων πόδια ανάκλιτρου, αγγεία φαγητού και ποτού, μπρούτζινα και σιδερένια καρφιά, μία λίθινη λεκάνη (νιπτήρας), τμήματα της εξάρτησης του πλοίου, τμήματα κεραμιδιών, πιθανότατα από τη στεγασμένη υπερκατασκευή της πρύμνης και το σημαντικότερο ίσως, τμήματα του ξύλινου σκαριού από νομείς και πέτσωμα (μέσα στην άμμο, όπου το ξύλο διατηρείται), τα οποία ήταν ακόμα σε καλή κατάσταση παρά τη μακρόχρονη παραμονή τους στο νερό (Εικ.3.2). Η διατήρηση του ξύλινου σκαριού είναι γεγονός ιδιαίτερα σπάνιο. Υπό κανονικές συνθήκες η αυξημένη ποσότητα άλατος στο θαλασσινό νερό, το μικρό βάθος του ναυαγίου, η αυξημένη θερμοκρασία αλλά και οι μικροοργανισμοί, όπως το σκουλήκι που ονομάζεται αρχαία τερηδόνα (*teredo navalis*), φθείρουν το ξύλο.

Το ναυάγιο χρονολογήθηκε από τους αμφορείς στα τέλη του 2^{ου} έως το πρώτο μισό του 1^{ου} αιώνα π.Χ. Από το ίδιο ναυάγιο ανελκύστηκαν μικρότερα χρηστικά αγγεία, δύοτοι σκύφοι, μία χάλκινη τριποδική οينوχόη, και ίσως το πλέον σημαντικό, ένα μικρό τμήμα από ένδυμα χάλκινου αγάλματος φυσικού μεγέθους. Το τελευταίο εύρημα φαίνεται να



δηλώνει ότι πέρα από το φορτίο κεραμικής, το πλοίο αυτό ενδεχομένως μετέφερε είτε κάποια έργα τέχνης είτε μέταλλο με τη μορφή σκραπ για ανακύκλωση. Είναι ωστόσο αρκετά θελκτικό να το συσχετίσει κανείς με όλες τις υποθέσεις εργασίας που έχουν διατυπωθεί για τον έφηβο του Μαραθώνος, που προέρχεται από απροσδιόριστη έως σήμερα θαλάσσια περιοχή του Νότιου Ευβοϊκού.

Εικ.3.2: Τμήματα του ξύλινου σκαριού από το ναυάγιο στη νήσο Στύρα

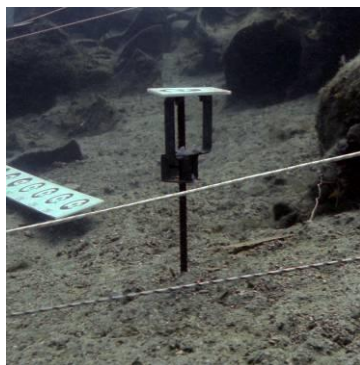
3.2 Ίδρυση δικτύου φωτοσταθερών σημείων

Τον Ιούλιο του 2010 πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά στο ναυάγιο της νήσου Στύρα ερευνητική αποστολή που περιελάμβανε συστηματικές εργασίες τεκμηρίωσης του ναυαγίου. Η εν λόγω έρευνα διήρκησε περίπου 20 ημέρες, με τις καιρικές συνθήκες να μην είναι πάντα υπέρ του ερευνητικού συνεργείου. Το ναυάγιο βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 39 έως και 47 μέτρα, σε έναν βυθό με κλίση περίπου 25%. Η θέση στην οποία βρίσκεται το ναυάγιο χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και ιδιαίτερα βραχώδη βυθό, με κύρια συγκυρία της πρώτης ημέρας την αυξημένη δυσκολία προσέγγισής της. Για το λόγο αυτό υλοποιήθηκε με σχοινί μία κατευθυντήρια πορεία από την επιφάνεια μέχρι το ναυάγιο, ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση των δυτών σε αυτό.

Οι επόμενες δύο ημέρες αφιερώθηκαν στην κατασκευή και τοποθέτηση σταθερών σημείων στο χώρο του ναυαγίου. Μέσω του προγράμματος Photomodeler (εντολή

“automatic target”), εκτυπώθηκαν στόχοι σε αδιάβροχη αυτοκόλλητη επιφάνεια και κολλήθηκαν σε πλακίδια από υλικό Plexiglas διαστάσεων 10x10cm. Τα πλακίδια αυτά προσαρμόστηκαν σε μεταλλικές βάσεις οι οποίες εύκολα βιδώθηκαν στην κορυφή πασσάλων (μπετόβεργες) ύψους περίπου μισού μέτρου. Συνολικά, κατασκευάστηκαν 14 σταθερά σημεία αυτού του τύπου και τοποθετήθηκαν σε αμμώδεις θέσεις, πακτωμένα όσο βαθύτερα ήταν αυτό δυνατό (Εικ.3.3). Επίσης, υλοποιήθηκε ένας ακόμη τρόπος ίδρυσης σταθερών σημείων· αυτός της τοποθέτησης των πλακιδίων Plexiglas, όχι σε πασσάλους, αλλά σε στόμια αμφορέων με χρήση πλαστικών tie-wraps (Εικ.3.4). Τέτοιου είδους σταθερά σημεία ήταν εφικτό να τοποθετηθούν σε 6 στόμια –ακέραιων- αμφορέων. Ο δεύτερος τρόπος ίδρυσης σταθερών σημείων αποδείχθηκε αποτελεσματικότερος, αφού πρώτον, οι αμφορείς στους οποίους προσαρμόστηκαν τα σταθερά σημεία ήταν καλά πακτωμένοι και δεύτερον, οι πάσσαλοι όσο καλά βυθισμένοι κι αν ήταν στην άμμο, σίγουρα είχαν το φόβο της μετακίνησής τους από πιθανές «πεδιλίες» των δυτών.

Να σημειωθεί ότι η μέθοδος ίδρυσης σταθερού δικτύου μέσω της τοποθέτησης στόχων στα στόμια των αμφορέων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο ερευνητικό πρόγραμμα στο ναυάγιο Tektash στην Τουρκία τα έτη 1999-2001 υπό τη διεύθυνση του αρχαιολόγου G.Bass (INA, Institute for Nautical Archaeology).



Εικ.3.3: Τοποθέτηση πασσάλων-σταθερά σημεία στην άμμο



Εικ.3.4: Τοποθέτηση σταθερών σημείων σε στόμια αμφορέων

Το δίκτυο που δημιουργήθηκε, αριθμούσε συνολικά 20 σταθερά σημεία, κατανεμημένα ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του ναυαγίου. Για την τοποθέτηση των σταθερών σημείων χρειάστηκαν 3 καταδύσεις 20 λεπτών η κάθε μία για κάθε καταδυόμενο ζεύγος.

3.3 Πλευρομετρήσεις και επίλυση τριπλευρισμού

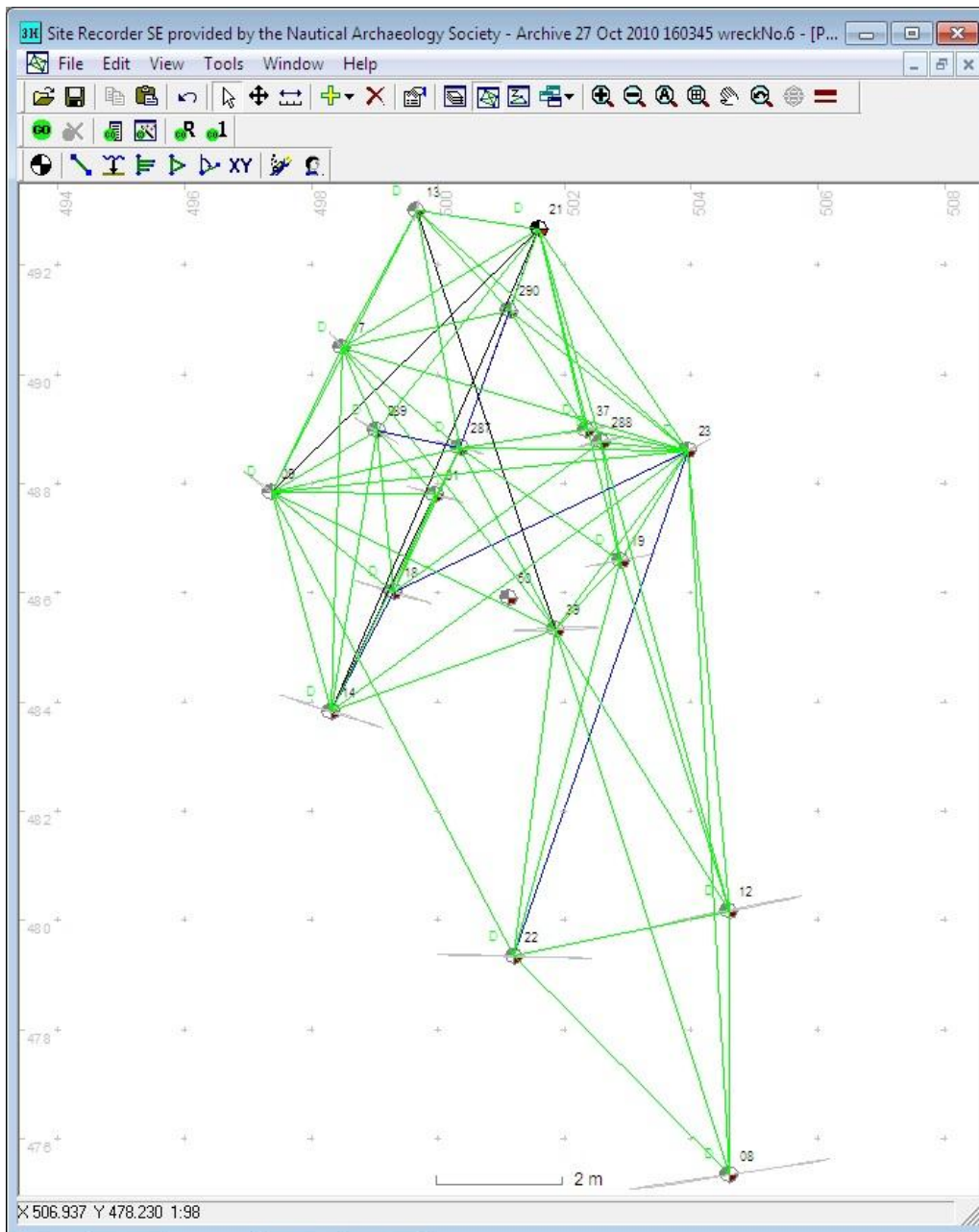
Επόμενο βήμα μετά την ίδρυση του δικτύου σταθερών σημείων, ήταν η διεξαγωγή μετρήσεων μηκών μεταξύ των σημείων. Πραγματοποιήθηκαν λοιπόν μετρήσεις πλάγιων αποστάσεων μεταξύ των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου με τη χρήση πλαστικής μετροταινίας, ενώ παράλληλα μετρήθηκαν και οι υψομετρικές τους διαφορές με τη χρήση καταδυτικού υπολογιστή, με στάθμη αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας και συσχετισμό των μετρήσεων διαφορετικών ημερών και διαφορετικών καταδυτικών υπολογιστών με τη μέτρηση κάθε φορά του βάθους μιας συγκεκριμένης υψομετρικής αφετηρίας (reper). Τις πρώτες ημέρες η ορατότητα ήταν

πολύ κακή -πολλές φορές μπορεί να ήταν μέχρι και 2 μέτρα- με αποτέλεσμα να δυσχεραίνονται οι μετρήσεις, τόσο χρονικά όσο και ποιοτικά. Οι αρνητικές επιπτώσεις της κακής ορατότητας ήταν η αδυναμία συνεννόησης των δυτών, η δυσκολία προσανατολισμού τους ή ακόμα και η δυσκολία εύρεσης των θέσεων των σταθερών σημείων.

Συνολικά, μεταξύ των 20 κορυφών του δικτύου, πραγματοποιήθηκαν 119 μετρήσεις αποστάσεων. Για την επίλυση του δικτύου με τριπλευρισμό, ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός αποστάσεων είναι 3. Για τη δυνατότητα όμως του προσδιορισμού της αβεβαιότητας των μετρήσεων και για τις ανάγκες της συνόρθωσης του δικτύου με παράλληλη αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, μετρήθηκαν τουλάχιστον 5 αποστάσεις από κάθε σταθερό σημείο προς τα υπόλοιπα σημεία. Ελάχιστες αποστάσεις μετρήθηκαν σε μετάβαση και επιστροφή, δεδομένου ότι τα χρονικά περιθώρια δεν το επέτρεψαν. Οι πλευρομετρήσεις του δικτύου ολοκληρώθηκαν σε 11 καταδύσεις 20 λεπτών η κάθε μία, από διαφορετικά κάθε φορά καταδυτικά ζεύγη. Μετά το πέρας κάθε κατάδυσης, οι δύτες κατέγραφαν τις μετρήσεις τους στη βάση δεδομένων που στήθηκε για όλη την έρευνα (περιελάμβανε μεταξύ άλλων ημερολόγιο κάθε κατάδυσης με αρχαιολογικά δεδομένα, καιρικές συνθήκες, μετρήσεις κ.ά.). Κάθε ημερολόγιο κατάδυσης συνοδεύεται από το αντίστοιχο σκαρίφημα των μετρημένων αποστάσεων μεταξύ των σταθερών σημείων. Με την καταγραφή των μετρήσεων αυτών, στο τέλος της ημέρας, γινόταν έλεγχος της επάρκειας των δεδομένων για τη συνόρθωση του δικτύου, ώστε αν οι μετρήσεις δεν ήταν αρκετές για την επίλυση του τριπλευρισμού, να συμπληρώνονταν σε επόμενες καταδύσεις. Κατά την τελευταία (11^η) κατάδυση, πραγματοποιήθηκαν όσες συμπληρωματικές μετρήσεις απαιτούνταν, ενώ μετρήθηκαν εκ νέου κάποιες ακόμη μετρήσεις, για την τιμή των οποίων υπήρχε αμφιβολία.

Η επίλυση του τριπλευρισμού έγινε στο λογισμικό Site Recorder SE (Student Edition, της εταιρείας www.3hconsulting.com, ελεύθερο στο διαδίκτυο για εκπαιδευτικούς σκοπούς). Εκτός όμως από τις πλευρομετρήσεις του δικτύου, απαραίτητη ήταν η μέτρηση και εισαγωγή των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των σταθερών σημείων του δικτύου στο λογισμικό, ώστε να καταστεί δυνατή η συνόρθωση του δικτύου. Θεωρητικά, για την επίλυση του τριπλευρισμού είναι αρκετές μόνο οι μετρήσεις αποστάσεων (τουλάχιστον 3 από κάθε σημείο), αλλά στο Site Recorder, αναγκαία ήταν και η καταγραφή του βάθους κάθε σημείου. Για τον λόγο αυτό, μετρήθηκαν τα βάθη των σταθερών σημείων με τους καταδυτικούς υπολογιστές των δυτών, με στάθμη αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας και σημείο αναφοράς, για συσχέτισμό των μετρήσεων μεταξύ των διαφορετικών ημερών και των διαφορετικών καταδυτικών υπολογιστών, μία συγκεκριμένη υψομετρική αφετηρία. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις του βάθους των σταθερών σημείων ελήφθησαν σε δύο διαδοχικές ημέρες, κατά τις οποίες οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές και δεν τέθηκε θέμα μεταβολής της στάθμης της θάλασσας ώστε να επηρεαστούν τα αποτελέσματα. Οι καταδυτικοί υπολογιστές έχουν δυνατότητα προσδιορισμού του βάθους ενός σημείου με ακρίβεια της τάξης των 10 εκατοστών. Γι αυτό, στη συνόρθωση του

δικτύου ορίστηκε a priori σφάλμα των υψομετρικών μετρήσεων ίσο με 10cm. Για τις μετρημένες αποστάσεις το a priori σφάλμα εκτιμήθηκε στα 5cm.



Εικ.3.5: Δίκτυο σταθερών σημείων, συνόρθωση στο λογισμικό Site Recorder SE (με πράσινο χρώμα αναπαριστώνται οι καλά μετρημένες αποστάσεις, ενώ με μπλε και μαύρο οι μετρήσεις που απορρίφθηκαν)

3.4 Ακρίβεια επίλυσης τριπλευρισμού

Σύνολο σταθερών σημείων	20
Σταθερά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στη συνόρθωση	18
Σταθερά σημεία που απορρίφθηκαν	2
Σύνολο μετρημένων αποστάσεων	119
Μετρημένες αποστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη συνόρθωση	82
Ποσοστό μετρήσεων που απορρίφθηκαν	30%
Συνολικό RMS (μέσο τετραγωνικό σφάλμα)	0.027m
RMS μετρημένων αποστάσεων	0.029m
RMS μετρήσεων υψομέτρων σταθερών σημείων	0.006m
Redundancy	30

Redundancy: Ο αριθμός των πλεονάζουσων παρατηρήσεων όταν είναι μεγαλύτερος του 5 μπορεί να χαρακτηριστεί ως επαρκής για κάθε δίκτυο σταθερών σημείων. Peter Holt, 2008).

Ισχύει ότι για N αριθμό σημείων (εδώ 20 σημεία), ο ελάχιστος αριθμός μετρημένων αποστάσεων για τον τρισδιάστατο προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων είναι 3N (εδώ 60 αποστάσεις). Στην προκειμένη περίπτωση, μετρήθηκαν 119 αποστάσεις. Ο μέσος όρος των αποστάσεων που μετρήθηκαν από κάθε σημείο προς άλλα σημεία του δικτύου είναι 7,5 μετρήσεις. Ο μέγιστος αριθμός παρατηρήσεων από ένα μόνο σημείο ήταν 14 αποστάσεις, ενώ ο ελάχιστος 4 για άλλο σημείο.

Ωστόσο, κάτι που ενώ δεν ήταν αρχικά σκοπός, τελικά αποτέλεσε μονόδρομο λόγω χρόνου ήταν το γεγονός ότι πολύ λίγες αποστάσεις μετρήθηκαν περισσότερες από μία φορές (περίπου 20% των μετρήσεων). Κατά μέσο όρο από κάθε σημείο μετρήθηκαν 7,5 αποστάσεις, προς άλλα σημεία του δικτύου. Αυτό σίγουρα αυξάνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, από την άλλη όμως, θα ήταν εξίσου σημαντικό να μετρηθούν αυτές οι αποστάσεις περισσότερες από μία φορές.

Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να γίνεται αυστηρός εκ των προτέρων προγραμματισμός των αποστάσεων που πρόκειται να μετρηθούν. Είναι σαφώς προτιμότερο, για παράδειγμα, να μετρώνται αποστάσεις προς 5 σημεία που είναι

ευρέως διασκορπισμένα στην περιοχή του αντικειμένου, παρά να μετρηθούν 6 ή 7 αποστάσεις προς κάποια πολύ γειτονικά ή ακόμη και συνευθειακά σημεία του δικτύου. Η γεωμετρία του δικτύου των μετρημένων αποστάσεων αποτελεί σε κάθε περίπτωση έναν ακόμη πολύ καθοριστικό παράγοντα στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Το ποσοστό των μετρημένων αποστάσεων που απορρίφθηκαν είτε από την αρχή, είτε κατά τη συνόρθωση του δικτύου είναι της τάξης του 30%. Ανάμεσα στις μετρήσεις που απορρίφθηκαν, εντοπίστηκαν κάποιες μετρήσεις με χονδροειδή λάθη, δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα των οποίων είναι τα ακόλουθα. Πρώτον, εντοπίστηκε απόσταση, η οποία είχε μετρηθεί από δύο διαφορετικά καταδυτικά ζευγάρια, τη μία φορά 1,73m και την άλλη 0,73m. Το λάθος αυτό, ως χονδροειδές, ήταν εύκολα ανιχνεύσιμο και μπορούσε να διορθωθεί ακόμη και χωρίς τη λήψη επαναληπτικής μέτρησης. Στη δεύτερη περίπτωση όμως, που μία απόσταση μετρήθηκε τη μία φορά 7,84m και την άλλη 7,38m, τα πράγματα ήταν σαφώς πιο πολύπλοκα και ήταν απαραίτητο να γίνει επαναληπτική μέτρηση. Από την άλλη, υπήρξαν μετρήσεις που δεν ήταν δυνατό να ανιχνευτεί το αν είναι λανθασμένες για το λόγο ότι μετρήθηκαν μόνο μία φορά. Έτσι, ο εντοπισμός του μεγάλου σφάλματος που έκρυβαν προέκυψε κατά τη συνόρθωση του δικτύου στο λογισμικό, όπου μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας, απορρίπτονταν αυτόματα οι παρατηρήσεις που βρίσκονταν εκτός του επιπέδου εμπιστοσύνης 99% (ή αντίστοιχα της τιμής z_p 2.576) και ξεπερνούσαν την α ριγοί εκτίμηση της ακρίβειας (5cm για τις πλευρομετρήσεις και 10cm για τα βάθη). Κατά τη συνόρθωση απορρίφθηκαν 9 μετρήσεις αποστάσεων, με τη μεγαλύτερη από αυτές να φτάνει μέχρι και τα 3 μέτρα.

Πολύ σημαντικό κεφάλαιο αποτελεί ο εντοπισμός της προέλευσης τέτοιων σφαλμάτων. Τα σφάλματα που παρουσιάζονται σε κάθε γεωδαιτική εργασία, είτε αυτή είναι υποβρύχια είτε επίγεια, διακρίνονται σε χονδροειδή, σε συστηματικά και σε τυχαία. Ως *χονδροειδή*, μπορούν να χαρακτηριστούν τα σφάλματα που οφείλονται σε απροσεξία του παρατηρητή, όπως για παράδειγμα σε λανθασμένη ανάγνωση ή καταγραφή της μέτρησης και οι τιμές τους μπορεί να κυμανθούν από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες. Τα *συστηματικά* σφάλματα παρουσιάζουν σταθερότητα ή περιοδικότητα σε μέγεθος και πρόσημο και μπορούν σε μεγάλο βαθμό να εκφραστούν με κάποια μαθηματική σχέση. Συνήθως, οφείλονται σε ατέλειες οργάνων (λάθος αφετηρία μέτρησης, σημείο «μηδέν», της μετροταινίας), σε καιρικές συνθήκες (εμφάνιση μεγάλου βέλους στη μετροταινία λόγω ισχυρού ρεύματος), ή στον τρόπο που παρατηρεί ο παρατηρητής (υπερβολικό τέντωμα μετροταινίας). Είναι ακόμα δυνατό να δημιουργούνται συστηματικά σφάλματα από λανθασμένη επιλογή μοντέλου για τις αναγωγές των μετρήσεων. Τέλος, ως *τυχαίο* σφάλμα ορίζεται η διαφορά του αποτελέσματος μιας μέτρησης από την ακριβή τιμή του μετρημένου μεγέθους. Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται σε διαφορετικούς κάθε φορά παράγοντες, όπως για παράδειγμα διαφορετικό τέντωμα της μετροταινίας σε κάθε μέτρηση, διαφορετική αφετηρία μέτρησης, τοπικά υποθαλάσσια ρεύματα καθώς και σε άλλους παράγοντες, που συχνά πηγάζουν από τη φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι δύτες τη στιγμή των μετρήσεων. Το βάθος των 45 μέτρων μπορεί να καταστεί

άκρως επιβαρυντικό και να προκαλέσει ακόμα και παραισθήσεις στον δύτε, ο οποίος πιθανώς ενεργώντας ασυναίσθητα, άλλη ένδειξη να διαβάζει στη μετροταινία και άλλη να καταγράφει. Επίσης, λόγω κακής ορατότητας, οι δύτες δεν θα πρέπει να μετρούν μεγάλες αποστάσεις, παρά μόνο μέχρι το σημείο που τους επιτρέπει να συνεννοούνται επαρκώς μεταξύ τους και να παρατηρούν το όργανο που χρησιμοποιούν (για παράδειγμα, το αν η μετροταινία παρουσιάζει βέλος). Τέλος, το άγχος, λόγω του αυστηρά περιορισμένου χρονικού διαστήματος παραμονής των δυτών στο βυθό, μπορεί να προκαλέσει επιπόλαιες κινήσεις, όπως τη μετακίνηση ενός σταθερού σημείου ή τη μέτρηση μιας απόστασης δύο σημείων μεταξύ των οποίων πιθανώς να παρεμβάλλεται εμπόδιο χωρίς να το αντιληφθούν οι δύτες.

Αν οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων μιας σειράς (αποχές) είναι μικρές σημαίνει ότι δεν υπάρχουν χονδροειδή σφάλματα και πως τα τυχαία είναι μικρά. Δεν εξασφαλίζεται όμως πως δεν υπάρχουν συστηματικά. Στην περίπτωση αυτή οι μετρήσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως ακριβείς χωρίς να είναι παράλληλα γνωστό αν είναι ορθές.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να γίνει μια διασαφήνιση των εννοιών *ακρίβεια* και *ορθότητα*. Ο όρος ακρίβεια (precision) χρησιμοποιείται για να περιγράψει πόσο πλησιάζουν οι μετρήσεις μεταξύ τους. Εξαρτάται από την ευαισθησία του οργάνου και την ικανότητα του παρατηρητή, αναφέρεται συνήθως στα τυχαία σφάλματα και είναι δυνατό να εκτιμηθεί από μια σειρά μετρήσεων με το ίδιο σύστημα «όργανο-παρατηρητής-συνθήκες». Από την άλλη, η έννοια της ορθότητας (accuracy) αναφέρεται στο πόσο πλησιάζουν οι μετρήσεις την αληθινή τιμή και επηρεάζεται κυρίως από τα συστηματικά σφάλματα. Ο συνδυασμός ορθότητας και ακρίβειας ονομάζεται *αξιοπιστία* (reliability). Συχνά στη βιβλιογραφία, η ακρίβεια αναφέρεται ως εσωτερική ακρίβεια, ενώ η ορθότητα ως εξωτερική ακρίβεια.

3.5 Υποβρύχια Φωτογραμμετρία

Η υποβρύχια φωτογραμμετρία δεν μπορούσε παρά να εξελιχθεί παράλληλα με την τέχνη της φωτογραφίας και να εισχωρήσει σε μονοπάτια αποτυπώσεων βυθισμένων μνημείων, με τον παράγοντα βάθος να μην αποτελεί πια τροχοπέδη σε τέτοιου είδους αποτυπώσεις λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας. Το γεγονός ότι η τεχνολογία, συγκεκριμένα στις υποβρύχιες φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις εξελίσσεται, αποδεικνύει την αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα για εφαρμογή και συνεπώς την αποτελεσματικότητά της. Διαφορετικά δεν θα εξελισσόταν.

Οι υποβρύχιες φωτογραμμετρικές εφαρμογές έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη της δεκαετίας του '60, όταν ο Dimitri Rebikoff, πρωτοπόρος στην ανάπτυξη υποβρυχίων φωτογραφικών μηχανών και συστημάτων καταγραφής και μελέτης υποβρυχίων αντικειμένων, χρησιμοποίησε τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας σε δύο εφαρμογές: στην υποβρύχια γεωλογική έρευνα της περιοχής του Υδροηλεκτρικού φράγματος του Mont St. Michel και στην υποβρύχια αποτύπωση του καλωδίου που διασχίζει την Μάγνη από Βουλώνη σε Dungeness (1958), για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν εκτενείς καταγεγραμμένες πληροφορίες. Το έτος 1966 όμως συναντάται η πρώτη επίσημη καταγραφή μεθοδολογίας από τον Rebikoff, στηριζόμενη στην παραγωγή

φωτομωσαϊκών με μετρητική αξία στο πλαίσιο μιας υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας κοντά στην Κόρινθο (Baldwin, 1984).

Με την ανάπτυξη νέων διαθέσιμων υποβρύχιων μέσων, η υποβρύχια φωτογραμμετρία εφαρμόστηκε σε αρχαιολογικές έρευνες, σε αποτυπώσεις υποθαλάσσιων βιολογικών ερευνών, σε χαρτογραφικές αποτυπώσεις πυθμένα, σε λιμενικά έργα καθώς και σε μελέτες εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Όσον αφορά την ενάλια αρχαιολογία, φωτογραμμετρικές μέθοδοι αποτύπωσης εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε πολλές αρχαιολογικές έρευνες ήδη από τη δεκαετία '60-'70 (μεταξύ των οποίων Bass 1965, Merifield 1965, Rebikoff 1966; 1969, Wittlesey 1966, Katzev 1969, 1970).

Η υποβρύχια φωτογραμμετρία παρέχει τη δυνατότητα μιας αποτελεσματικής έμμεσης μετρητικής μεθόδου αποτύπωσης μνημείων, χωρίς να προκαλεί κάποιου είδους φθορά σε μνημεία που βρίσκονται σε περιβάλλον μειωμένης προσβασιμότητας. Η αξιοσημείωτη ανάπτυξη των φωτογραφικών μηχανών και των θηκών που τις στεγανοποιούν καθιστά την εφαρμογή της φωτογραμμετρίας σε υποβρύχιο περιβάλλον πιο προσιτή, προς όφελος ενός ευρύτατου φάσματος γνωστικών αντικειμένων (αρχαιολογία, λιμενικά έργα, βιολογικές έρευνες κλπ).

3.6 Προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας

Σε μία υποβρύχια λήψη, το μέσο που περιβάλλει τη φωτογραφική μηχανή δεν είναι ο αέρας, αλλά το νερό καθώς και ο αέρας που μεσολαβεί μεταξύ του φακού και της υδατοστεγούς θήκης. Η οπτική ακτίνα, με άλλα λόγια, περνά διαμέσου τριών μέσων διαφορετικού δείκτη διάθλασης (multimedia photogrammetry), μέχρι τη στιγμή που θα αφήσει το ίχνος της στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια, στο φιλμ αν πρόκειται για αναλογικές μηχανές ή αντίστοιχα στον αισθητήρα CCD για ψηφιακές μηχανές. Από το γεγονός αυτό πηγάζουν όλα τα προβλήματα της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας.

Τα βασικά αυτά προβλήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: σε έμμεσα (προβλήματα που σχετίζονται με παράγοντες που επηρεάζουν έμμεσα την ποιότητα της φωτογραφίας, όπως κίνηση στο νέο περιβάλλον, συνεννόηση μεταξύ των μελών του συνεργείου κ.ά.) καθώς και σε άμεσα (προβλήματα που σχετίζονται με παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα και την γεωμετρία της φωτογραφίας, όπως η διαφορετική διάθλαση του φωτός στο νερό, η έλλειψη της ευκρίνειας ή ο διαφορετικός δείκτης διάθλασης του φωτός από τις δύο πλευρές του φακού).

3.6.1 Έμμεσα προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας

Τα έμμεσα προβλήματα της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας που αναλύονται στη συνέχεια, έχουν να κάνουν με τον τρόπο που επιδρά το περιβάλλον φωτογράφισης στον φωτογράφο και έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος, της φωτογραφίας.

Πρώτος, πολύ σημαντικός, παράγοντας για την πραγματοποίηση μιας καλής και ακριβούς λήψης είναι η ηρεμία της θάλασσας στο χώρο εργασίας. Η ύπαρξη υποθαλάσσιου ρεύματος δυσκολεύει την εργασία και ανάλογα με την έντασή του, δυσχεραίνει σημαντικά τις μετακινήσεις του συνεργείου και του φωτογραμμετρικού εξοπλισμού και ιδιαίτερα όταν αυτές γίνονται με φορά αντίθετη από τη φορά του ρεύματος. Εκτός από το πρόβλημα των μετακινήσεων, εξίσου δύσκολες είναι και οι ήρεμες και ελεγχόμενες κινήσεις, όπως η εστίαση του αντικειμένου ή η διατήρηση της ισορροπίας του φωτογράφου και της φωτογραφικής μηχανής κατά την λήψη. Στην περίπτωση ισχυρού ρεύματος, η σταθερότητα των δυτών αυξάνεται με την προσθήκη επιπλέον βαρών στη ζώνη τους ή ακόμα και με την αφαίρεση των πέδιλων κολύμβησης, κάτι που όμως γενικά δεν συνιστάται, αφού κάνει τους δύτες εξαιρετικά δυσκίνητους σε περιπτώσεις κινδύνου ή έκτακτης ανάγκης και προκαλεί μεγαλύτερη κατανάλωση αέρα.

Άλλος παράγοντας είναι η δυσκολία προσανατολισμού των δυτών στο χώρο εργασίας. Λόγω του ότι τα μέλη του συνεργείου κινούνται και στις τρεις διαστάσεις του χώρου, έχουν τη λανθασμένη εντύπωση ότι ο βυθός είναι οριζόντιος. Για το λόγο αυτό, στο σύστημα «φωτογραφική μηχανή – υποβρύχια θήκη – εξωτερικά φώτα», υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής βαθύμετρου, αεροστάθμης και πυξίδας.

Το βαθύμετρο είναι ένα απολύτως απαραίτητο όργανο, αφού ένας ακόμη έμμεσος παράγοντας –πηγή πιθανών προβλημάτων- είναι το βάθος. Η αύξηση του βάθους της φωτογράφισης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της υδροστατικής πίεσης, που μπορεί να έχει ανεπιθύμητα αποτελέσματα στον οργανισμό, με πρώτα συμπτώματα τη δυσκολία διεξαγωγής μετρήσεων, τη γρηγορότερη εξάντληση του αέρα καθώς και τη νωθρότητα και υπνηλία των δυτών.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφές το ότι η φωτογράφιση σε περιβάλλον υπερβαρικό διαφέρει σημαντικά από μια φωτογράφιση στη στεριά. Η σωστή λειτουργία του συνεργείου στηρίζεται στη δυνατότητα συνεννόησης μεταξύ των μελών του. Είναι αδύνατη η ομιλία ως μέσο συνεννόησης και επομένως η λύση είναι συνεννόηση με οπτικά μέσα, σύντομα και χωρίς παρανοήσεις. Κρίνεται επομένως αναγκαία η εξοικείωση των μελών του συνεργείου τόσο σε θέματα κατάδυσης όσο και σε θέματα φωτογράφισης. Αναγκαίως, τέλος, είναι και ο σωστός προγραμματισμός πριν από την κατάδυση, ώστε να μειωθεί δραστικά η ανάγκη συνεννόησης και ο απαιτούμενος χρόνος για την περαίωση των εργασιών στο βυθό.

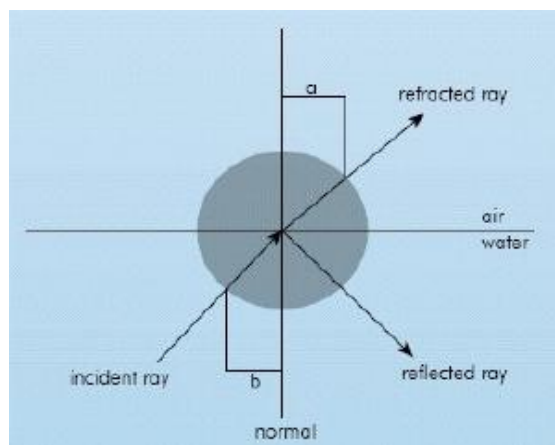
3.6.2 Άμεσα προβλήματα Υποβρύχιας Φωτογραμμετρίας

Τα προβλήματα που σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα και πιστότητα της υποβρύχιας φωτογραφίας, οφείλονται σε παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του φωτός που χρειάζεται κάθε φορά για την τέλεια έκθεση του φιλμ καθώς επίσης και στην ομοιόμορφη απορρόφηση των χρωμάτων του φάσματος του ηλιακού φωτός από το νερό. Το θαλασσινό νερό είναι μείγμα καθαρού νερού, αλατιού, οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Το φως αποτελείται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Για αυτόν τον λόγο παρατηρούνται κάποια δυσμενή φαινόμενα στη

συμπεριφορά του, όταν αυτό συναντάται με άλλα σώματα και τα διαπερνά ή αλλάζει κατεύθυνση. Τα άμεσα αυτά προβλήματα αναπτύσσονται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.6.2.1 Δείκτης διάθλασης του νερού

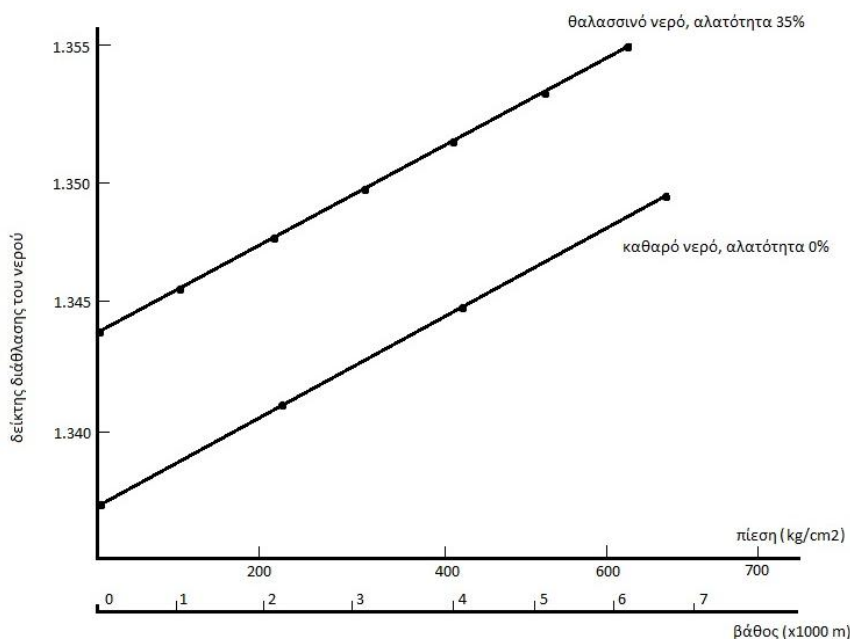
Όταν οι ακτίνες του φωτός προσπίπτουν υπό γωνία από ένα σώμα ορισμένης πυκνότητας, πάνω σε ένα άλλο σώμα διαφορετικής πυκνότητας, αλλάζουν ταχύτητα και διεύθυνση (Εικ.3.6). Ο δείκτης διάθλασης ενός οπτικού υλικού παίζει σημαντικό ρόλο στην γεωμετρική οπτική και ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό, προς την ταχύτητά του μέσα στο υλικό. Η ταχύτητα του φωτός μέσα στο μέσο είναι πάντα μικρότερη από ό,τι είναι μέσα στο υλικό και επομένως ο δείκτης διάθλασης είναι πάντα μικρότερος της μονάδας (Young, 1992).



Εικ.3.6: Δείκτης διάθλασης του νερού

Ο δείκτης διάθλασης του θαλασσινού νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητά του καθώς και από το μήκος κύματος του προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αύξηση της διάθλασης συμβαίνει όταν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας.

Η πίεση επηρεάζει το δείκτη διάθλασης και του γλυκού και του θαλασσινού νερού κατά τρόπο σχεδόν γραμμικό (Εικ.3.7). Το σχήμα δείχνει το δείκτη διάθλασης τόσο για γλυκό όσο και για θαλασσινό νερό για βάθη μέχρι 7.500 m. Είναι φανερό ότι στα βάθη 0-500 m η αύξηση της πίεσης, αυξάνει το δείκτη διάθλασης του νερού μόνο κατά 0,0008 (δηλ.0,060%).



Εικ.3.7: Δείκτης διάθλασης του νερού σε σχέση με την αλατότητα και την πίεση

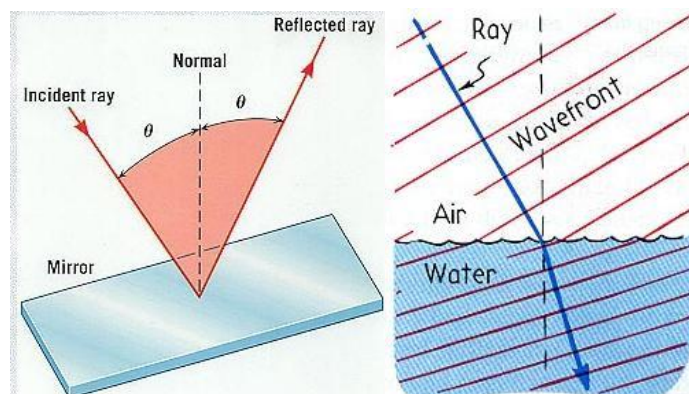
Συμπερασματικά, ο δείκτης διάθλασης του νερού δεν έχει μια σταθερή τιμή, αλλά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μία μέση τιμή του δείκτη διάθλασης του θαλασσινού νερού μπορεί να θεωρηθεί η 1,345 για βάθη μικρότερα των 100 μέτρων. Σε μία υποβρύχια λήψη είναι δύσκολο να υπάρξει μεταβολή του δείκτη διάθλασης γιατί ο χώρος εργασίας είναι περιορισμένος και συνεπώς δεν υπάρχει ούτε μεγάλη (>100 μέτρα) μεταβολή του βάθους ούτε της αλατότητας. Πρόβλημα πιθανώς να δημιουργηθεί αν υπάρχει αισθητή εμφάνιση στρωμάτων νερού (θερμό-ψυχρό).

3.6.2.2 Ανάκλαση - Διάθλαση

Ένα από τα βασικά προβλήματα της υποβρύχιας φωτογραμμετρίας είναι ο φωτισμός και πώς αυτός μειώνεται σε σχέση με το βάθος. Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του φωτός υποβρυχίως, εξαρτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό από τη θέση του ήλιου και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην ιδανική περίπτωση όπου ο ήλιος προσεγγίζει την κατακόρυφη θέση, οι απώλειες του φωτός είναι ελάχιστες και φτάνουν στο 0.2% της συνολικής ηλιακής ενέργειας. Αντίθετα, κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες κατά τις οποίες ο ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα, τότε η απώλεια του φωτός είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

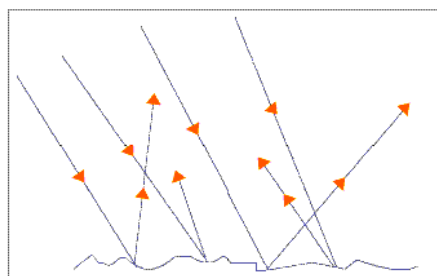
Σημαντικό ρόλο όπως φαίνεται παίζει η γωνία κατά την οποία το φως πέφτει στην προσπίπτουσα επιφάνεια. Σε μια καθαρά ανακλαστική επιφάνεια οι δέσμες του φωτός που προσπίπτουν πάνω στο μέσο ανακλώνται σε διεύθυνση παράλληλη μεταξύ τους. Όμως, το νερό δεν είναι καθαρά ανακλαστική επιφάνεια αφενός επειδή οι ακτίνες δεν ανακλώνται με ομοιόμορφο τρόπο και αφετέρου επειδή οι ακτίνες δεν ανακλώνται στο σύνολό τους δεδομένου ότι ένα μέρος τους διαθλάται. Σύμφωνα με την αρχή της διάθλασης, όταν μια ακτίνα προσκρούει πάνω σε μια διαχωριστική επιφάνεια, το

κύμα εν μέρει διαθλάται στο δεύτερο υλικό και εν μέρει ανακλάται σύμφωνα με συγκεκριμένους νόμους (Εικ.3.8, Young,1992).



Εικ.3.8: Ανάκλαση – Διάθλαση

Τα δύο παραπάνω γεγονότα, της διάθλασης και της ανόμοιας ανάκλασης στην επιφάνεια του νερού, έχουν ως αποτέλεσμα το φως να διαχέεται μέσα στο νερό (Εικ.3.9). Έτσι, η ακτίνα που φτάνει τελικά μέσα στο θαλασσινό νερό έχει υποστεί σημαντική μείωση ενέργειας λόγω διάχυσης. Δε νοούνται δηλαδή δέσμες ακτίνων μέσα στη θάλασσα πια (και κατ' επέκταση στο περιβάλλον φωτογράφισης) αλλά μεταβαλλόμενος φωτισμός σε διεύθυνση και σε ένταση.



Εικ.3.9: Διάχυση φωτός

Ένα άλλο αποτέλεσμα της διαδικασίας της διάθλασης του φωτός που διεισδύει στο νερό για το ανθρώπινο μάτι που βρίσκεται πίσω από το γυαλί της μάσκας και το φακό της μηχανής που βρίσκεται πίσω από το γυαλί της θήκης της μηχανής, είναι η λεγόμενη διαθλαστική οπτική απάτη. Το φως για να φτάσει στο μάτι ή στο φακό της μηχανής πρέπει να περάσει από τρία, διαφορετικής οπτικής πυκνότητας σώματα, το νερό, το γυαλί και τον αέρα. Αυτό σημαίνει πως η ακτίνα του φωτός διαθλάται τρεις φορές, με αποτέλεσμα το αντικείμενο να φαίνεται κατά το $\frac{1}{4}$ μεγαλύτερο από την πραγματικότητα, ενώ η φαινομενική του απόσταση είναι κατά το $\frac{1}{4}$ μικρότερη της πραγματικής. Ανά πάσα στιγμή λοιπόν, ο δύτες πρέπει να έχει την ικανότητα να υπολογίζει την πραγματική απόσταση των αντικειμένων από αυτόν.

3.6.2.3 Απώλεια των χρωμάτων

Κάθε υποπεριοχή του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο μια συγκεκριμένη αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος. Τα μήκη κύματος των διαφόρων χρωμάτων είναι:

Συχνότητα (nm)	Χρώμα	
400 – 440	Ιώδες	Η διαφοροποίηση αυτή των χρωμάτων όσον αφορά το μήκος κύματός τους, έχει ως αποτέλεσμα τα χρώματα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας να μην απορροφώνται ομοιόμορφα από το νερό αλλά να γίνεται μια κατ'επιλογή απορρόφηση των χρωμάτων ανάλογα με το μήκος κύματος. Το φαινόμενο αυτό που ονομάζεται και επιλεκτική απορρόφηση, έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση των χρωμάτων ανάλογα με το βάθος. Πρώτο απορροφάται το κόκκινο (3 μέτρα), ακολουθούν το πορτοκαλί (5 μέτρα) και το κίτρινο (10 μέτρα), στη συνέχεια απορροφάται το πράσινο (20 μέτρα) και τέλος, μετά τα 30 μέτρα παραμένει
440 – 480	Κυανό	
480 – 560	Πράσινο	
560 – 590	Κίτρινο	
590 – 630	Πορτοκαλί	
630 - 700	Ερυθρό	

το μπλε-γκρί. Σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, προοδευτικά, αρχίζει να κυριαρχεί το μαύρο. Έτσι, το νερό έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σαν φίλτρο συγκρατώντας ορισμένα χρώματα από άλλα και κυρίως τα θερμότερα, καθώς το φως περνά μέσα από αυτό.

3.6.2.4 Απορρόφηση του φωτός

Η ενέργεια της φωτεινής ακτίνας μειώνεται με την απορρόφηση από τα μόρια του νερού. Σύμφωνα με τη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, το φως αποτελείται από σωματίδια τα οποία εκπέμπονται από την πηγή του φωτός σε μορφή φωτονίων. Η απορρόφηση φαίνεται να οφείλεται στην απώλεια φωτονίων, η οποία οφείλεται με τη σειρά της στον μετασχηματισμό των φωτονίων σε θερμική και κινητική ενέργεια. Η παρουσία προσμίξεων, έχει ως αποτέλεσμα η φωτεινή δέσμη να μειώνεται ακόμα περισσότερο. Το οπτικό αποτέλεσμα που δημιουργείται είναι ο φωτισμός να παρουσιάζεται μειωμένος κάτω από την επιφάνεια σε μια προοδευτική εξάντληση με ταυτόχρονη αύξηση του βάθους, σε σημείο ώστε να έχει διατηρήσει μόνο το 20% περίπου της αρχικής του ενέργειας σε βάθος 150-200 μέτρων.

3.6.2.5 Μείωση της ευκρίνειας και των λεπτομερειών

Τόσο η ανάλυση όσο και η αντίθεση (contrast) μιας εικόνας επηρεάζονται άμεσα από τη σκέδαση του φωτός, η οποία με τη σειρά της προέρχεται κατά ένα μεγάλο μέρος από το ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων στο θαλασσινό νερό. Η σκέδαση είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από το μήκος κύματος και τείνει να κινείται σε κατεύθυνση παράλληλη προς την κατεύθυνση διάδοσης της φωτεινής δέσμης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι σε μεγάλο βαθμό η αιτία για τη γενική μείωση του φωτισμού. Είναι αυτά που δημιουργούν το γενικότερο αίσθημα της ομίχλης, την απώλεια του κοντράστ και την αισθητή μείωση των λεπτομερειών του αντικειμένου όσο μεγαλώνει η απόσταση από το μάτι. Είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθεί η φωτογράφιση με ικανοποιητικό κοντράστ ακόμα και αν πραγματοποιείται σε καθαρά νερά (ορατότητα 40-50 μέτρα) για αποστάσεις λήψης μεγαλύτερες από 4-5 μέτρα.

3.6.2.6 Άλλοι παράγοντες παραμορφώσεων

Επιπτώσεις στην ποιότητα της τελικής εικόνας μπορεί να προκληθούν και από διάφορες άλλες αιτίες όπως οι ακόλουθες:

- Ύπαρξη θερμοκλινών στρωμάτων. Το θερμοκλινές είναι η επιφάνεια επαφής μεταξύ δύο στρωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας. Αποτέλεσμα του θερμοκλινούς είναι να παρουσιάζεται μια μεταβαλλόμενη θολούρα σε ένα οριζόντιο επίπεδο του οποίου οι διαστάσεις δεν είναι σταθερές. Το βάθος στο οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο δεν είναι σταθερό για την ίδια περιοχή και εξαρτάται από τις γενικότερες κλιματολογικές συνθήκες της ημέρας. Επίσης, παρόμοια οπτική παραμόρφωση μπορεί να παρουσιαστεί στα σημεία όπου συμβάλλουν όγκοι νερού διαφορετικής πυκνότητας ή επίσης σε περιοχές με υποβρύχιες αναθυμιάσεις ή διαρροή φυσαλίδων.
- Ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης (λόγω τοπικών διαφορών θερμοκρασίας, αλατότητας κλπ.). Η ανομοιογένεια στον δείκτη διάθλασης μπορεί να προκαλέσει αποκλίσεις από το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω.
- Παραμορφώσεις από τη μη επιπεδότητα της γυάλινης ή πλαστικής επιφάνειας της θήκης της μηχανής, όπου είναι πιθανό να παραποιοούνται σημαντικά οι γωνίες πρόσπτωσης.
- Διάχυση και απορρόφηση του φωτός. Στα υγρά το φως διαχέεται και απορροφάται με αποτέλεσμα την εν μέρει εξαφάνισή του και μείωση του κοντράστ της εικόνας.
- Η χρωματική διασπορά του φωτός είναι πολύ μεγαλύτερη στο νερό απ'ότι στον αέρα. Η διακύμανση του δείκτη διάθλασης στο νερό πάνω από το ορατό φάσμα είναι της τάξης του 1,4%, σε αντίθεση με 0,008% που είναι στον αέρα (Hoehle, 1971). Αυτό οδηγεί σε χρωματικές αλλοιώσεις ή θολούρες πάνω στην εικόνα, ιδιαίτερα για ασπρόμαυρες εικόνες. Με προσοχή, επίσης, θα πρέπει να γίνεται και η επιλογή εξωτερικών πηγών φωτισμού, όταν αυτές διακρίνονται από διαφορετικά φασματικά χαρακτηριστικά.
- Το οπτικό σύστημα υγρό-γυαλί-αέρας-φακός της μηχανής δεν υφίσταται αυτόματη διόρθωση λόγω εκτροπών, αν έχει διορθωθεί μόνο ο φακός της μηχανής.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες προκαλούν υποβάθμιση της τελικής εικόνας και δημιουργούν συστηματικά σφάλματα που δεν μπορούν να ανιχνευθούν πάντα και να ενταχθούν σε κάποιο μαθηματικό μοντέλο διόρθωσης (Maas, 1995). Τα αποτελέσματα των υποβρύχιων λήψεων όπως είναι φυσικό, δεν μπορούν να εξισωθούν τις περισσότερες φορές με αυτά των επίγειων λήψεων.

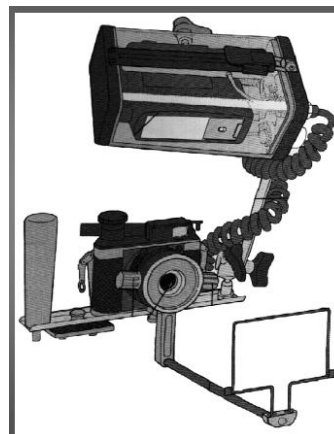
3.7 Μηχανές Υποβρυχίων Λήψεων

Η πρώτη υποβρύχια φωτογραφία τραβήχτηκε τον Φεβρουάριο του 1856 από τον Άγγλο William Thompson ως αποτέλεσμα μιας προσπάθειας καταγραφής όσων αφορούν τη θαλάσσια ζωή. Η ιδέα όμως για την υποβρύχια φωτογραφία του ήρθε σαν ένα φθινό μέσο παρατήρησης της αντοχής και της κατάστασης των υποβρυχίων κατασκευών, παρατηρώντας μια αποβάθρα που την έδερναν τα κύματα. Αντίστοιχους πειραματισμούς έκαναν πολλοί ακόμη επιστήμονες, διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων ο καθένας (από μηχανικοί μέχρι και δικηγόροι) μεταξύ των οποίων οι πιο γνωστοί Ludwig Bauer, Ernest Bazin, Louis Boutan και Joseph David. Οι δύο τελευταίοι γνώρισαν μεγάλη αναγνώριση με τις υποβρυχίες φωτογραφίες που τράβηξαν στον κόλπο Banyuls και από εκεί και έπειτα η υποβρύχια φωτογραφία γνώρισε αργή μεν, αλλά σταθερή ανάπτυξη.

Στα χρόνια που ακολούθησαν δύο ονόματα κυριάρχησαν στην υποβρύχια φωτογραφία, αμφοτέρων των οποίων η συμβολή θεωρήθηκε τεράστια. Ο λόγος για τον αυστριακό Hans Hass και για τον γάλλο Jacques Yves Cousteau, πασίγνωστο υποβρύχιο κινηματογραφιστή. Το 1949 σε συνεργασία με την εταιρεία Franke & Heidecke κατασκευάστηκε η πρώτη υδατοστεγής υποβρύχια θήκη για μια από τις καλύτερες φωτογραφικές μηχανές τη εποχής, την διοπτρική Rolleiflex 6 X 6, η οποία πήρε το όνομα Rolleimarin (Ασιθιανάκης, 2010). Ο Cousteau μαζί με τις καινοτομίες που εισήγαγε στον καταδυτικό εξοπλισμό, κατασκεύασε και την πρώτη υποβρύχια φωτογραφική μηχανή 135 μαζί με τον Βέλγο εφευρέτη και σχεδιαστή Jean De Wouters, Calypso-Phot (Εικ.3.10) που αποτελεί πρότυπο για την σειρά Nikonos της Nikon(Εικ.3.11).



Εικ.3.10: Η πρώτη υποβρύχια φωτογραφική μηχανή, Calypso-Phot



Εικ.3.11: Η υποβρύχια μηχανή NIKONOS

Η υποβρύχια NIKONOS είναι μηχανή μικρού φορμάτ (35mm), στεγανή από την κατασκευή της και με δυνατότητα εναλλαγής φακών. Διαθέτει ακόμα εσωτερικό και εξωτερικό σκόπευτρο για το καδράρισμα της εικόνας και ειδική υποδοχή για σύνδεση με ηλεκτρονικό φλας (Γεωργόπουλος, 2003).

Η ιδέα για το κλείσιμο της φωτογραφικής μηχανής σε υδατοστεγή θήκη είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία ανάπτυξη των υποβρύχιων αυτών θηκών. Οι βασικές αρχές κατασκευής και λειτουργίας τους είναι οι εξής:

α) Εκτός από την ROLLEIMARIN και διάφορα παλιά μοντέλα χρησιμοποιούν λαστιχένιες τσιμούχες. Όλες οι στεγανοποιήσεις, όπως και η λειτουργία των χειριστηρίων, γίνονται με στρογγυλά λαστιχένια δαχτυλίδια, τα o-rings.

β) Τα σχήματα που συνήθως χρησιμοποιούνται για να είναι ανθεκτικά στις πιέσεις είναι κυλινδρικά, ωοειδή, παραβολικά, σφαιρικά (πιο σπάνια) και οπωσδήποτε όχι πολυεδρικά. Πάντα βέβαια παίζει μεγάλο ρόλο το μέγεθος και το μοντέλο της μηχανής για τη θέση των χειριστηρίων και της σκόπευσης.

γ) Όσον αφορά τη χρήση διαφόρων φακών, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι πρόσθετων PORTS (συνήθως από χρωματικά διορθωμένο για υποβρύχια χρήση κρύσταλλο ή πλαστικό), ανάλογα με το μήκος και την κάλυψη του φακού. Μέχρι 28mm χρησιμοποιούνται επίπεδα κρύσταλλα, όμως σε πιο ευρυγώνιους φακούς είναι απαραίτητη η χρήση θόλων που διορθώνουν την παραβολική παραμόρφωση που παρατηρείται στα άκρα.

δ) Το πρόβλημα του υλικού ακόμα και σήμερα διχάζει τους κατασκευαστές αλλά και τους υποβρύχιους φωτογράφους. Οι οπαδοί των μεταλλικών θηκών (ανοξείδωτο ή κράματα αλουμινίου με εποξικές βαφές για προστασία από οξειδώσεις) υποστηρίζουν τη μεγαλύτερη αντοχή και σιγουριά σε μεγάλα βάθη, τον μαλακότερο χειρισμό των χειριστηρίων στα βαθιά και γενικά το ότι είναι πιο συμπαγείς κατασκευές. Όμως η ραγδαία τελειοποίηση των πλαστικών θηκών έχει κάνει σοβαρότερους ανταγωνιστές των κλασικών μεταλλικών θηκών καθώς και παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα: μικρό κόστος, ευχρηστία κατά τη μεταφορά στην ξηρά λόγω μικρότερου βάρους, δυνατότητα συνεχούς ελέγχου των controls ή πιθανότητας διαρροής.

Η πρώτη εταιρεία που κατασκεύασε πλαστικές θήκες ήταν η IKELITE και πολλές άλλες την μιμήθηκαν κατά καιρούς κατασκευάζοντας θήκες από άλλα υλικά. Οι εταιρείες αυτές σήμερα κατασκευάζουν θήκες για όλες σχεδόν τις μηχανές, που επιτρέπουν χρήση οποιουδήποτε φακού. Η τεράστια ποικιλία έχει λύσει σήμερα πολλών ειδών τεχνικά προβλήματα δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα χρήσης κάτω από το νερό ακόμα και των πιο ακριβών επαγγελματικών μηχανών.

Αν εξαιρεθούν οι πολύ απλές υποβρύχιες μηχανές από τις οποίες λίγες αποτελούν ολοκληρωμένο σύστημα αφού διαθέτουν διορθωτικό φακό και εξωτερικό φλας, πρόσθετους ευρυγώνιους και close up φακούς. Αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι να τονιστούν τα υπέρ και τα κατά των θηκών έναντι στις αμφίβιες μηχανές. Οι αμφίβιες μηχανές είναι γενικά μικρότερες σε μέγεθος και συνολικό βάρος. Μπορεί κανείς κατά τον ίδιο τρόπο να τις χρησιμοποιήσει μέσα και έξω από το νερό, χωρίς να είναι αναγκασμένος κάθε φορά προσαρμόζει την μηχανή στη θήκη. Μπορεί κανείς να αλλάζει φακούς (μόνο προσθετικούς βέβαια) ακόμα και μέσα στο νερό ανάλογα με την κατάσταση. Από την άλλη μεριά, οι θήκες είναι οπωσδήποτε πιο ογκώδεις, έχουν

όμως τα παρακάτω πλεονεκτήματα: μπορεί κανείς να στεγανοποιήσει τη μηχανή της ξηράς που έχει χωρίς να υποχρεωθεί σε πρόσθετα έξοδα για να αγοράσει μια αμφίβια μηχανή με όλα τα παρελκόμενα υποβρύχια αξεσουάρ και τους φακούς της. Εξ' άλλου η δυνατότητα φωτογράφισης μιας αμφίβιας μηχανής στην ξηρά από άποψη ποικιλίας και ποιότητας των φακών είναι περιορισμένη.

3.8 Υποβρύχια Βαθμονόμηση Μηχανής

Κάθε φωτογραμμετρική εφαρμογή προϋποθέτει την ακριβή γνώση των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιεί. Το σύνολο των μετρητικών και υπολογιστικών διαδικασιών που προσδιορίζουν τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού των φωτογραφικών μηχανών ονομάζεται βαθμονόμηση (ή έλεγχος ή διακρίβωση). Θεωρητικά, είναι αδιάφορο το πόσο κάθε σύστημα «φακού-μηχανής-φιλμ (αναλογικές μηχανές) /αισθητήρας CCD (ψηφιακές μηχανές)» παραμορφώνει γεωμετρικά την απεικόνιση, αρκεί να είναι με ακρίβεια γνωστή η παραμόρφωση αυτή, ώστε οι μετρήσεις να ανάγονται κατάλληλα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών. Η ζητούμενη αυτή αναγωγή είναι ουσιαστικώς η προσαρμογή του γεωμετρικού μοντέλου της συγκεκριμένης κεντρικής προβολής η οποία περιγράφει κατά τον καλύτερο τρόπο τη γεωμετρία της συγκεκριμένης μηχανής (Γεωργόπουλος, 2003).

Ιδιαίτερα για τους ψηφιακούς δέκτες, είναι σημαντικό, εκτός των άλλων παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού, να γίνεται έλεγχος του σχήματος και του μεγέθους του εικονοστοιχείου, όπως επίσης και των ενδεχόμενων γεωμετρικών αλλοιώσεων που μπορεί να οφείλονται στην ηλεκτρονική μεταφορά του σήματος από το CCD στη μνήμη του υπολογιστή. Το σύνολο αυτό των γεωμετρικών παραμορφώσεων μπορεί να εξακριβωθεί μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας της βαθμονόμησης μιας ψηφιακής μηχανής (Γεωργόπουλος, Τουρνάς, 1995).

Το πρόβλημα της υποβρύχιας βαθμονόμησης φωτογραφικής μηχανής μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα πολύπλοκο. Πρόκειται για μια φωτογραμμετρική εφαρμογή, κατά την οποία η ακτίνα που ξεκινά από ένα αντικείμενο μέχρι τη στιγμή που θα φτάσει στον αισθητήρα, διαπερνά τρία διαφορετικά μέσα (multimedia photogrammetry). Εν προκειμένω, το αντικείμενο βρίσκεται σε νερό, ο αισθητήρας σε αέρα και τα δύο αυτά μέσα διαχωρίζονται μέσω μιας γυάλινης επιφάνειας (υδατοστεγής θήκη μηχανής ή housing).

Στο παρελθόν έχουν επιχειρηθεί διάφορες προσπάθειες υποβρύχιας βαθμονόμησης φωτογραφικών μηχανών. Στις περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές (Canciani, 2003; Harvey, 2003; Gründig, 1999; Shortis & Harvey, 1998 κ.ά.) το σύστημα μηχανή-θήκη αντιμετωπίστηκε σαν μία ολότητα, μέσω μίας τυπικής αυτοβαθμονόμησης, όπως αυτή να πραγματοποιείται στη στεριά. Το 1971, ο Höhle, στο πλαίσιο μιας αρχαιολογικής ανασκαφής ενός ναυαγίου, πραγματοποίησε βαθμονόμηση (πεδίου ελέγχου) υποβρυχίως, με γνωστές τις διαστάσεις ενός πλαισίου που τοποθέτησε πάνω από το ναυάγιο. Το 2003, ο Lavest πρότεινε βαθμονόμηση φωτογραφικής μηχανής

στη στεριά, κάνοντας αναγωγή της εστιακής απόστασης και των διαστροφών στο δείκτη διάθλασης του νερού.

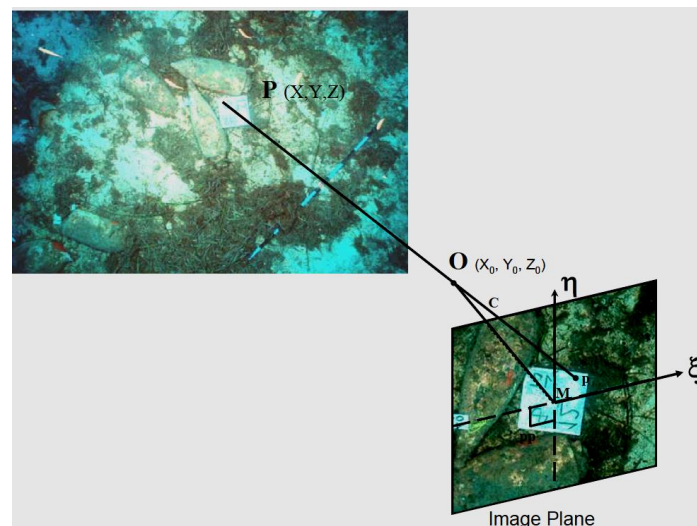
3.8.1 Σημασία αποκατάστασης εσωτερικού προσανατολισμού

Για να καταστεί δυνατή η ανάπλαση της μορφής και ο προσδιορισμός της θέσης ενός αντικειμένου από φωτογραφικές λήψεις, θα πρέπει πρώτα να κατανοηθούν οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν τη γεωμετρία μιας φωτογραφίας.

Το σημείο $P(X, Y, Z)$ του φωτογραφηθέντος αντικειμένου, το προβολικό κέντρο O καθώς και η προβολή του σημείου P στην εικόνα, δηλαδή το σημείο p , βρίσκονται στο χώρο σε μία ευθεία γραμμή (Εικ.3.12). Η συνθήκη αυτή ονομάζεται συνθήκη συγγραμμικότητας και δίνεται από δύο εξισώσεις:

$$\xi - \xi_o + \Delta\xi = -c \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{21}(Y - Y_o) + r_{31}(Z - Z_o)}{r_{13}(X - X_o) + r_{23}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

$$\eta - \eta_o + \Delta\eta = -c \frac{r_{12}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{32}(Z - Z_o)}{r_{13}(X - X_o) + r_{23}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$



Εικ.3.12: Συνθήκη Συγγραμμικότητας

O: προβολικό κέντρο (σημείο λήψης)

PP: πρωτεύον σημείο (ξ_o, η_o)

C: σταθερά μηχανής λήψης

M: κέντρο της εικόνας (σημείο τομής των ευθειών που ενώνουν τα σημεία πλαισίου)

Οι εξισώσεις της συνθήκης συγγραμμικότητας δείχνουν ότι σε κάθε σημείο του αντικειμένου αντιστοιχεί ένα και μοναδικό σημείο της εικόνας (Kraus, 2004).

Η αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού είναι πρωτεύουσας σημασίας για κάθε φωτογραμμετρική επεξεργασία. Η γνώση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας φωτογραφικής μηχανής είναι απαραίτητη αν οι φωτογραφίες που θα ληφθούν με

τη μηχανή αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς μετρήσεις αντικειμένων. Τα χαρακτηριστικά της μηχανής που προσδιορίζονται κατά τη βαθμονόμηση διακρίνονται σε γεωμετρικά (θέση πρωτεύοντος σημείου, εστιακή απόσταση φακού, επιπεδότητα εστιακού αντικειμένου) και σε φυσικά χαρακτηριστικά (παραμόρφωση φακών, διακριτική ικανότητα φακών).

Το σημαντικότερο ίσως από τα παραπάνω, που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, είναι η εστιακή απόσταση του φακού, για τον λόγο ότι είναι το πιο ευμετάβλητο -σε σχέση με τα υπόλοιπα- χαρακτηριστικό και κυρίως διότι είναι το μέγεθος εκείνο, το οποίο είναι συγγραμμικό της τρίτης διάστασης, η οποία ως γνωστό είναι αυτή που υπολογίζεται με τη μικρότερη ακρίβεια (Πατιάς, 1991).

Στην υποβρύχια φωτογραμμετρία, η φωτογραφική μηχανή είναι πολύ σημαντικό να βαθμονομείται κάτω από τις ίδιες συνθήκες με αυτές της φωτογράφισης του προς φωτογραμμετρική τεκμηρίωση αντικειμένου. Η εσωτερική γεωμετρία της μηχανής διαφοροποιείται σημαντικά ακόμη και μεταξύ μερικών μέτρων κάτω από το νερό· ακόμη πιο σημαντικά θα διαφοροποιείται, συνεπώς, μεταξύ αέρα και νερού. Η επίτευξη, συμπερασματικά, της καλύτερης δυνατής ακρίβειας του προσδιορισμού της θέσης ενός αντικειμένου στο χώρο, είναι αποτέλεσμα της ακριβούς γνώσης της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής στις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται το αντικείμενο αυτό όταν φωτογραφίζεται.

3.8.2 Εφαρμογή βαθμονόμησης στο περιβάλλον του ναυαγίου

Κατά την φωτογραμμετρική τεκμηρίωση του ναυαγίου στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, η βαθμονόμηση που πραγματοποιήθηκε υποβρυχίως, έδωσε ενιαίο χαρακτήρα στο σύστημα «φωτογραφική μηχανή-θήκη». Συγκεκριμένα, η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν μία SONY DSLR A-700 (f/4.5, ενεργό μέγεθος αισθητήρα 23,5x15,6 mm, μέγεθος pixel 5,8μm, ενεργά pixel αισθητήρα 12,24 MP, φακός 13mm) (Εικ.3.13). Η θήκη που στεγανοποίησε τη μηχανή (housing) ήταν της εταιρείας IKELITE (Εικ.3.14). Τέλος, λόγω του μειωμένου φωτισμού ήταν απαραίτητη η προσθήκη επιπλέον φωτισμού και φλας, επίσης της IKELITE.



Εικ.3.13: Φωτογραφική μηχανή SONY DSLR A700
IKELITE



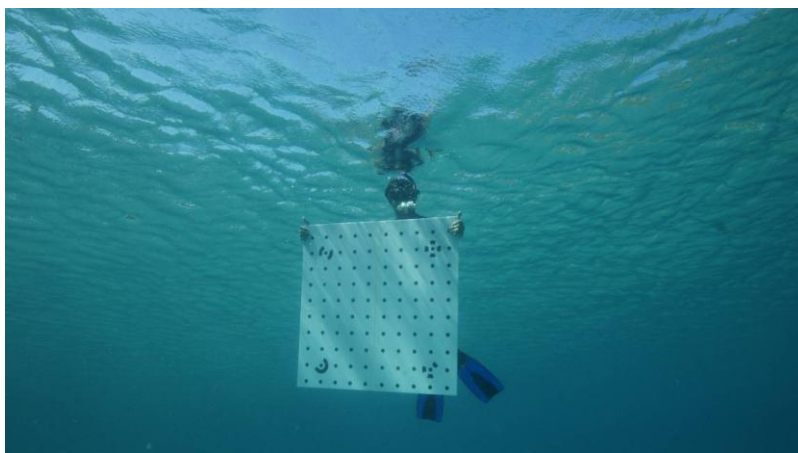
Εικ.3.14: Υποβρύχια θήκη

Το βάθος στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο κυμαίνεται από τα 39 μέτρα (ρηχό μέρος) μέχρι τα 47 μέτρα (βαθύ μέρος), σε κατηφορικό βυθό. Οι διαστάσεις του ναυαγίου είναι 17x7m². Ο συνδυασμός των παραπάνω βαθών και διαστάσεων έκαναν επιτακτική την ανάγκη για χρήση ενός ευρυγώνιου φακού 13mm.

3.8.3 Επίλυση βαθμονόμησης σε περιβάλλον Photomodeler

Το διαθέσιμο λογισμικό για την εκτέλεση της βαθμονόμησης ήταν το ενσωματωμένο στο λογισμικό Photomodeler scanner *Calibration Project* της Eos Systems Inc. Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτόματης βαθμονόμησης φωτογραφικών μηχανών, μέσω της αυτόματης αναγνώρισης κωδικοποιημένων κουκίδων-στόχων, που εύκολα μπορούν να τυπωθούν σε ανθεκτική αυτοκόλλητη επιφάνεια και να κολληθούν στη συνέχεια σε επίπεδο ταμπλώ.

Το ταμπλώ που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της βαθμονόμησης είχε διαστάσεις 0,9x0,9 m² και επιλέχθηκε ως υλικό κατασκευής του το Plexiglas, που έχει αρνητική πλευστότητα με αποτέλεσμα να μπορεί να βυθίζεται και να παρουσιάζει ιδιαίτερη ανθεκτικότητα (Εικ.3.15).

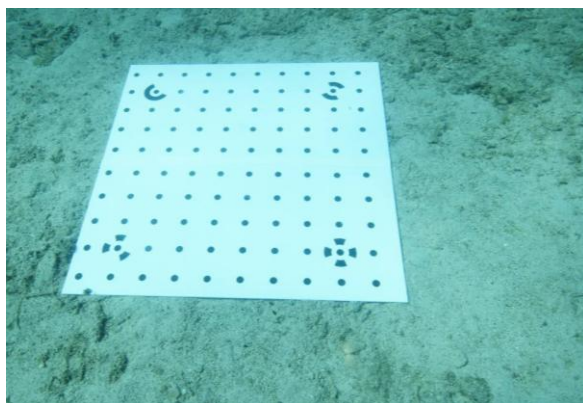


Εικ.3.15: Δύτης, πριν την κατάδυση, κρατά το ταμπλώ της βαθμονόμησης

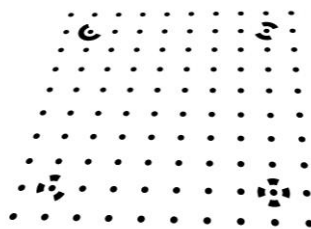
Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση συλλέχθηκαν με τα παρακάτω κριτήρια:

- Η φωτογραφική μηχανή να έχει τις ίδιες παραμέτρους (εστιακή απόσταση, φωτισμός κλπ), τόσο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης όσο και κατά τη φωτογράφιση του αντικείμενου για φωτογραμμετρική επεξεργασία.
- Το ταμπλώ της βαθμονόμησης να καλύπτει σημαντικό ποσοστό της έκτασης της εικόνας.
- Οι φωτογραφίες να λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες, διαφορετικές αποστάσεις από το αντικείμενο και από τις 4 πλευρές του ταμπλώ (90° στροφή), τόσο σε οριζόντιο φορμάτ, όσο και σε κατακόρυφο.

Οι εικόνες που συλλέχθηκαν για βαθμονόμηση (Εικ.3.16α) τέθηκαν υπό επεξεργασία στο λογισμικό Adobe Photoshop, ώστε να βελτιστοποιηθούν οπτικά, να εξαλειφθεί ο θόρυβος και να μπορούν να αναγνωριστούν μόνο οι επιθυμητοί στόχοι (Εικ.3.16β).

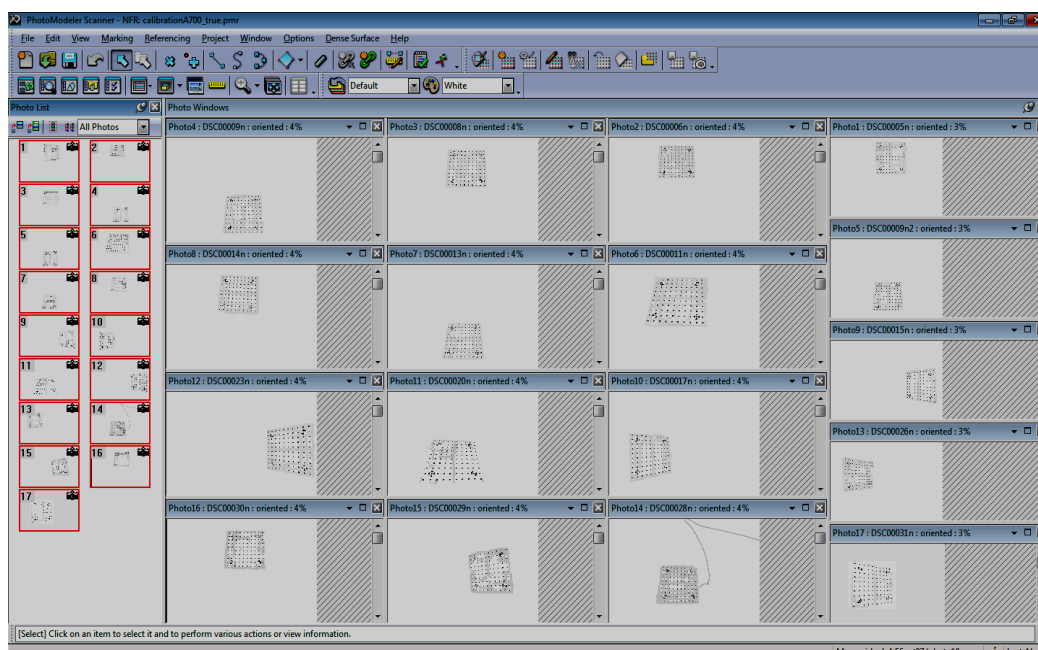


Εικ.3.16α: Αρχική εικόνα για βαθμονόμηση της μηχανής

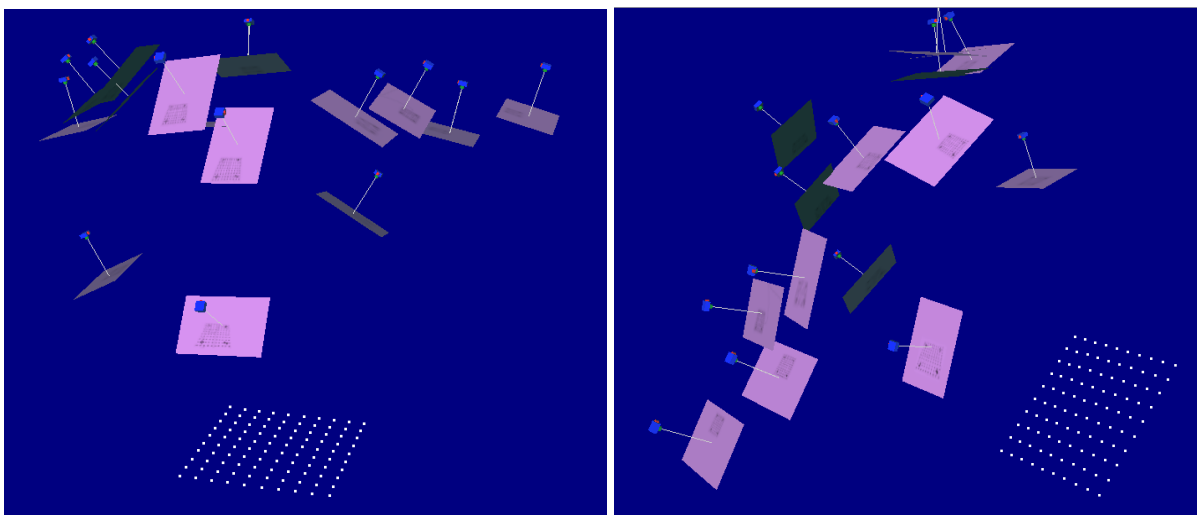


Εικ.3.16β: Επεξεργασμένη εικόνα έτοιμη για την επίλυση της βαθμονόμησης

Στη συνέχεια, 17 εικόνες εισήχθησαν και τέθηκαν υπό επεξεργασία στο περιβάλλον του Photomodeler, όπου επιλύθηκε η βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής (calibration project). Για την αναγωγή του αντικειμένου σε σωστή κλίμακα (αποκατάσταση μεγέθους αντικειμένου), ορίστηκαν κάποιες δεσμεύσεις πριν τη διαδικασία της αυτοβαθμονόμησης. Οι δεσμεύσεις αυτές ήταν οι αποστάσεις μεταξύ των 4 κωδικοποιημένων στόχων, οι οποίες μετρήθηκαν με μετροταινία. Κατά τη βαθμονόμηση, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) του σχετικού προσανατολισμού των εικόνων βρέθηκε ίσο με 0,76 pixels και το RMS του απόλυτου προσανατολισμού ίσο με 3,3 mm.



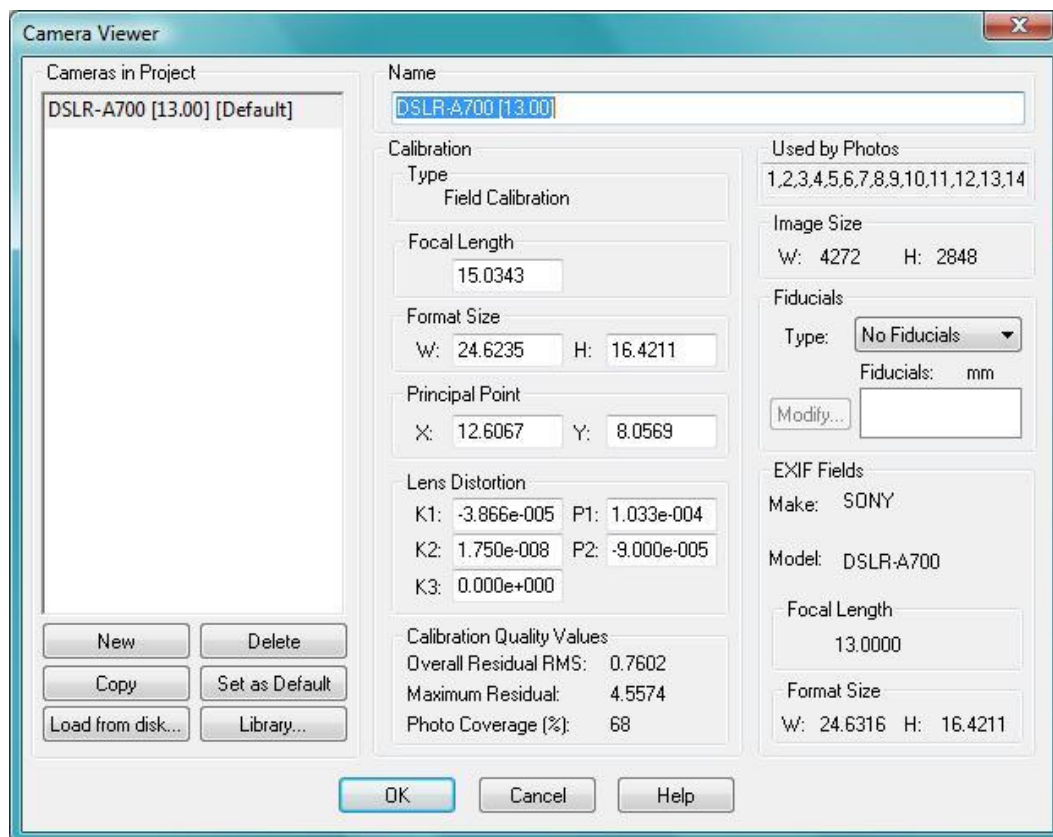
Εικ.3.17: Σειτ φωτογραφιών υπό επεξεργασία σε περιβάλλον Photomodeler



Εικ.3.18: Υπολογισμός θέσεων λήψεων φωτογραφιών μετά τη βαθμονόμηση, 3d viewer του Photomodeler

Τα στοιχεία της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτογραφικής μηχανής που υπολογίστηκαν ήταν: η εστιακή απόσταση (c), οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου (x_0, y_0), καθώς και οι παράμετροι της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστρωφής (K_1, K_2, K_3, P_1, P_2).

Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ.3.19: Αποτελέσματα βαθμονόμησης, Photomodeler (calibration project report)

Από τα αποτελέσματα της επίλυσης της βαθμονόμησης, η εστιακή απόσταση βρέθηκε ίση με 15.0343mm. Ο λόγος της τιμής αυτής προς την ονομαστική τιμή του φακού (13mm) είναι 1,15. Ο δείκτης διάθλασης είναι ίσος θεωρητικά με 1,345, τιμή που απέχει από την τιμή 1,15. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης διάθλασης δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την εστιακή απόσταση της μηχανής, αλλά συμβάλλουν και άλλοι παράγοντες σε αυτό, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν πρωτίτερα (απορρόφηση φωτός, αιτίες παραμορφώσεων εικόνας κλπ), που όμως δεν είναι άμεσα ανιχνεύσιμοι για το λόγο ότι δεν υφίσταται κάποιος κανόνας που να τους προσδιορίζει αριθμητικά.

Ένα ερώτημα που προκύπτει σε αυτό το σημείο, είναι το αν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης από το Photomodeler μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής και σε άλλα λογισμικά πακέτα. Ωστόσο, αυτό το ερώτημα είναι δύσκολο να απαντηθεί πλήρως στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αφού δεν ήταν δυνατό να γίνει κάποιου είδους έλεγχος μέσω μιας επιπλέον βαθμονόμησης σε κάποιο άλλο λογισμικό. Το Photomodeler υπολογίζει τον εσωτερικό προσανατολισμό κάθε εικόνας ξεχωριστά χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο γραμμικής παρεμβολής που εντοπίζει αρχικά τις ακμές των κουκίδων και στη συνέχεια βρίσκει και μαρκάρει το κέντρο κάθε κουκίδας (Walford,1996). Επίσης, σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του *Calibration Project* του Photomodeler, τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης θεωρούνται αποδεκτά, συνεπώς και επαρκή και για άλλα λογισμικά, με την προϋπόθεση ότι τα σφάλματα της επίλυσης διατηρούνται πολύ χαμηλά (συνολικό RMS μικρότερο του 1/5 της εικονοψηφίδας) και οι εξωτερικές δεσμεύσεις (μετρημένες αποστάσεις) είναι όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα γίνεται. Παρ'όλα αυτά, τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού ήταν απαραίτητα για τη συνέχιση της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας των δεδομένων, οπότε χρησιμοποιήθηκαν έτσι όπως υπολογίστηκαν, ακόμη κι αν, όπως ήταν αναμενόμενο, μετέφεραν τα συστηματικά τους σφάλματα στους μετέπειτα προσανατολισμούς των εικόνων.

3.9 Φωτογράφιση ναυαγίου

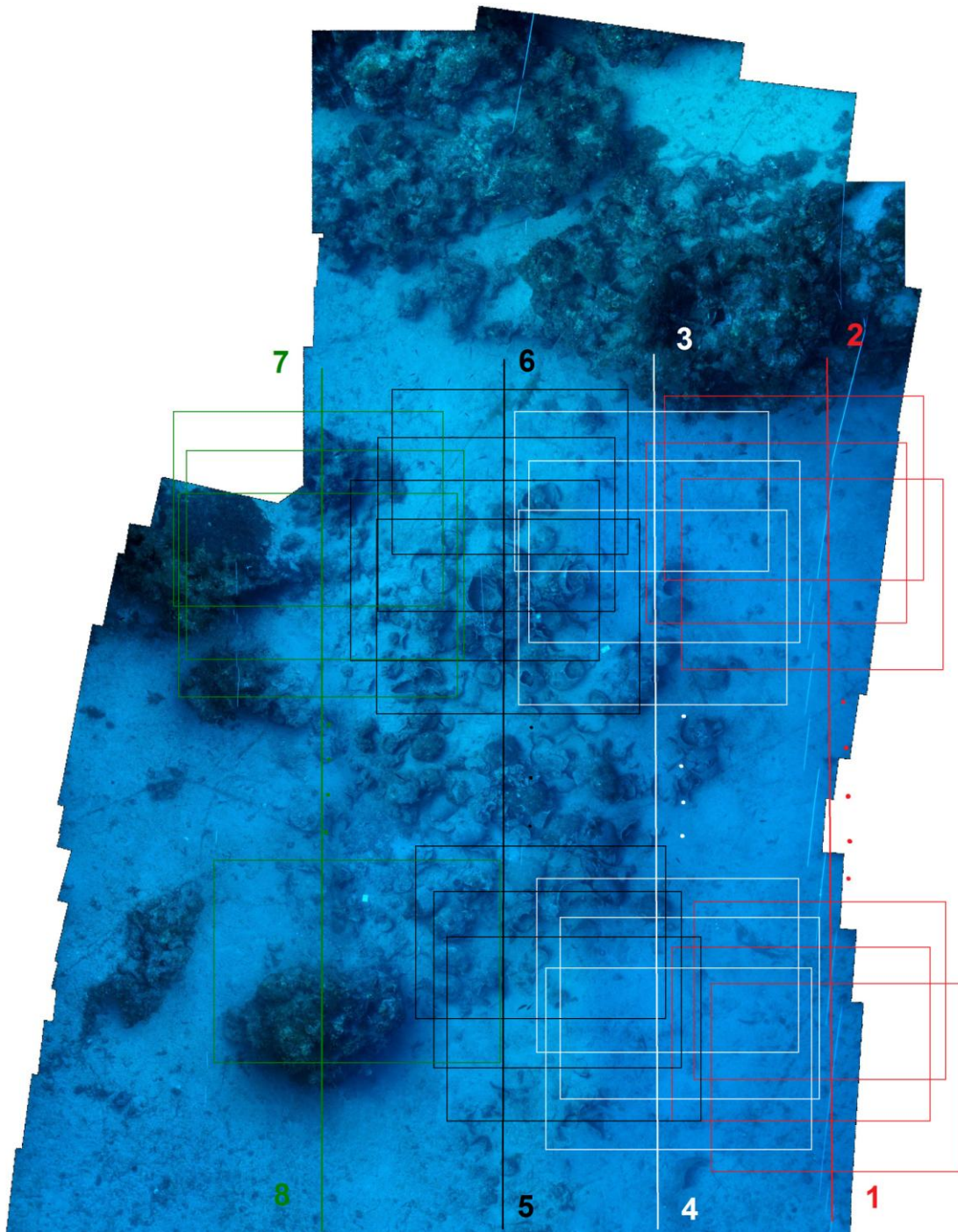
3.9.1 Προγραμματισμός λήψεων

Για τον προγραμματισμό της φωτογράφισης του ναυαγίου, πολύ βοηθητικό στοιχείο ήταν το φωτομωσαϊκό (χωρίς μετρητική αξία) που είχε δημιουργηθεί σε προηγούμενο έτος κατά την αναγνωριστική φωτογράφιση μετά τον εντοπισμό του ναυαγίου. Σ' αυτό το φωτομωσαϊκό στηρίχθηκε και η κατανομή των φωτοσταθερών σημείων (βλ. §3.2) στην έκταση του ναυαγίου. Η ιδιαιτερότητα της αδυναμίας συνεννόησης στην περιοχή εργασιών, υπέδειξε την ανάγκη ενός οργανωμένου προγραμματισμού λήψεων.

Οι διαστάσεις του ναυαγίου είναι περίπου $18 \times 7 \text{m}^2$, σε έναν βυθό με κατηφορική κλίση, με το ρηχότερο σημείο του να είναι στα 39 μέτρα και το βαθύτερο στα 47 μέτρα. Με βάση το δεδομένο φωτομωσαϊκό προγραμματίστηκαν οι λωρίδες πτήσης πάνω από το ναυάγιο. Ζητούμενα ήταν:

- Ύψος πτήσης πάνω από το ναυάγιο 5-6 μέτρα
- Κατά μήκος επικάλυψη 70-80%
- 4 λωρίδες πτήσης (1-2, 3-4, 5-6, 7-8)
- Κατά πλάτος επικάλυψη 50%

Στην εικόνα 3.20 παρουσιάζονται το φωτομωσαϊκό του ναυαγίου και οι λωρίδες πτήσης.



Εικ.3.20: Προγραμματισμός λήψεων, φωτομωσαϊκό ναυαγίου, 2007, B.Hartzler

3.9.2 Προβλήματα φωτογράφισης

Η ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο δημιούργησε κάποια προβλήματα κατά τη φωτογράφιση. Το πρώτο πρόβλημα που προέκυψε ήταν η πολύ *περιορισμένη ορατότητα* (1-2 μέτρα) κατά τις πρώτες ημέρες της έρευνας. Με αυτές τις συνθήκες ήταν ανέφικτη μία φωτογράφιση σύμφωνα με τον παραπάνω προγραμματισμό λήψεων. Για τον λόγο αυτό, η φωτογράφιση του ναυαγίου για τη φωτογραμμετρική τεκμηρίωσή του, μετατέθηκε περίπου 10 ημέρες αργότερα, όπου η ορατότητα στο βυθό αποκαταστάθηκε και οι καιρικές συνθήκες επέτρεψαν τη μετάβαση του καταδυτικού συνεργείου στο χώρο του ναυαγίου.

Εκτός από την περιορισμένη ορατότητα, προέκυψε το πρόβλημα της *απορρόφησης των χρωμάτων* και της *μείωσης της ευκρίνειας και των λεπτομερειών* λόγω του βάθους στο οποίο βρίσκεται το ναυάγιο. Για τον λόγο αυτό, στον φωτογραφικό εξοπλισμό προστέθηκαν επιπλέον φώτα και φλας, που έδωσαν ευκρινή εικονιστικά αποτελέσματα.

Επόμενο ζήτημα ήταν η *λήψη* όσο το δυνατόν πιο *κατακόρυφων φωτογραφιών*, χωρίς μεγάλες στροφές κατά τον άξονα λήψης. Αυτό δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί απολύτως σε ένα βυθό 45 μέτρων, όπου τα ρεύματα μπορεί να είναι ισχυρά και ο δύτης δίνει μεγάλη προσοχή στο να διατηρήσει την ισορροπία του και να είναι ψύχραιμος χωρίς να κάνει μεγάλη κατανάλωση αέρα. Πολύ βοηθητική, σε αυτό το σημείο, αποδείχθηκε η προσθήκη αεροστάθμης, πυξίδας και βαθύμετρου, που προσαρμόστηκαν στο σύστημα της φωτογραφικής μηχανής και επέτρεψαν στο δύτε-φωτογράφο να παρακολουθεί την πορεία του και να διατηρείται σε σταθερό βάθος.

3.10 Επεξεργασία εικόνων

Τα δεδομένα της φωτογράφισης τέθηκαν υπό επεξεργασία για την ραδιομετρική διόρθωσή τους. Λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε (SONY A700 DSLR), οι εικόνες που συλλέχθηκαν είχαν μεγάλη ανάλυση (4272x2848 pixel) και εξασφαλίστηκε μια πολύ ικανοποιητική ευκρίνεια των λεπτομερειών επί των ευρημάτων. Ωστόσο, οι εικόνες ήταν απαραίτητο να διορθωθούν χρωματικά, ώστε να γίνουν πιο «φιλικές» προς το ανθρώπινο μάτι, ιδιαίτερα κατά την στερεοσκοπική παρατήρηση. Στόχος ήταν να περιοριστεί το πολύ μπλε που κυριαρχούσε στην εικόνα και να αποδοθεί σε αυτήν μια ευρύτερη και πιο «γήινη» παλέτα χρωμάτων.

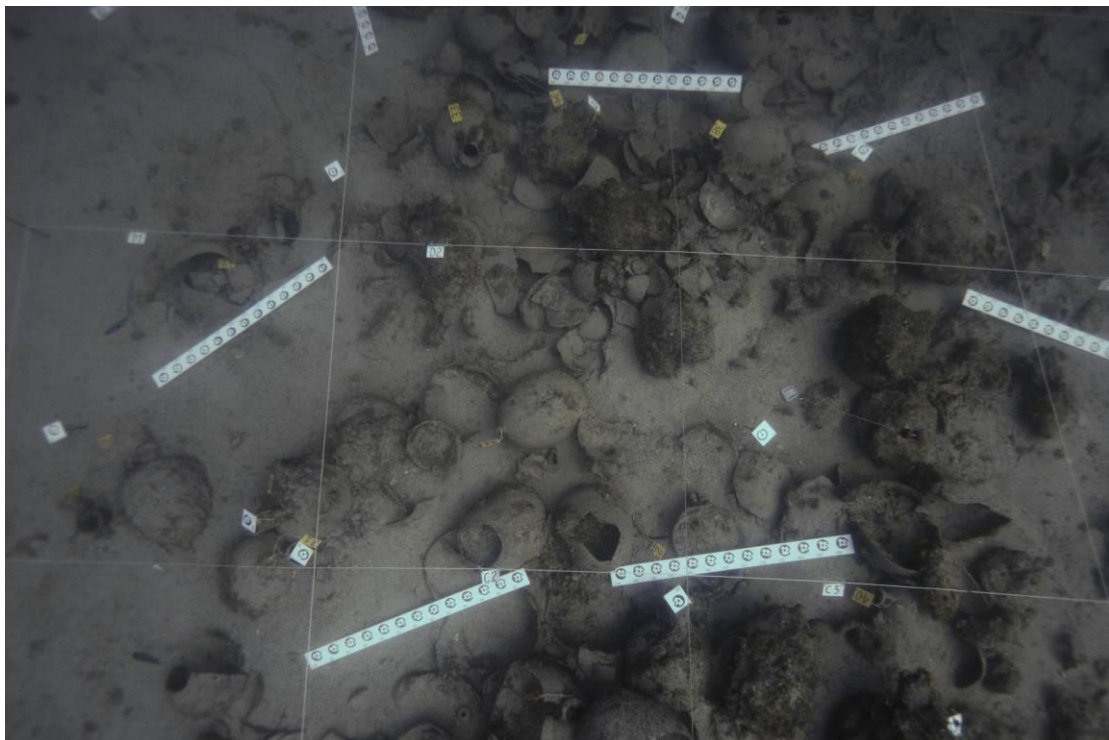
Η επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Adobe Photoshop CS5 και εκτελέστηκαν οι παρακάτω εντολές:

- Match Color → Neutralize: αντικατάσταση των μπλε τόνων με ουδέτερα, γήινα χρώματα
- Brightness – Contrast: ανάδειξη των λεπτομερειών
- Levels: εξισορρόπηση μεταξύ σκούρων και ανοιχτών χρωμάτων και ανακατανομή του ιστογράμματος των τόνων

Στην εικόνα 3.21 (α & β = πριν & μετά) είναι εμφανείς οι παραπάνω μετατροπές:



Εικ.3.21α: Αρχική εικόνα



Εικ.3.21β: Επεξεργασμένη εικόνα

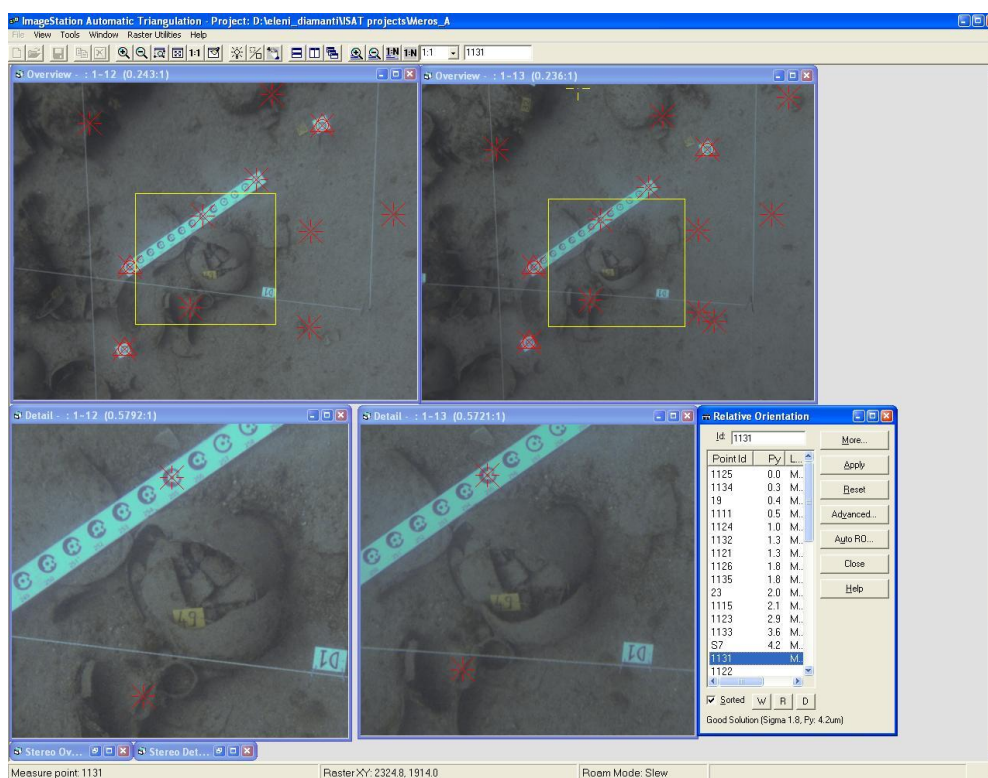
3.11 Επίλυση αεροτριγωνισμού

Η επίλυση του αεροτριγωνισμού υλοποιήθηκε στον φωτογραμμετρικό σταθμό SSK Imagestation της ΖΙ. Από τις 104 φωτογραφίες που συλλέχθηκαν συνολικά κατά τη

φωτογράφιση του ναυαγίου, 46 από αυτές επιλέχθηκαν για να προσανατολιστούν στο πρόγραμμα ISAT του SSK. 12 φωτογραφίες από την πρώτη λωρίδα, 10 από την δεύτερη, 13 από την τρίτη και 11 από την τέταρτη λωρίδα φωτογράφισης.

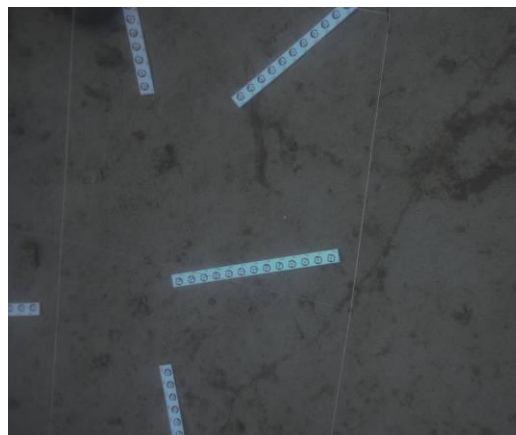
Ο εσωτερικός προσανατολισμός των φωτογραφιών αποκαταστάθηκε με την εισαγωγή των παραμέτρων της γεωμετρίας της φωτογραφικής μηχανής στο λογισμικό, όπως αυτές υπολογίστηκαν κατά την επίλυση της βαθμονόμησης στο λογισμικό Camera Calibration του Photomodeler (βλ. § 3.8.3).

Το μπλοκ των 4 αυτών λωρίδων (46 φωτογραφίες) προσανατολίστηκε σχετικά, ώστε να επιτευχθεί συνεχής στερεοσκοπική όραση και να αποκατασταθεί το ορθό σχήμα του αντικειμένου, μέσω της εξάλειψης της γ-παράλλαξης. Σε κάθε στερεοζεύγος εντοπίστηκαν και στοχεύθηκαν τουλάχιστον έξι ομόλογα σημεία (tie points). Η διαδικασία αυτή συνεχίστηκε για όλα τα μοντέλα με παράλληλη παρατήρηση των υπολοίπων σφαλμάτων. Ο ελάχιστος αριθμός ομόλογων σημείων σε κάθε μοντέλο ήταν 5, λόγω των 5 αγνώστων παραμέτρων του σχετικού προσανατολισμού ($\Delta\omega$, $\Delta\phi$, $\Delta\kappa$, ΔY , ΔZ). Ωστόσο, σκοπεύτηκαν περισσότερα σημεία (περίπου 10 για κάθε μοντέλο) με σκοπό να υπολογιστεί ελαχιστοτετραγωνικά το σφάλμα κλεισίματος του προσανατολισμού του κάθε μοντέλου από τις πλεονάζουσες παρατηρήσεις.



Εικ.3.22: Εξωτερικός προσανατολισμός στο λογισμικό SSK

Πριν τη φωτογράφιση, να σημειωθεί ότι τοποθετήθηκαν σε όλη την έκταση του ναυαγίου πλακίδια από Plexiglas, διαστάσεων $10 \times 130 \text{ cm}^2$, με τυπωμένους πάνω σε αυτά στόχους (Εικ.3.23), για δύο λόγους. Πρώτον, για την εξασφάλιση περισσότερων σημείων σύνδεσης μεταξύ των εικόνων λόγω των μεγάλων τμημάτων άμμου και δεύτερον, για τον αυτόματο προσανατολισμό των εικόνων του μπλοκ



Εικ.3.22: Ράβδοι-στόχοι ως βοηθητικά σημεία σύνδεσης

σε επόμενο στάδιο, στο λογισμικό Photomodeler Scanner, που παρέχει τη δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης των συγκεκριμένων στόχων.

Για την εξάλειψη σημαντικών σφαλμάτων έγιναν επαναληπτικές στοχεύσεις, απαλείφθηκαν σημεία με μεγάλο υπολειπόμενο σφάλμα ή/και προστέθηκαν άλλα ορθότερα. Το μπλοκ συννορθώθηκε τελικά με ακρίβεια $15 \mu\text{m}$ κατά τον σχετικό προσανατολισμό. Η ακρίβεια των $15 \mu\text{m}$ ισοδυναμεί με 2,6 pixel, δεδομένου ότι το μέγεθος της εικονομηφίδας υπολογίστηκε $5,8 \mu\text{m}$.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του μεγέθους και της θέσης του αντικειμένου στο ανεξάρτητο σύστημα αναφοράς που ιδρύθηκε (απόλυτος προσανατολισμός). Για την επίλυση του απόλυτου προσανατολισμού απαιτούνται δύο πλήρη φωτοσταθερά (X, Y, Z), ώστε το μοντέλο να πάρει μερικώς σωστή θέση και ένα τρίτο -υπομετρικό- φωτοσταθερό ώστε να διορθωθεί η κλίμακα και να συμπληρωθούν τελικά οι 7 άγνωστοι παράμετροι του απόλυτου προσανατολισμού (3 στροφές, 3 μεταθέσεις, 1 κλίμακα). Κατά την αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού, εισήχθησαν στο λογισμικό SSK οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών, οι οποίες προσδιορίστηκαν μέσω της επίλυσης του τριπλευρισμού στο λογισμικό Site Recorder (βλ. § 3.3). Κατόπιν έγινε η στόχευση των φωτοσταθερών σε όσες φωτογραφίες ήταν αυτά ορατά. Το λογισμικό, επιλύοντας την εξίσωση συγγραμμικότητας, έδωσε γεωδαιτικές συντεταγμένες σε ολόκληρο το μοντέλο, εμφανίζοντας παράλληλα και το εναπομένον σφάλμα κάθε σημείου. Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης του μπλοκ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

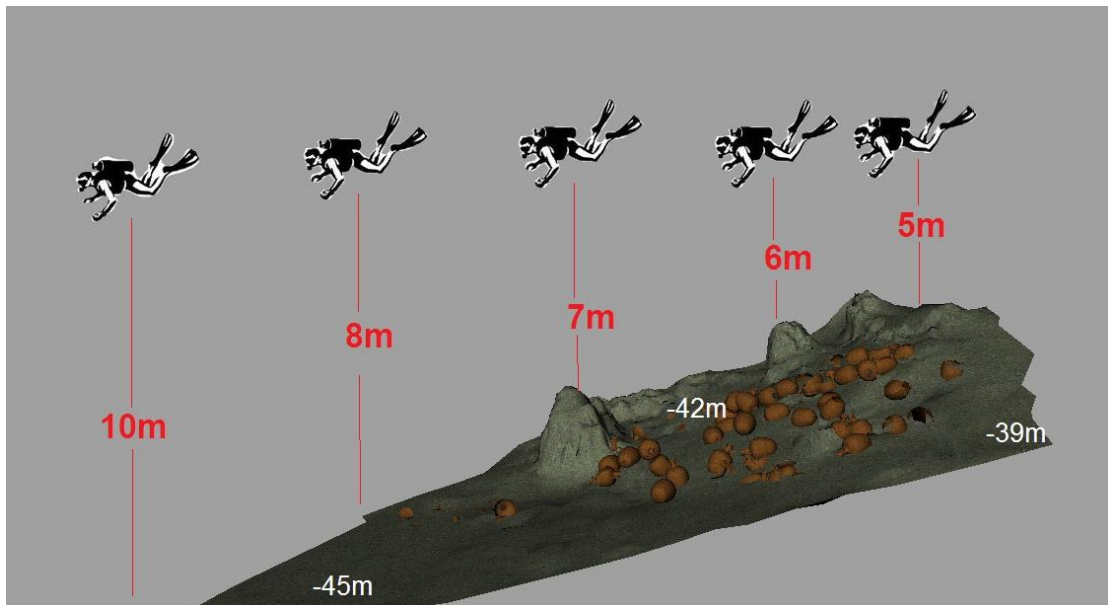
	X	Y	Z
a priori σφάλμα (m)	0.050	0.050	0.080
RMS (m)	0.040	0.050	0.090

Τα αποτελέσματα του απόλυτου προσανατολισμού βελτιώθηκαν με την αφαίρεση 3 φωτοσταθερών που εμφάνιζαν πολύ μεγάλα εναπομένοντα σφάλματα (τα μεγαλύτερα ήταν 50 cm στον άξονα Z και 17 cm στον άξονα Y). Η καλύτερη επίλυση που επετεύχθη τελικά άγγιζε τα 4 cm κατά X και Y και τα 6 cm κατά Z, αποτελέσματα

ικανοποιητικά δεδομένων των σφαλμάτων που επέφεραν οι συνθήκες μέτρησης, η μετροταινία και η επίλυση του τριπλευρισμού.

Ακολούθησε το στάδιο της δημιουργίας Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM). Στο στάδιο αυτό προέκυψε το πρόβλημα της μη ικανοποιητικής στεροσκοπικής όρασης και της παραμόρφωσης κάποιων φωτογραφιών, γεγονός που καθιστούσε αδύνατη τη δημιουργία DSM. Έγιναν διάφορες υποθέσεις για το ποιοι παράγοντες μπορεί να προκάλεσαν αυτό το πρόβλημα:

- Οι φωτογραφίες δεν είχαν σταθερή κλίμακα, λόγω του ότι ο δεύτερος φωτογράφος δεν είχε πορεία παράλληλη με το ανάγλυφο, αλλά πορεία σε σταθερό βάθος (Εικ.3.24).



Εικ.3.24: Λήψεις φωτογραφιών διαφορετικής κλίμακας

- Οι φωτογραφίες δεν ήταν αυστηρά κατακόρυφες και οι στροφές ω , φ και κ του συστήματος μεταβάλλονταν προοδευτικά από φωτογραφία σε φωτογραφία.
- Λόγω του ότι το σύστημα συντεταγμένων είναι υποβρύχιο, οι συντεταγμένες του κατά τον άξονα Z, είχαν αρνητικό πρόσημο (-39m, -42m κλπ), κάτι που δεν αναγνωρίζεται από το λογισμικό.
- Τα γεωμετρικά στοιχεία της φωτογραφικής μηχανής προσδιορίστηκαν σε άλλο λογισμικό από αυτό που έγιναν οι προσανατολισμοί.
- Ο εσωτερικός προσανατολισμός (2,6 pixel) δεν ήταν ικανοποιητικός (ικανοποιητική ακρίβεια στον σχετικό ισούται με το 1/3 του μεγέθους της εικονοηφίδας).
- Ελλιπής αριθμός φωτοσταθερών σημείων. Παρόλο που τα φωτοσταθερά ήταν επαρκώς κατανεμημένα σε όλη την έκταση του ναυαγίου, αριθμητικά ήταν

λίγα σε σύγκριση με τον αριθμό των μοντέλων των εικόνων. Αρκετά μοντέλα δεν περιελάμβαναν φωτοσταθερά σημεία.

Οι παραπάνω υποθέσεις έχουν τυχαία σειρά καταγραφής. Κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες πιθανότατα έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη συνόρθωση του μπλοκ, ενώ κάποιοι άλλοι μπορεί να μην την επηρέασαν καθόλου. Για τον λόγο, όμως, ότι πιθανότατα να λειτούργησαν και συνδυαστικά όλοι μαζί, ως παράγοντες, αποφασίστηκε η επανεκτέλεση του αεροτριγωνισμού (σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός), διαιρώντας το ενιαίο αυτό μπλοκ σε δύο μικρότερα, με σημαντική ωστόσο, κατά πλάτος επικάλυψη.

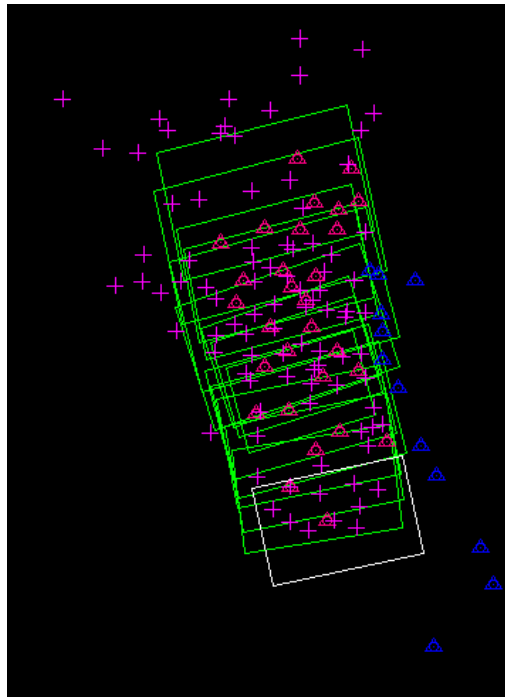
Η απόφαση αυτή προήλθε από τη συνόρθωση ενός μικρού μπλοκ φωτογραφιών (5 φωτογραφίες από μία μόνο λωρίδα), το οποίο επιλύθηκε χωρίς εμπόδια, διατήρησε πολύ χαμηλά εναπομέμοντα σφάλματα (2cm στους X και Y, 3cm στον Z) και έδινε τη δυνατότητα δημιουργίας DSM χωρίς προβλήματα.

Έτσι, δημιουργήθηκαν δύο επιμέρους μπλοκ προς συνόρθωση. Το πρώτο αποτελείται από τις 2 πρώτες λωρίδες (1-2,3-4, Εικ.3.20) και συγκεκριμένα από 31 φωτογραφίες (Εικ.3.25α), ενώ το δεύτερο από την τρίτη λωρίδα (5-6) και συγκεκριμένα από 15 φωτογραφίες (Εικ.3.25β). Η τέταρτη λωρίδα τελικά εξαιρέθηκε ως περιττή, αφού η τρίτη λωρίδα κάλυπτε ικανοποιητικά τη νοτιοδυτική πλευρά των ευρημάτων του ναυαγίου.

Λόγω του ότι ο αριθμός των φωτοσταθερών σημείων αποδείχτηκε μικρός, επινοήθηκε ένας τρόπος πύκνωσης του δικτύου των σημείων, οι συντεταγμένες των οποίων λήφθηκαν υπόψη κατά τον απόλυτο προσανατολισμό. Από το ενιαίο μπλοκ των φωτογραφιών που συνορθώθηκε, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες 24 συνολικά νέων σημείων τα οποία έπαιξαν το ρόλο των φωτοσταθερών σημείων κατά τη συνόρθωση των δύο επιμέρους μπλοκ. Τέλος, τα υψόμετρα των φωτοσταθερών σημείων «υψώθηκαν» κατά 100 μέτρα, ώστε να μην υπάρχει αρνητικό πρόσημο στις συντεταγμένες.



Εικ.3.25α: Block Α μέρος



Εικ.3.25β: Block 'B μέρος

Τα αποτελέσματα των προσανατολισμών των δύο μπλοκ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Block A			Block B		
Total RMS σχετικού προσανατολισμού (μm)	6,9			4,1		
Total RMS απόλυτου προσανατολισμού (μm)	6,5			3,8		
RMS απόλυτου προσανατολισμού (m)	X	Y	Z	X	Y	Z
	0,016	0,009	0,029	0,029	0,025	0,037

3.12 Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας

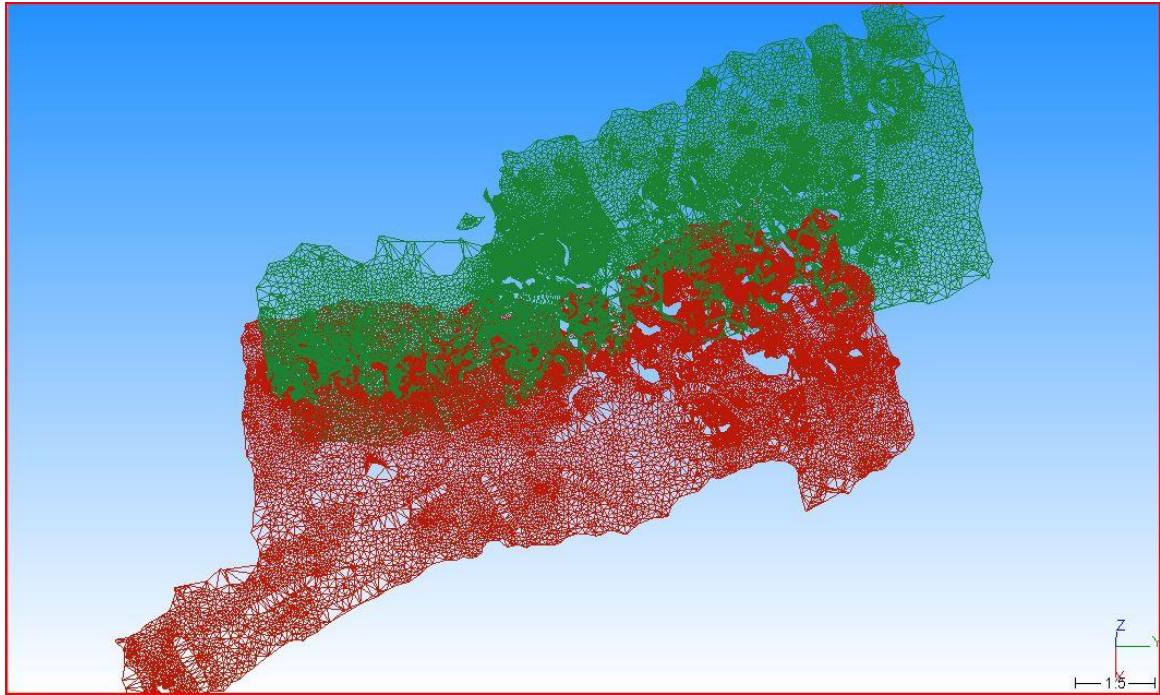
Επόμενο στάδιο της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας αποτέλεσε η παραγωγή ορθοφωτογραφιών και η σύνταξη ενιαίου ορθοφωτομωσαϊκού όλης της περιοχής του ναυαγίου.

Για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών, απαραίτητο ήταν να προηγηθεί η δημιουργία ενός Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM, Digital Surface Model). Η καλή στερεοσκοπική όραση που επετεύχθη, λόγω της εξάλειψης της y-παράλλαξης κατά τον σχετικό προσανατολισμό, κατέστησε δυνατή την παραγωγή του DSM. Το πακέτο εντολών που χρησιμοποιήθηκε για την εμφάνιση και διαχείριση των δεδομένων σε 3D γραφικά ήταν το ImageStation Stereo Display (ISSD). Συγκεκριμένα, μέσα στο περιβάλλον του ISSD, το πακέτο εντολών ImageStation DTM Collection (ISDC) παρείχε τη δυνατότητα χειροκίνητης συλλογής DSM καθώς και διόρθωσης ή συμπλήρωσής του. Το DSM που δημιουργήθηκε, τόσο για το Α μπλοκ όσο και για το Β, αποτελείται από γραμμές απότομης αλλαγής κλίσης (break lines) καθώς και από μεμονωμένα υψομετρικά σημεία (mass points) και αποτελεί ένα 2.5D σχέδιο. Λόγω των έντονων υψομετρικών διαφορών μεταξύ των ευρημάτων, το DSM πυκνώθηκε από σημεία και break lines τόσο, ώστε να απεικονίζει με την περισσότερη δυνατή λεπτομέρεια ό,τι ήταν ορατό από τις φωτογραφίες. Το πρώτο DSM που αντιστοιχεί στο Α μπλοκ αποτελείται από 28.489 σημεία και 1023 break lines, ενώ το δεύτερο DSM για το Β μπλοκ από 24.738 σημεία και 889 break lines.

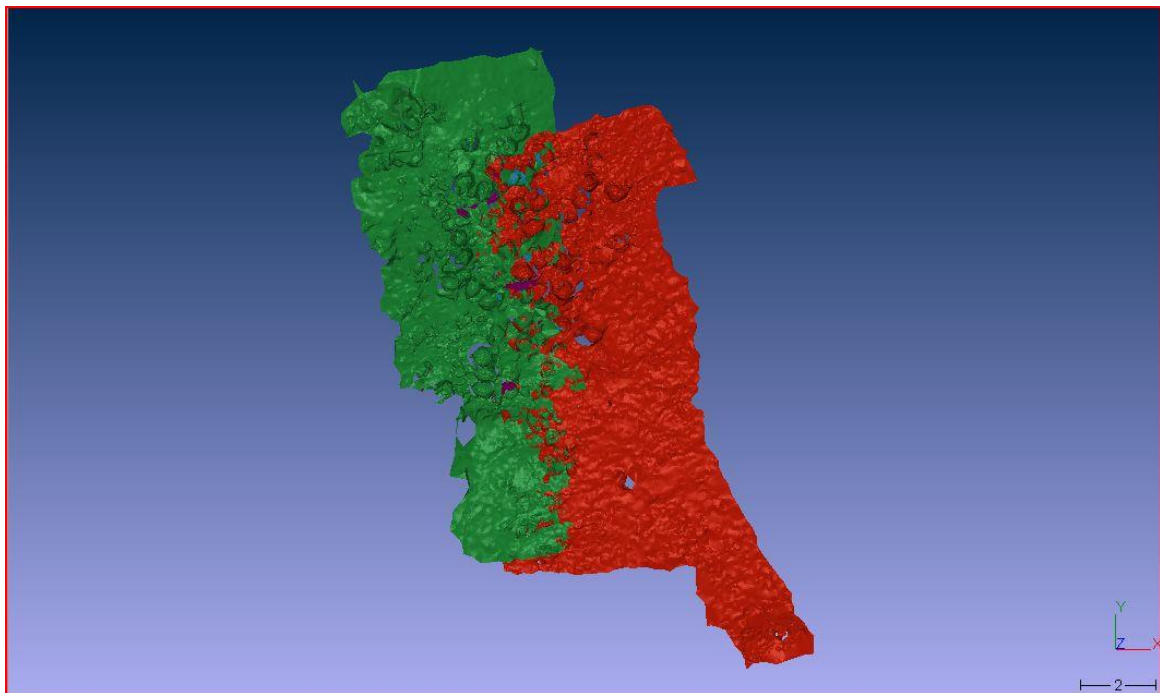
Πολύ σημαντικό μετά την ολοκλήρωση των δύο DSM, ήταν να γίνει έλεγχος του πόσο τα δύο αυτά νέφη σημείων ταυτίζονταν στην επικαλυπτόμενη περιοχή, ώστε οι ορθοφωτογραφίες που θα προέκυπταν για τη συγκεκριμένη περιοχή να μην παρουσίαζαν διαφορές. Ο έλεγχος αυτός έγινε με δύο τρόπους:

- Πρώτον, ελέγχθηκε με στερεοσκοπική παρατήρηση το κατά πόσο το δεύτερο DSM θα μπορούσε να είχε προκύψει από το Α μπλοκ και αντίστροφα το πρώτο DSM από το Β μπλοκ. Ο έλεγχος αυτός έγινε με προβολή στο περιβάλλον του ISSD το δεύτερο DSM καλώντας ταυτόχρονα τους προσανατολισμούς για το Α μπλοκ και αντίστροφα.
- Ο δεύτερος τρόπος ελέγχου της ταύτισης των νεφών στην επικαλυπτόμενη περιοχή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό 3DReshaper της Technodigit. Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της απόκλισης δύο επιφανειών (3d compare). Έτσι, από το DSM δημιουργήθηκαν τρίγωνα και στη συνέχεια επιφάνειες, ώστε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση. Στο μεγαλύτερο μέρος της επικαλυπτόμενης περιοχής των δύο DSM οι επιφάνειες ταυτίζονταν και μόνο σε λίγα κατά τόπους σημεία οι αποκλίσεις έφτασαν τα 3cm.

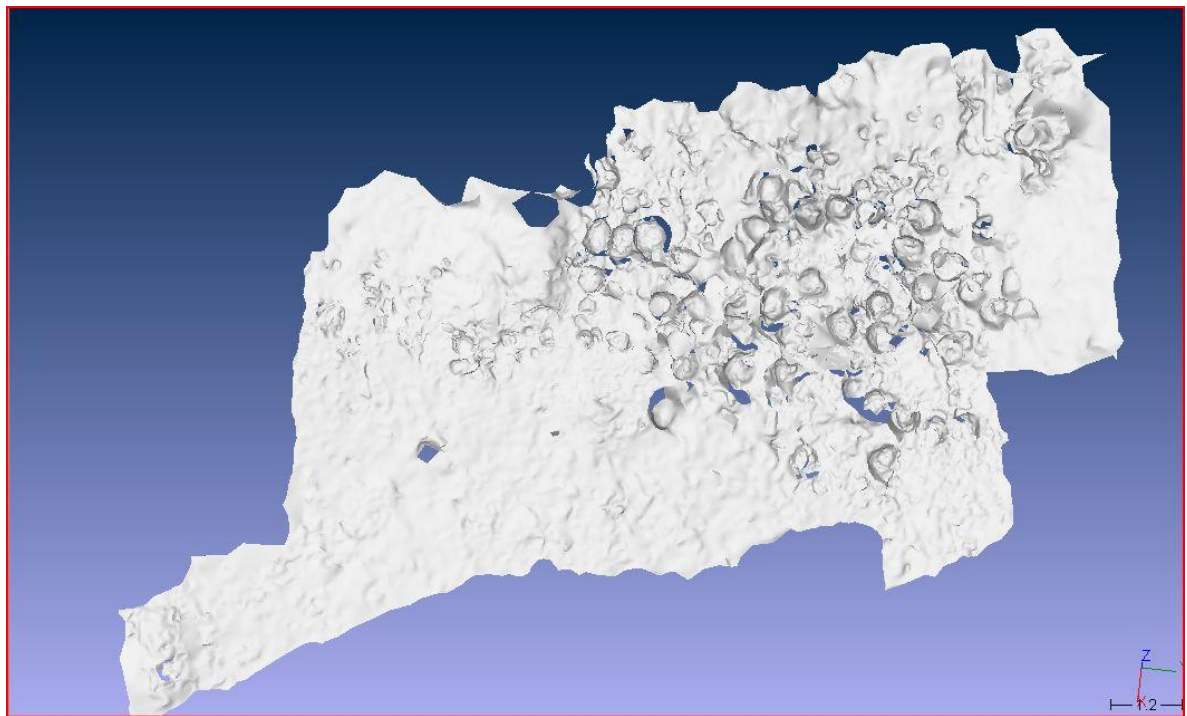
Τα αποτελέσματα και με τους δύο τρόπους ελέγχου ήταν πολύ ικανοποιητικά, γεγονός που αποτέλεσε σημαντική προϋπόθεση για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών.



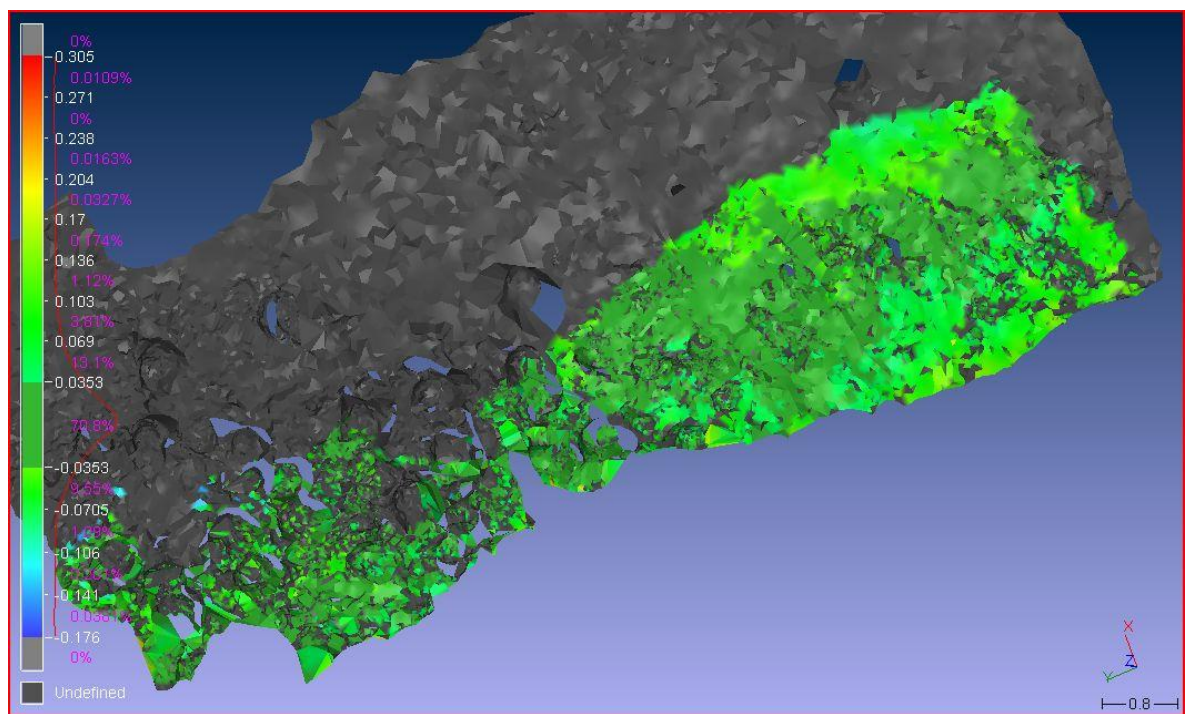
Εικ.3.26: Προοπτική όψη των τριγώνων που προέκυψαν από το DSM. Με κόκκινο χρώμα το DSM από το A block και με πράσινο το DSM από το B block, 3DReshaper



Εικ.3.27: Κάτοψη των δύο DSM, 3DReshaper



Εικ.3.28: 2.5D σχέδιο ναυαγίου



Εικ.3.29: Έλεγχος ταύτισης δύο επιφανειών. Με πράσινο χρώμα η επικαλυπτόμενη περιοχή των δύο DSM. 3DReshaper

Η παραγωγή ορθοφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Image Station OrthoPro, του πακέτου εντολών Geomedia. Εκεί, επιλέχθηκαν οι προσανατολισμένες φωτογραφίες προς ορθοαναγωγή. Τα στοιχεία εισόδου στο πρόγραμμα της ορθοαναγωγής ήταν το αρχείο με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής, το αρχείο με τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, το

αρχείο με τις συντεταγμένες του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας και οι αρχικές εικόνες που επρόκειτο να ορθοαναχθούν. Οι φωτογραφίες που προσανατολίστηκαν δεν είχαν ενιαία κλίμακα σε όλο το μπλοκ· η κλίμακα παρουσίαζε εύρος από 1:200 έως 1:600. Για τον λόγο όμως ότι η ενιαία ορθοφωτογραφία που επρόκειτο να δημιουργηθεί έπρεπε να έχει ενιαία κλίμακα, το μέγεθος της εικονοψηφίδας ορίστηκε κοινό για όλες τις ορθοαναγωγές και υπολογίστηκε με βάση την μικρότερη κλίμακα από τον τύπο:

Pixel Size ορθοφωτογραφίας = (Pixel Size αρχικής εικόνας) x (Μικρότερη κλίμακα που εντοπίστηκε στο μπλοκ)

5,8μm x 600 = 3,48mm. Τελικά, ως μέγεθος εικονοψηφίδας των ορθοφωτογραφιών επιλέχθηκε η τιμή 3,5mm.

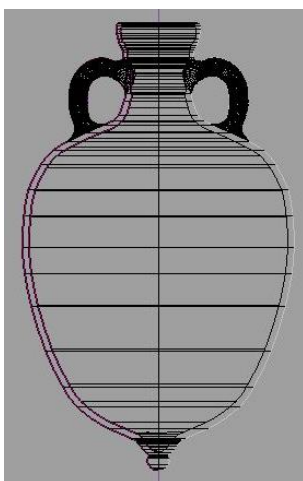
Στο ίδιο λογισμικό (ImageStationOrthoPro) που έγιναν οι ορθοαναγωγές, δημιουργήθηκε και το ενιαίο ορθοφωτομωσαϊκό του ναυαγίου.

3.13 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου

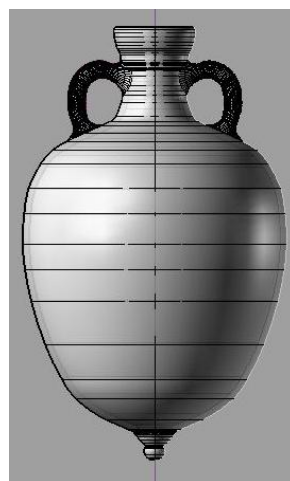
Το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της ορθοφωτογραφίας αποτελεί ένα 2.5D σχέδιο του ναυαγίου με πολλά κενά λόγω έλλειψης πληροφορίας σε σημεία που δεν ήταν ορατά κατά τις κατακόρυφες λήψεις. Ο άξονας Z, με άλλα λόγια, τέμνει μία φορά το αντικείμενο με αποτέλεσμα να χάνεται σημαντική πληροφορία. Έτσι, για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του ναυαγίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που περιγράφεται παρακάτω.

3.13.1 Μοντελοποίηση βασικού τύπου αμφορέα που βρέθηκε στο ναυάγιο

Πρώτο βήμα ήταν η μοντελοποίηση του βασικού τύπου αμφορέα που βρέθηκε στο ναυάγιο. Οι διαστάσεις του αμφορέα είναι τυποποιημένες και γνωστές από την αρχαιολογική βιβλιογραφία (Εικ.3.30α). Ο αμφορέας μοντελοποιήθηκε παίρνοντας



Εικ.3.30α: Διαστάσεις αμφορέα



Εικ.3.30β: Τρισδιάστατη σχεδίαση αμφορέα



Εικ.3.30γ: Επενδεδυμένος αμφορέας

τριδιάστατο σχήμα (Εικ.3.30β) και υφή (rendering, Εικ.3.30γ), που προέκυψε από φωτογραφία του αμφορέα στο λογισμικό πακέτο τρισδιάστατης σχεδίασης Rhinoceros.

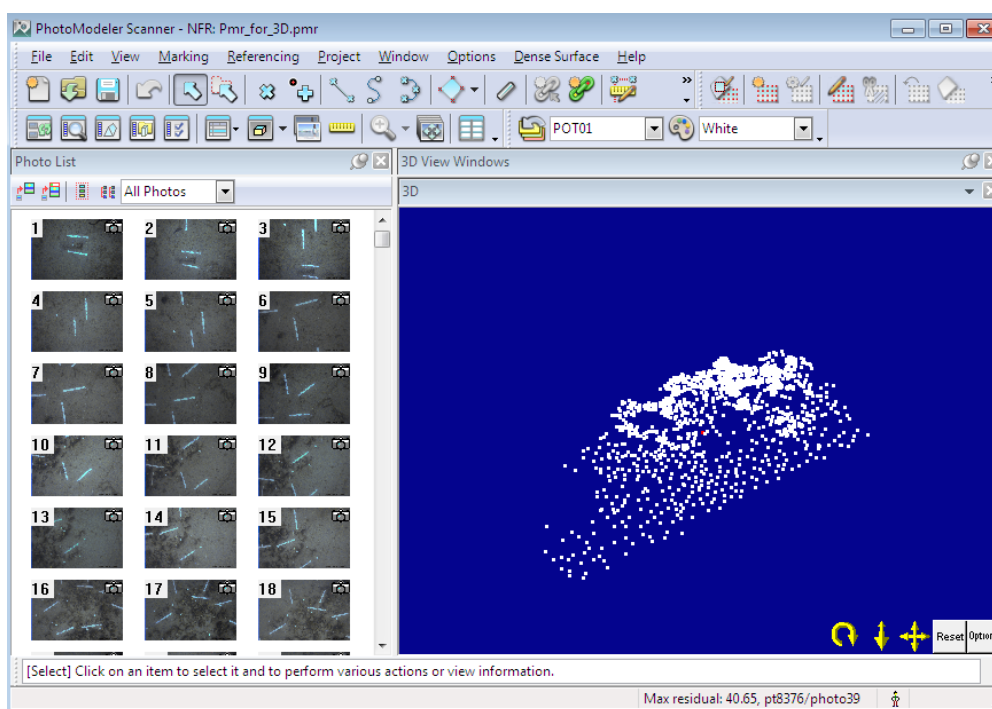
3.13.2 Προσανατολισμοί στο Photomodeler

Μετά τη μοντελοποίηση του αμφορέα, επόμενο στάδιο ήταν η κατανομή των αντικειμένων που απαρτίζουν το χώρο του ναυαγίου σε 2 επίπεδα (layers) και η τρισδιάστατη σχεδίαση και τελικά, ένωσή τους. Τα επίπεδα αυτά είναι: το έδαφος και οι αμφορείς.

Θεωρητικά, οι συντεταγμένες των αντικειμένων των δύο αυτών layers θα μπορούσαν να εξαχθούν από το project που δημιουργήθηκε στο λογισμικό SSK (επίλυση οπισθοτομιών). Στην πράξη, όμως, το δεδομένο DSM ήταν δύσκολα μεταχειρίσιμο, λόγω της πυκνότητας των σημείων του και της δυσκολίας διάκρισης των αντικειμένων μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Photomodeler Scanner, στο οποίο υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες χαρακτηριστικών σημείων του εδάφους ή των αμφορέων με σκοπό να εισαχθούν αργότερα στο περιβάλλον του λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης Rhinoceros.

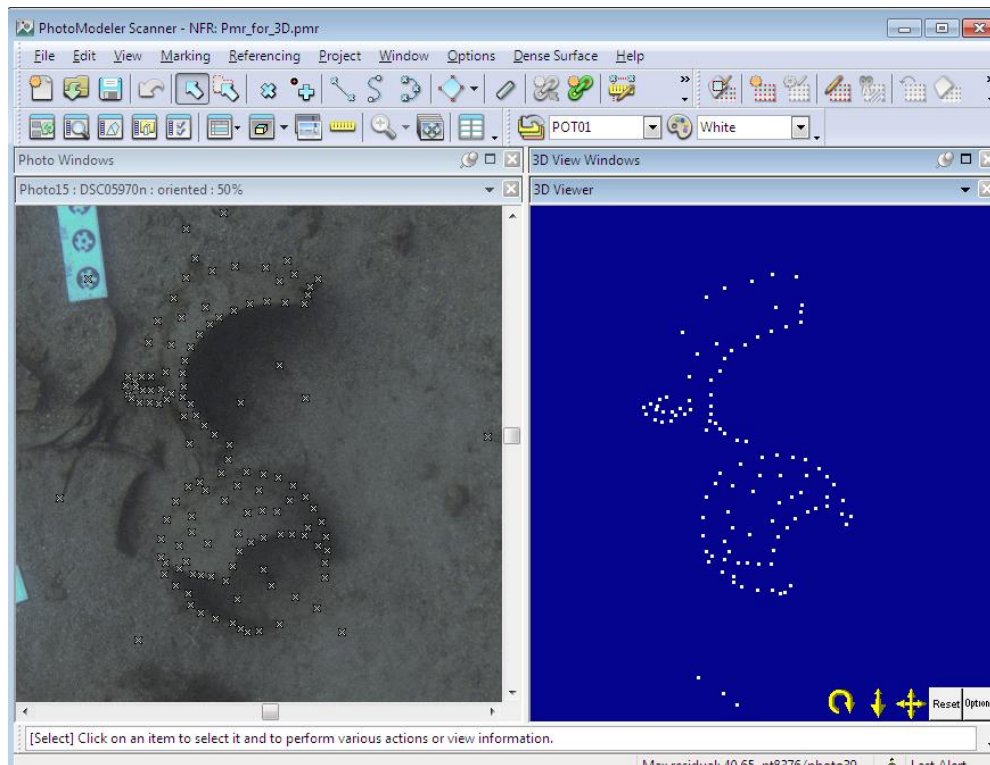
Στο Photomodeler εισήχθησαν τα στοιχεία της γεωμετρίας της φωτογραφικής μηχανής που υπολογίστηκαν πρωτίτερα στο ίδιο το Photomodeler και συνορθώθηκε ένα μπλοκ αποτελούμενο από 61 συνολικά φωτογραφίες με δεσμεύσεις τις πλευρομετρήσεις του δικτύου και τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών που υπολογίστηκαν στο Site Recorder.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DTM) για το layer «έδαφος» (Εικ.3.32).



Εικ.3.32: DTM στο Photomodeler

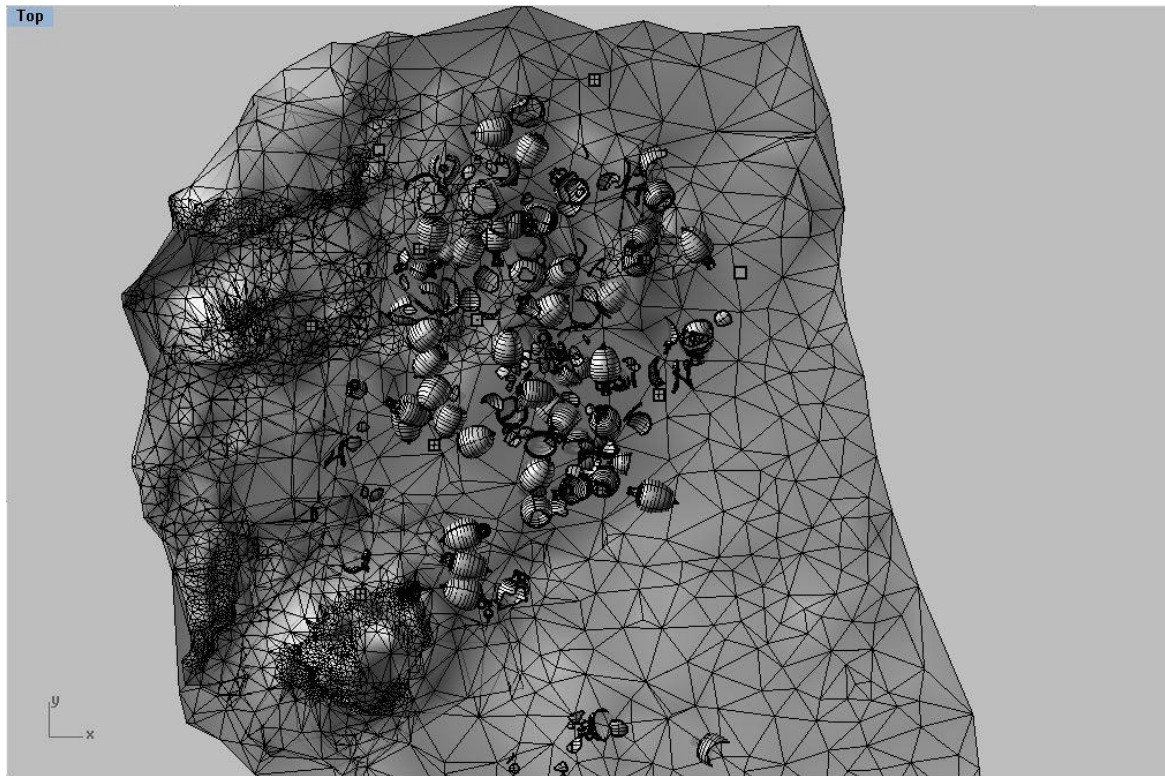
Έπειτα, σκοπεύτηκαν χαρακτηριστικά σημεία επί των ευρημάτων και συμπεριλήφθηκαν στο layer «αμοφορείς» (Εικ.3.33).



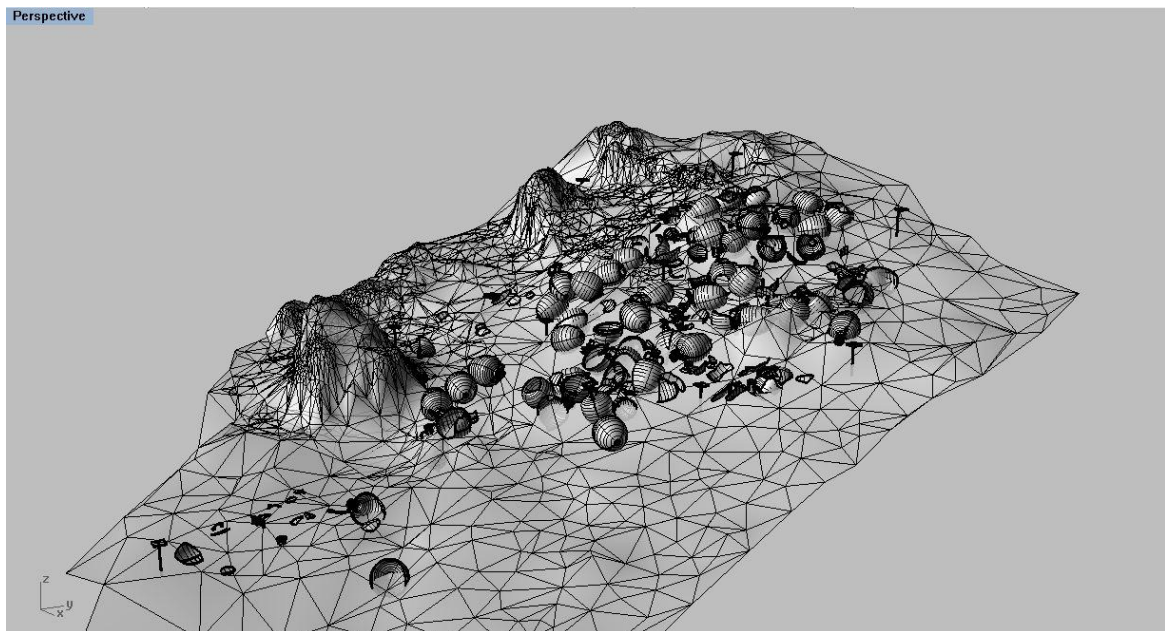
Εικ.3.32: Χαρακτηριστικά σημεία επί των ευρημάτων

3.13.3 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου στο λογισμικό Rhinoceros

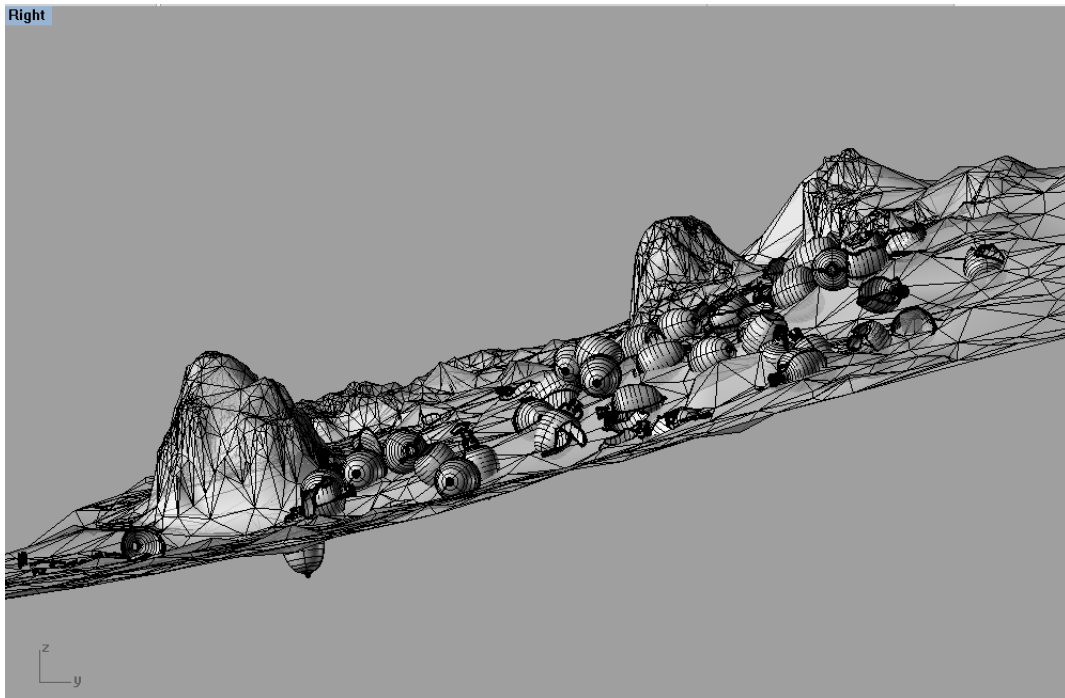
Με το πέρας της σκόπευσης χαρακτηριστικών σημείων επί των ορατών ευρημάτων στο Photomodeler, ξεκίνησε η διαδικασία εισαγωγής των σημείων αυτών στο λογισμικό Rhinoceros. Στο περιβάλλον του λογισμικού αυτού, οι αμοφορείς μοντελοποιημένοι πια, πήραν τη θέση τους στο χώρο του ναυαγίου σύμφωνα με τις συντεταγμένες των σημείων που προέκυψαν από το Photomodeler. Ωστόσο, οι περισσότεροι αμοφορείς ήταν σπασμένοι, οπότε ήταν απαραίτητο να στοχευθούν σημεία επί των ακμών των αμοφορέων (Εικ.3.32) και με την κατάλληλη επεξεργασία, οι αμοφορείς να «σπάσουν» έτσι, ώστε να αποδοθεί τρισδιάστατα το σχήμα τους όσο ρεαλιστικότερα ήταν αυτό δυνατό. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο του ναυαγίου που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Rhinoceros σε κάτοψη (Εικ.3.33α), προοπτική όψη (Εικ.3.33β) και πλάγια όψη (Εικ.3.33γ).



Εικ.3.33α: Κάτοψη τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου, *Rhinoceros*

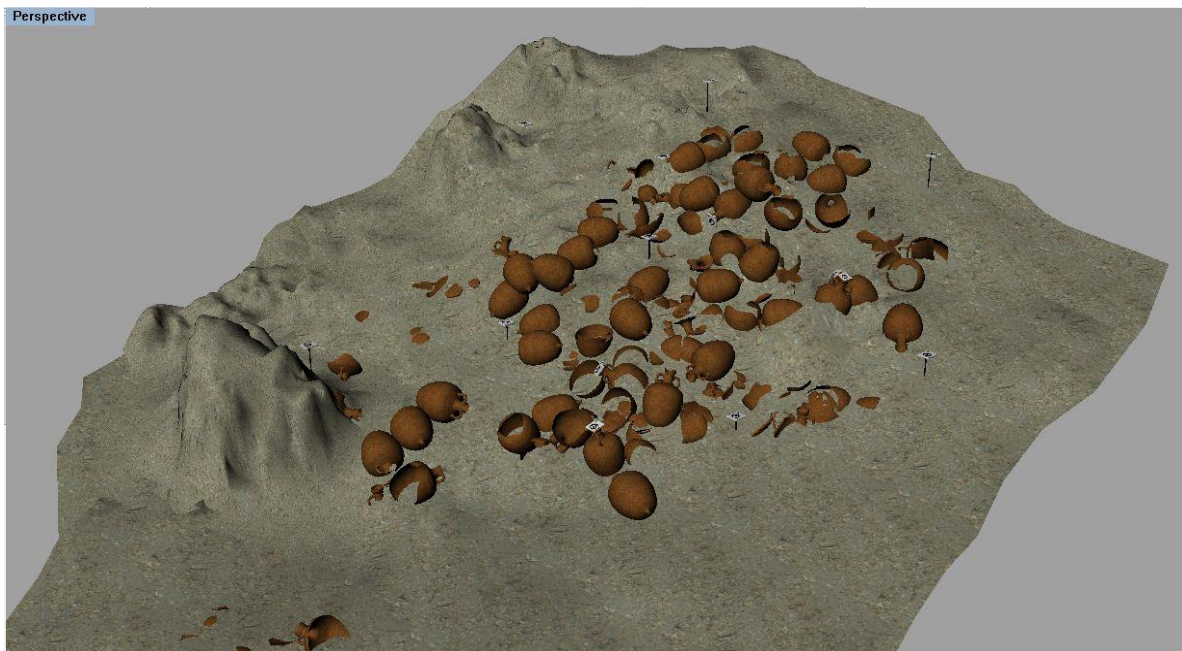


Εικ.3.33β: Προοπτική όψη τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου, *Rhinoceros*



Εικ.3.33γ: Πλάγια όψη τρισδιάστατου μοντέλου ναυαγίου, Rhinoceros

Το τρισδιάστατο μοντέλο του ναυαγίου απέκτησε υφή (rendering), με υλικά που προέκυψαν από φωτογραφίες (Εικ.3.34).



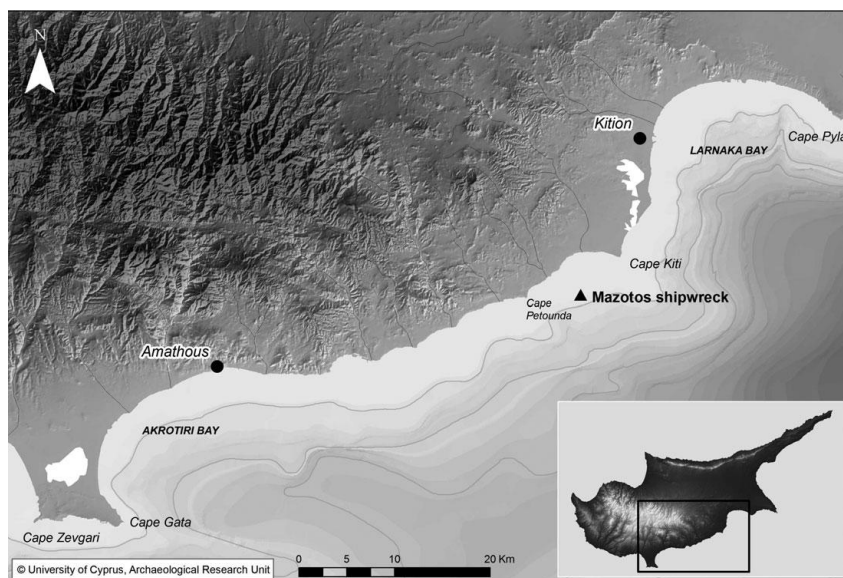
Εικ.3.34: Rendered μοντέλο ναυαγίου, Rhinoceros

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΩΝ ΝΑΥΑΓΙΩΝ ΣΤΟΝ ΜΑΖΩΤΟ (ΚΥΠΡΟΣ) ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΡΓΟΛΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

4.1 Εφαρμογή στο ναυάγιο του Μαζωτού

4.1.1 Η περιοχή μελέτης

Στη θαλάσσια περιοχή του χωριού Μαζωτός, 20 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Λάρνακας (Εικ.4.1), διεξήχθη για πρώτη φορά το Νοέμβριο του 2007 υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα, σε ναυάγιο εμπορικού πλοίου των κλασικών χρόνων (μέσα 4^ο αιώνα π.Χ.), σε βάθος 45 μέτρων, υπό τη διεύθυνση της δρος Αρχαιολογίας στο Πανεπιστήμιο Κύπρου Στέλλας Δεμέστιχα, σε συνεργασία με το τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου και το Ίδρυμα «Θέτις».



Εικ.4.1:Ναυάγιο Μαζωτού

Οι πρώτες αποστολές (2007-2008) επικεντρώθηκαν στη φωτογραφική και σχεδιαστική τεκμηρίωση του χώρου. Κατά το 2009, σε συνεργασία με την ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας του Πανεπιστημίου Πατρών, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη χρήση πρωτονιακού μαγνητόμετρου (proton magnetometer) και τομογράφου υποδομής πυθμένα (sub-bottom profiler), προκειμένου να διερευνηθεί η έκταση των μη ορατών τμημάτων του ναυαγίου.

Το ναυάγιο του Μαζωτού αποτελεί την πρώτη υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα που διενεργείται από αποκλειστικά κυπριακούς φορείς και η ανασκαφή του ρίχνει φως σε σημαντικά ζητήματα, όπως η ναυτική δραστηριότητα στην Κύπρο κατά την αρχαιότητα, το εμπόριο μεταξύ Αιγαίου και Κύπρου, τους τύπους και τα μεγέθη των εμπορικών πλοίων της περιόδου κ.ά.

Το πλοίο χαρακτηρίζεται ως εμπορικό, αφού μετέφερε το περίφημο κόκκινο κρασί από τη Χίο, το ακριβότερο ίσως ελληνικό κρασί των κλασικών χρόνων, μέσα σε πλήνους αμφορείς, τα κατ'εξοχήν αρχαία δοχεία συσκευασίας και μεταφοράς υγρών προϊόντων διά θαλάσσης. Καταμετρήθηκαν περίπου 500 επιφανειακοί αμφορείς, ενώ είναι βέβαιο ότι στον αμμώδη βυθό βρίσκονται θαμμένοι πολλοί ακόμη. Ανάμεσα στους χιώτικους αμφορείς, οι οποίοι αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία του φορτίου, εντοπίστηκαν ελάχιστα και από άλλα νησιά του βορείου Αιγαίου.

Την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου 2010, πραγματοποιήθηκε η πρώτη συστηματική ανασκαφική έρευνα στο ναυάγιο του Μαζωτού, η οποία επικεντρώθηκε στα νότια της θέσης σε περιοχή που υποδείχθηκε από τις γεωφυσικές έρευνες. Πράγματι, εκτός από τους αμφορείς του φορτίου, αποκαλύφθηκαν δύο μολύβδινες ράβδοι με υπολείμματα ξύλου, οι οποίες αποτελούσαν τμήμα του στύπου μιας από τις άγκυρες του πλοίου. Το ιδιαίτερα σπάνιο αυτό εύρημα ενίσχυσε τις πιθανότητες διατήρησης ξύλου από το σκαρί του πλοίου. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το πλήθος των ελαιοπυρήνων που βρέθηκαν κατά την ανασκαφή, γεγονός που αποκαλύπτει μέρος των προμηθειών τροφής του πληρώματος. Συνοψίζοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι η σημασία της έρευνας για τη ναυτική και οικονομική ιστορία της ανατολικής Μεσογείου είναι μεγάλη, καθώς το ναυάγιο του Μαζωτού αποτελεί ένα από τα ελάχιστα ναυάγια κλασικών χρόνων στην Ανατολική Μεσόγειο που σώζονται σε τόσο καλή κατάσταση (Δεμέστιχα, 2010).

4.1.2 Αποτύπωση του ναυαγίου του Μαζωτού

Το μέγεθος του εκτεθειμένου φορτίου, με άλλα λόγια του επιφανειακού μέρους του ναυαγίου, ανέρχεται περίπου στα 17 μέτρα κατά μήκος και 8 μέτρα κατά πλάτος. Το γεγονός ότι το πλοίο βυθίστηκε σε έναν ομαλότατο, σχεδόν επίπεδο, αμμώδη βυθό και ότι το φορτίο του είναι συμπαγές και όχι διασκορπισμένο, αποτελεί άκρως βοηθητική συγκυρία από άποψη αποτύπωσης. Ωστόσο, το βάθος στο οποίο βρίσκεται (στα -45 μέτρα) δε μπορούσε παρά να λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας, όσον αφορά το χρόνο παραμονής των δυτών στην περιοχή, τη διαθέσιμη ορατότητα, τις μεθόδους μέτρησης και αποτύπωσης κλπ.

Επομένως, πολύ σημαντικό, πριν την έναρξη της ανασκαφικής δραστηριότητας, ήταν να αποτυπωθεί η κατάσταση του ναυαγίου όπως αυτό ήταν όταν βρέθηκε. Με άλλα λόγια, να δημιουργηθεί ένα τεκμηριωτικό υπόβαθρο στο οποίο θα μπορούσε να στηριχθεί η μετέπειτα σταδιακή και παράλληλη με την ανασκαφή, αποτύπωση. Γι αυτό το λόγο, μετά τις πρώτες αναγνωριστικές καταδύσεις, θεωρήθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός φωτομωσαϊκού του ναυαγίου και ενός διανυσματικού σχεδίου που προέκυψε ως ψηφιοποίηση του πρώτου, τα οποία θα λειτουργούσαν ως εποπτικά μέσα όλου του αντικειμένου και βοηθητικά στοιχεία κατά τον προγραμματισμό εργασιών της αποτύπωσης. Τη δημιουργία του φωτομωσαϊκού (Εικ.3.2) ανέλαβε ο αρχαιολόγος B.Hartzler, ακολουθώντας μια μεθοδολογία με βάση το ελεύθερο λογισμικό Hugin και με χρήση οικονομικής υποβρύχιας τεχνολογίας (φωτογραφική μηχανή Canon A620 και υποβρύχια θήκη Ikelite) και φυσικά με γνώμονα τα καλής και αποδεκτής ποιότητας αποτελέσματα. Πραγματοποιήθηκε κατάδυση

φωτογράφισης του ναυαγίου, στο χώρο του οποίου τοποθετήθηκαν 3 άξονες υλοποιημένοι με σχοινιά ανά 5 μέτρα κατά μήκος του άξονα B-N. Ο δύτες-φωτογράφος κολύμπησε σε απόσταση περίπου 2 μέτρων πάνω από το ναυάγιο, ακολουθώντας σταθερή πορεία πάνω από τις γραμμές των σχοινιών και καλύπτοντας όλο το χώρο του ναυαγίου σε 7 λωρίδες πτήσης, πήρε συνολικά 230 φωτογραφίες. Οι φωτογραφίες αυτές τέθηκαν υπό επεξεργασία αρχικά στο λογισμικό Adobe Photoshop για την οπτική βελτιστοποίησή τους και έπειτα στο λογισμικό Hugin (<http://hugin.sourceforge.net>), όπου προσανατολίστηκαν όχι με την αυστηρή έννοια του όρου μέσω σταθερών κοινών σημείων ανά ζεύγος φωτογραφιών. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε φωτομωσαϊκό του ναυαγίου (Εικ.4.2), στο οποίο στηρίχθηκε το σχέδιο που εκπονήθηκε από την αρχιτέκτονα Φωτεινή Βλαχάκη στο λογισμικό AutoCAD.

Όσον αφορά την ίδρυση σταθερών σημείων, ορίστηκε ένα δίκτυο 8 κορυφών, υλοποιημένο από πλαστικούς σωλήνες ύψους ενός μέτρου τοποθετημένους σε τσιμεντένια βαθράκια περιμετρικά του ναυαγίου (Εικ.4.3). Αυτός ο τρόπος ίδρυσης του δικτύου εξασφάλιζε τη σταθερότητα των σημείων και προστάτευε το μνημείο με σεβασμό προς αυτό, χωρίς να του προκαλεί κάποια φθορά. Ωστόσο, η κατανομή των σημείων περιμετρικά είχε ως αποτέλεσμα μια ανεπαρκή γεωμετρία του δικτύου. Μία καλή γεωμετρία δικτύου εξασφαλίζεται με καλή κατανομή των σημείων που καλύπτουν όλη την έκταση του προς αποτύπωση αντικειμένου. Για το λόγο αυτό, έπρεπε να βρεθούν τρόποι σήμανσης των ευρημάτων (αμφορέων), αλλά και τρόποι ίδρυσης



Εικ.4.2: Φωτομωσαϊκό του ναυαγίου του Μαζωτού, Β.Hartzler



φωτοσταθερών σημείων για τη μετέπειτα φωτογραμμετρική τεκμηρίωση του ναυαγίου.

Εικ.4.3: Σταθερά σημεία περιμετρικά του ναυαγίου

Μεταξύ των 8 περιμετρικών σταθερών σημείων πραγματοποιήθηκαν πλευρομετρήσεις και το δίκτυο αυτό επιλύθηκε με τριπλευρισμό. Ο ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων μετρήσεων αποστάσεων για κάθε σημείο προς τα υπόλοιπα είναι 3 αποστάσεις, ώστε να προσδιοριστούν τρισδιάστατα οι συντεταγμένες του σημείου. Για τη συνόρθωση του δικτύου, όμως, καθώς και για τη δυνατότητα προσδιορισμού της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων ή ακόμη και της απόρριψης πιθανών «κακών» μετρήσεων, μετρήθηκαν 4 ή 5 αποστάσεις από κάθε σημείο. Η επίλυση του τριπλευρισμού έγινε στο λογισμικό Site Recorder και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο στηρίχθηκε η φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου που εφαρμόστηκε ως βασική μέθοδος αποτύπωσης του μνημείου (Βλαχάκη,2010).

4.1.3 Φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου

4.1.3.1 Οι πρώτες ερευνητικές αποστολές (Νοέμβριος 2007-Μάιος 2008)

Κατά τις πρώτες ερευνητικές αποστολές στο ναυάγιο του Μαζωτού, στόχος ήταν η πλήρης αποτύπωση του χώρου του ναυαγίου, τόσο με λεπτομέρεια όσο και με ακρίβεια, ώστε να αποτυπωθεί η θέση κάθε ευρήματος πριν την έναρξη της ανασκαφής και την ανέλκυση επιφανειακών ευρημάτων.

Η φωτογραμμετρία ήταν η προφανής απάντηση στο πώς θα αποτυπωθεί ένα τέτοιο αντικείμενο, σε ένα τόσο ιδιάζον περιβάλλον και σε πολύ περιορισμένο χρονικό διάστημα παραμονής των δυτών στο χώρο αυτό.

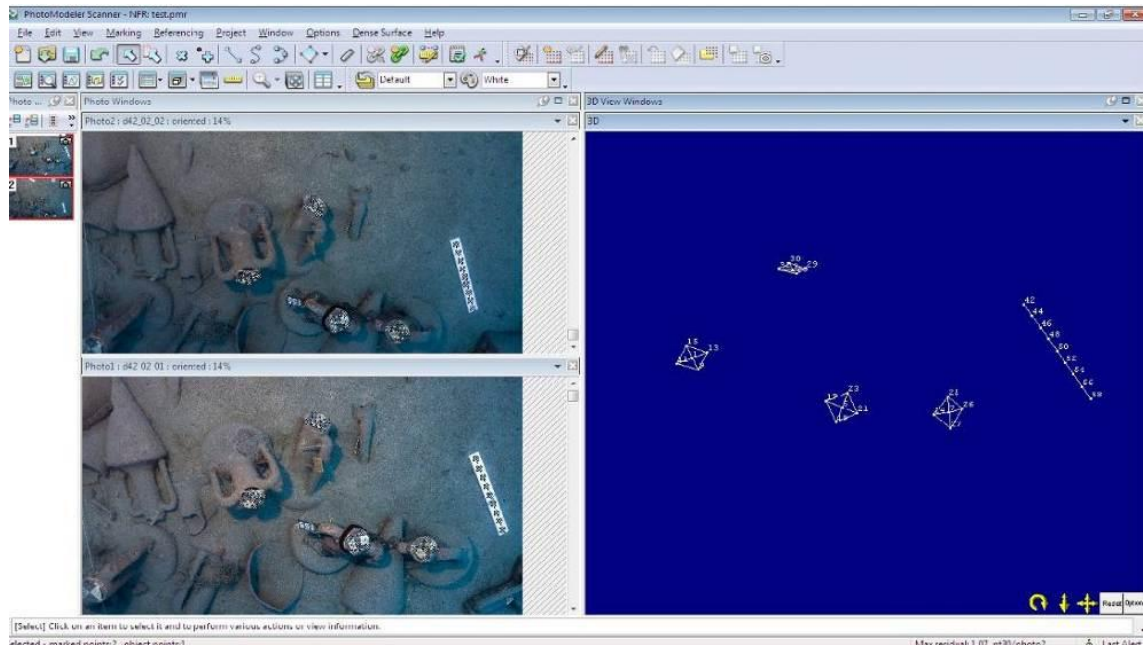
Αρχικά, ως φωτοσταθερά σημεία τοποθετήθηκαν κυκλικοί πλαστικοί δίσκοι, διαμέτρου 10 εκατοστών, με τυπωμένα (σε μαύρο-κίτρινο) μοτίβα-στόχους και τους αύξοντες αριθμούς των αμφορέων (Εικ.4.4), σε όσα στόμια αμφορέων ήταν αυτό δυνατό, χρησιμοποιώντας πλαστικά tie-wraps.



Εικ.4.4: Φωτοσταθερά σημεία στα στόμια των αμφορέων

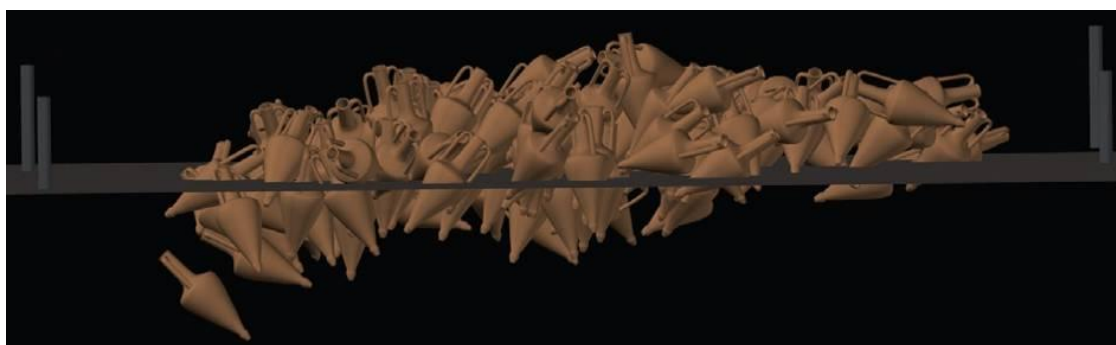
Από άποψη εξοπλισμού, διαθέσιμα μέσα ήταν μία φωτογραφική μηχανή DSLR Canon A620, σε υποβρύχια θήκη Ikelite, καθώς και το λογισμικό Photomodeler scanner, το οποίο είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο τα τελευταία χρόνια σε υποβρύχιες αρχαιολογικές, φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις (Franke,1999; Canciani,2002; Drap,2002; Green,2002; Drap,2005; Drap,2007). Σε δύο ερευνητικές περιόδους (Νοέμβριος 2007 & Μάιος 2008), πραγματοποιήθηκαν 3 καταδύσεις φωτογράφισης του ναυαγίου, από τις οποίες επιλέχθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία 119 φωτογραφίες (εκ συνόλου περίπου 350). Οι φωτογραφίες αυτές πάρθηκαν από διαφορετικές γωνίες και διαφορετικά ύψη (συνεπώς εικόνες διαφορετικής κλίμακας), καλύπτοντας μια συνολική έκταση 17.5 x 8 m². Κατά την επεξεργασία τους στο Photomodeler, από κάθε στόχο (μαυρο-κίτρινα μοτίβα-στόχοι) στα στόμια των αμφορέων, ήταν δυνατό να εξαχθούν 5 σημεία αναφοράς για κάθε αμφορέα, τα οποία

περιέγραφαν το στόμιο και κατά συνέπεια συντελούσαν στον τρισδιάστατο προσδιορισμό ολόκληρων των αμφορέων (Εικ.4.5).



Εικ.4.5: Τρισδιάστατος προσδιορισμός θέσης αμφορέων σε περιβάλλον Photomodeler

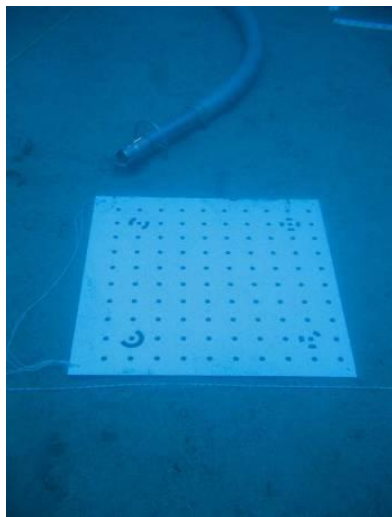
Συνολικά, με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίστηκαν οι θέσεις 140 περίπου στομιών αμφορέων, τα οποία αφού αποθηκεύτηκαν σε μορφή .dxf από το Photomodeler, μπήκαν σε περιβάλλον Autocad 3D, όπου με την προσθήκη των ήδη μοντελοποιημένων πια αμφορέων γνωστών διαστάσεων προέκυψε το τρισδιάστατο μοντέλο του ναυαγίου (Εικ.4.6). Το τρισδιάστατο μοντέλο του βασικού τύπου αμφορέα, που αποτελούσε το κυρίως φορτίο του ναυαγίου, προέκυψε από υποβρύχιες μετρήσεις των διαστάσεων των αμφορέων, με συμβατικά όργανα, όπως π.χ. μετροταινίες, καθώς και από φωτογραφίες (Βλαχάκη,2010).



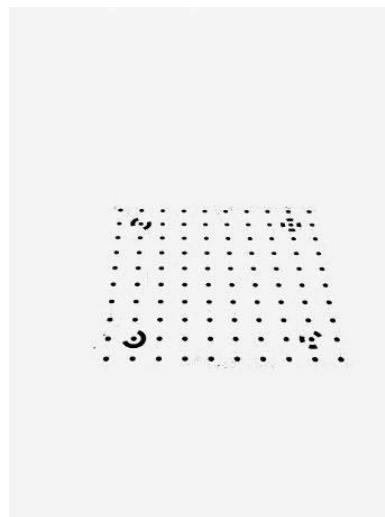
Εικ.4.6: Τρισδιάστατο μοντέλο του φορτίου του ναυαγίου, Φ.Βλαχάκη

Η βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιήθηκε υποβρυχίως αποτέλεσε σε κάθε περίπτωση ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο της φωτογραμμετρικής τεκμηρίωσης του αντικειμένου. Παράγοντες όπως ο δείκτης διάθλασης του νερού - που με τη σειρά του επηρεάζεται από επιπλέον παράγοντες όπως το βάθος, η θερμοκρασία και η αλατότητα- η διάδοση των οπτικών ακτίνων μεταξύ διαφορετικών μέσων (αέρας-νερό), ή ακόμη και η επίδραση της υποβρύχιας θήκης που

στεγανοποιεί τη φωτογραφική μηχανή συνυπολογίζονται στον προσδιορισμό των παραμέτρων της γεωμετρίας της μηχανής. Για την εκτέλεση της βαθμονόμησης, χρησιμοποιήθηκε πάλι το λογισμικό Photomodeler scanner, στο οποίο μέσω της κατασκευής ενός επίπεδου ταμπλώ διαστάσεων $0,9 \times 0,9 \text{m}^2$ με τυπωμένους κωδικοποιημένους στόχους ώστε να αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό (Εικ.4.7α), προσδιορίστηκαν τελικά οι παράμετροι του εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής. Οι εικόνες που συλλέχθηκαν για βαθμονόμηση τέθηκαν υπό επεξεργασία στο λογισμικό Adobe Photoshop, ώστε να βελτιστοποιηθούν οπτικά, να εξαλειφθεί ο θόρυβος και να μπορούν να αναγνωριστούν μόνο οι επιθυμητοί στόχοι (Εικ.4.7β).



Εικ.4.7α: Αρχική εικόνα για βαθμονόμηση της μηχανής



Εικ.4.7β: Επεξεργασμένη εικόνα για βαθμονόμηση της μηχανής

Να σημειωθεί ότι το ταμπλώ της βαθμονόμησης επιλέχθηκε να κατασκευαστεί από υλικό Plexiglas, κατόπιν μιας αποτυχημένης απόπειρας με ταμπλώ-κόντρα πλακέ που λόγω θετικής πλευστότητας δεν μπορούσε να βυθιστεί και ταυτόχρονα έχασε και την επιπεδότητά του. Οι κωδικοποιημένοι από το λογισμικό στόχοι τυπώθηκαν σε αυτοκόλλητο χαρτί καλής ποιότητας ώστε να διατηρείται στο νερό.

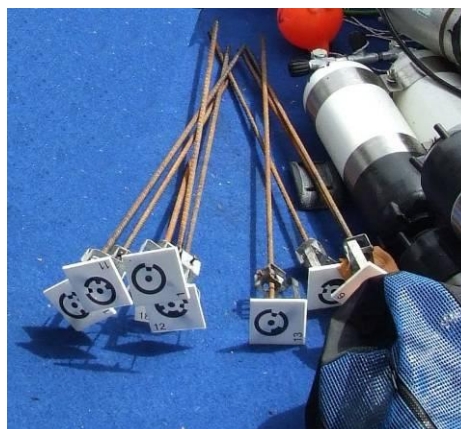
Πριν όμως από την υποβρύχια βαθμονόμηση, προηγήθηκαν δοκιμαστικές βαθμονομήσεις της μηχανής έξω από το νερό, με και χωρίς τη θήκη στεγανοποίησης, ώστε να διαπιστωθούν οι όποιες πιθανές διαφορές. Η διαφοροποίηση των παραμέτρων με ή χωρίς την προσθήκη της θήκης δεν θεωρήθηκε τελικά μείζονος σημασίας.

Όσον αφορά την υποβρύχια βαθμονόμηση της μηχανής, η φωτογράφιση ήταν απαραίτητο να γίνει στην περιοχή μελέτης, δηλαδή στα 45 μέτρα, ώστε να διατυπωθεί ακριβής εικόνα της κατάστασης των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής στο συγκεκριμένο βάθος και κάτω από τις ίδιες συγκεκριμένες συνθήκες. Οι φωτογραφίες συλλέχθηκαν από απόσταση που κυμαινόταν μεταξύ 2.5 και 3 μέτρων περίπου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις μιας καλά συγκλίνουσας γεωμετρίας δικτύου καθώς και μιας ικανοποιητικής επικάλυψης μεταξύ των εικόνων. Επιπροσθέτως, θεωρώντας ότι η απόσταση λήψης τόσο των κατακόρυφων όσο και των πλάγιων εικόνων από το αντικείμενο (το ναυάγιο) ήταν περίπου 5 με 6 μέτρα, επιλέχθηκε

εστίαση 3.5 μέτρων με αβεβαιότητα 2 mm και άνοιγμα διαφράγματος f:8. Από την επίλυση της βαθμονόμησης, χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι η πραγματική εστιακή απόσταση του φακού υποβρυχίως υπολογίστηκε 10.04mm και απείχε σημαντικά από την ονομαστική τιμή που ήταν 7.30mm. Θεωρητικά είναι γνωστό ότι η τιμή του δείκτη διάθλασης στο νερό είναι 1.334. Αυτό σημαίνει ότι η φαινομενική αύξηση της εστιακής απόστασης του φακού θα ήταν εν προκειμένω $7.30\text{mm} \times 1.334$, κάτι που όμως δεν συμβαίνει γιατί εκτός από τον δείκτη διάθλασης του νερού συνυπολογίζονται προφανώς και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εσωτερική γεωμετρία της μηχανής. Τέλος, το λογισμικό Photomodeler χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο στις επιλύσεις που εκτελεί, μερικώς διαφοροποιημένο σε σχέση με άλλα φωτογραμμετρικά λογισμικά, γεγονός που προβληματίζει στο αν η επίλυση της βαθμονόμησης από το περιβάλλον του Photomodeler μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο άλλο λογισμικό. Η συγκεκριμένη αναφορά γίνεται για το λόγο ότι εκτός από το λογισμικό Photomodeler, στην επίλυση των αεροτριγωνισμών χρησιμοποιήθηκε επιπλέον και το λογισμικό SSK Imagestation της ZI, στο οποίο εισήχθησαν τα στοιχεία της μηχανής που υπολογίστηκαν από το πρώτο λογισμικό.

4.1.3.2 Η τρίτη ερευνητική αποστολή (Μάιος-Ιούνιος 2010)

Κατά την τρίτη ερευνητική περίοδο στο ναυάγιο του Μαζωτού, ξεκίνησε η ανασκαφική δραστηριότητα και η φωτογραμμετρική επεξεργασία περιορίστηκε στον τομέα ανασκαφής, διαστάσεων $4 \times 4\text{m}^2$ περίπου, στο νοτιοδυτικό τμήμα του ναυαγίου. Το φωτογραμμετρικό δίκτυο που υλοποιήθηκε στην τομή αυτή, συνδέθηκε με το δίκτυο του ναυαγίου, μέσω των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων στα στόμια των αμφορέων, από την επίλυση που είχε προηγηθεί κατά τις προηγούμενες δύο αποστολές για το σύνολο του ναυαγίου. Ωστόσο, θεωρήθηκε απαραίτητο να πυκνωθεί το δίκτυο με σταθερά σημεία στη νέα περιοχή μελέτης, αφού η κατανομή των ήδη τοποθετημένων φωτοσταθερών στους αμφορείς δεν ήταν επαρκής. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν 9 νέα φωτοσταθερά σημεία, κατασκευασμένα από μπετόβεργες, στην κορυφή των οποίων προσαρμόστηκαν πλακίδια $10 \times 10\text{cm}^2$ από Plexiglas στο κέντρο των οποίων βρίσκονταν οι στόχοι (Εικ.4.8). Λόγω του αμμώδους βυθού, οι μπετόβεργες βυθίστηκαν στην άμμο όσο περισσότερο ήταν δυνατό, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η σχετική σταθερότητά τους, αλλά ταυτόχρονα να μην προκαλέσουν φθορά σε κάποιο από τα ευρήματα. Τα φωτοσταθερά αυτά σημεία τοποθετήθηκαν στις τρεις πλευρές της ανασκαφικής τομής με τέτοιο τρόπο, ώστε η τέταρτη πλευρά να είναι ελεύθερη για τη διέλευση του air-lift ανασκαφής. Το πρώτο μπλοκ, αποτελούμενο από 24 φωτογραφίες με ύψος λήψης περίπου 5 μέτρων και κλίμακα 1:500, συνορθώθηκε με 11 σημεία γνωστών συντεταγμένων (κυκλικοί δίσκοι) ως φωτοσταθερά σημεία. Η γεωμετρία του μπλοκ ήταν φυσικό να θεωρηθεί ελλειπής,



Εικ.4.8: Φωτοσταθερά σημεία

αφού τα φωτοσταθερά σημεία κάλυπταν μόνο δύο από τις τέσσερις πλευρές της τομής. Η επίλυση έγινε στο λογισμικό Imagestation με την ενιαία ακρίβεια του μπλοκ να είναι $s_{XYZ}=0.02m$ και την ακρίβεια μέτρησης πάνω στις εικόνες να ανέρχεται στα 2 pixels (μέγεθος pixel 2,5 μm) (Scarlatos,2010).

Συνοψίζοντας, το ναυάγιο του Μαζωτού αποτελεί ένα αντικείμενο-πρόκληση όσον αφορά όχι μόνο τις υποβρύχιες αποτυπώσεις, αλλά τις αποτυπώσεις μνημείων γενικά. Τα επιμέρους προβλήματα, είτε γεωδαιτικά είτε φωτογραμμετρικά, μπορούν να θεωρηθούν από αναμενόμενα και αναπόφευκτα, ορισμένες φορές, σε τόσο απαιτητικές και δυσμενείς συνθήκες καταγραφής και συλλογής πληροφορίας. Παρά τις δυσκολίες που συναντώνται, το επίπεδο ποιότητας των φωτογραμμετρικών προϊόντων σε συνδυασμό με παράγοντες όπως ο άρτιος συντονισμός της εξειδικευμένης ομάδας εργασίας παροτρύνουν την υποστήριξη για διεκπεραίωση αντίστοιχων μελετών.

4.2 Εφαρμογή σε ναυάγιο στον Αργολικό κόλπο

4.2.1 Αρχαιολογικά στοιχεία και τοπογραφία περιοχής

Στη βραχονησίδα Μόδι (ή νήσος Λιοντάρι) νοτιοανατολικά του Πόρου (Εικ.4.9), η αναγνωριστική έρευνα που πραγματοποίησε για πρώτη φορά το Ι.ΕΝ.Α.Ε. κατά το 2003 στο θαλάσσιο χώρο γύρω από τη νησίδα, έφερε στο φως πολλά ενάλια ευρήματα (κεραμική και λίθινες άγκυρες), κυρίως της Ύστερης Εποχής του Χαλκού.



Εικ.4.9: Νήσος Μόδι

Το έτος 2005 η έρευνα συνεχίστηκε και επικεντρώθηκε στο χώρο που είχαν εντοπιστεί θραύσματα μεγάλων μεταφορικών αγγείων, πιθανότατα καταλοίπων φορτίου ναυαγίου. Με την εξαντλητική επιφανειακή έρευνα που πραγματοποιήθηκε, εντοπίστηκαν αρκετά μεγάλα αγγεία μεταφοράς, κυρίως πίθοι, πιθαμοφορείς και αμφορείς, ακέραια ή αποσπασματικά σωζόμενα, καθώς και πλήθος θραυσμάτων παρόμοιων αγγείων.

Το σύνολο των κεραμικών που βρέθηκε είναι διασκορπισμένο σε έναν συγκεκριμένο χώρο που καταλαμβάνει έκταση 150τ.μ. περίπου, σε βάθος από 27 έως 37 μέτρα, ο οποίος οριοθετήθηκε με ένα ακανόνιστο παραλληλόγραμμο, διαιρεμένο σε τομείς. Το

μήκος της έκτασης της διασποράς των ευρημάτων είναι αρκετά μεγάλο λόγω του έντονου αναγλύφου του βυθού, ενώ το εύρος είναι κατά πολύ μικρότερο. Η πλειονότητα των μέχρι στιγμής εντοπισθέντων αγγείων είναι μεγάλα μεταφορικά αγγεία. Ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο μεγάλος ακόσμητος πίθος, με σφαιρικό ωοειδές και στιβαρό σώμα, επίπεδη βάση, ψηλό λαιμό, έξω νεύον χείλος και δύο οριζόντιες κυλινδρικές λαβές στο σώμα (Εικ.4.10).



Εικ.4.10: Πίθος, μεγάλο μεταφορικό αγγείο

Ωστόσο, πραγματοποιήθηκε έρευνα και στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή γύρω από το Μόδι, όπου νοτιότερα του φορτίου του προϊστορικού ναυαγίου, διαμορφώνεται μικρός ορμίσκος στον οποίο εντοπίστηκαν διάσπαρτα θραύσματα αγγείων διαφόρων εποχών, καθώς και αρκετές λίθινες άγκυρες. Η σχετικά ομαλότερη ακτογραμμή προσέφερε, στο σημείο αυτό, ευκολότερη πρόσβαση στη στεριά και βρίσκεται κάτω ακριβώς από τη μικρή εγκατάσταση των πρώιμων βυζαντινών χρόνων, που είχε αναπτυχθεί γύρω από μια μικρή εκκλησία, τα ερείπια της οποίας σώζονται σε αρκετό ύψος. Ο χώρος χρησιμοποιήθηκε, επίσης, διαχρονικά ως πρόχειρο αγκυροβόλιο αλιέων της περιοχής, κάτι που δικαιολογεί την παρουσία ετερόκλητων θραυσμάτων αγγείων ως απορρίψεων. Με την έννοια αυτή η έρευνα του ευρύτερου θαλάσσιου χώρου στο Μόδι παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς δίνει μια εικόνα της ναυσιπλοΐας και του εμπορίου στην περιοχή κατά τη διάρκεια των αιώνων (Αγουρίδης, 2005).

Το έτος 2009 ολοκληρώθηκε με επιτυχία η πρώτη φάση της υποβρύχιας αρχαιολογικής ανασκαφής, υπό τη διεύθυνση του αρχαιολόγου Χρήστου Αγουρίδη. Η συστηματική ανασκαφή έφερε στο φως επιπλέον ευρήματα, μεταξύ των οποίων δύο πιθαμοφορείς (σε θραύσματα), πέντε υδρίες, μία πρόχου και πολλά όστρακα κεραμικής. Τα ευρήματα χρονολογούνται στην Υστεροελλαδική III Γ (12 αι. π.Χ.), μία περίοδο ιδιαίτερα κρίσιμη για την προϊστορία του Αιγαίου, λόγω των ριζικών ανακατατάξεων που συντελούνται στη δομή του μυκηναϊκού κόσμου.

Οι υποβρύχιας εργασίες είναι ιδιαίτερα δύσκολες σε αυτήν την περιοχή με τις βραχώδεις ακτές, τους ισχυρούς ανέμους, τα ρεύματα και τα μεγάλα βάθη. Έτσι, προηγήθηκε μακρά και επίπονη προετοιμασία σε όλα τα επίπεδα, ώστε να καταδυθεί με ασφάλεια η ερευνητική ομάδα που αποτελείται από εθελοντές διαφόρων ειδικοτήτων. Παρ' όλα αυτά, και παρά το γεγονός ότι κατά την περίοδο του φθινοπώρου παρατηρούνται ήπιες καιρικές συνθήκες, οι ισχυροί άνεμοι και οι έντονες καταιγίδες που επικράτησαν κατά διαστήματα δυσκόλεψαν και καθυστέρησαν την έρευνα.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι παράλληλα με την ανασκαφή διεξήχθη γεω-αρχαιολογική έρευνα με στόχο τον εντοπισμό καταβυθισμένων παλαιοακτών και ανάπλασης της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της περιοχής τα τελευταία 18.000 χρόνια, τον προσδιορισμό της στρωματογραφικής υποδομής του πυθμένα, και κατά συνέπεια, τη διαδικασία ταφής του ναυαγίου και τον εντοπισμό και άλλων

αρχαιολογικών μαρτυριών. Η γεωαρχαιολογική έρευνα πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

4.2.2 Ίδρυση και συνόρθωση πολυγωνομετρικού δικτύου

Κατά τη διάρκεια των υποβρυχίων ερευνών των ετών 2006 και 2007 έγινε μια γενική αποτύπωση της ευρύτερης περιοχής αλλά και των κυριότερων ευρημάτων του ναυαγίου, χρησιμοποιώντας τόσο συμβατικές τοπομετρικές μεθόδους όσο και με την χρήση του συστήματος SHARPS (Sonic High Accuracy Positioning System). Ίδρύθηκε πολυγωνομετρικό δίκτυο οκτώ κορυφών, σχήματος παραλληλογράμμου γύρω από τη συγκέντρωση των κυριότερων ευρημάτων, με την τοποθέτηση σιδηρών ράβδων και σχοινιών. Οι θέσεις και τα μεγέθη όλων των επιφανειακών ευρημάτων τεκμηριώθηκαν σε σχέση με τις κορυφές " Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ " του δικτύου, που αποτέλεσαν σταθερά σημεία για τη λήψη οριζόντιων και κατακόρυφων αποστάσεων. Έγινε συσχετισμός των δύο διαφορετικών μεθόδων αποτύπωσης, με σκοπό τόσο τη σύγκριση των αποτελεσμάτων όσο και την εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου κατόψεως του χώρου και της υπάρχουσας κατάστασης του ναυαγίου. Για την τοπογραφική αποτύπωση της θέσης του ναυαγίου, έγινε αποτύπωση τμήματος της ακτογραμμής που βρίσκεται μπροστά από το ναυάγιο και οριζοντιογραφικός προσδιορισμός των κορυφών του δικτύου -και συνεπώς της θέσης του ναυαγίου και των ίδιων των ευρημάτων- στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς Ε.Γ.Σ.Α '87. Ως υψομετρική αφετηρία τόσο κατά την τοπογραφική όσο και κατά την αρχιτεκτονική αποτύπωση του ναυαγίου χρησιμοποιήθηκε η Μέση Στάθμη Θαλάσσης.

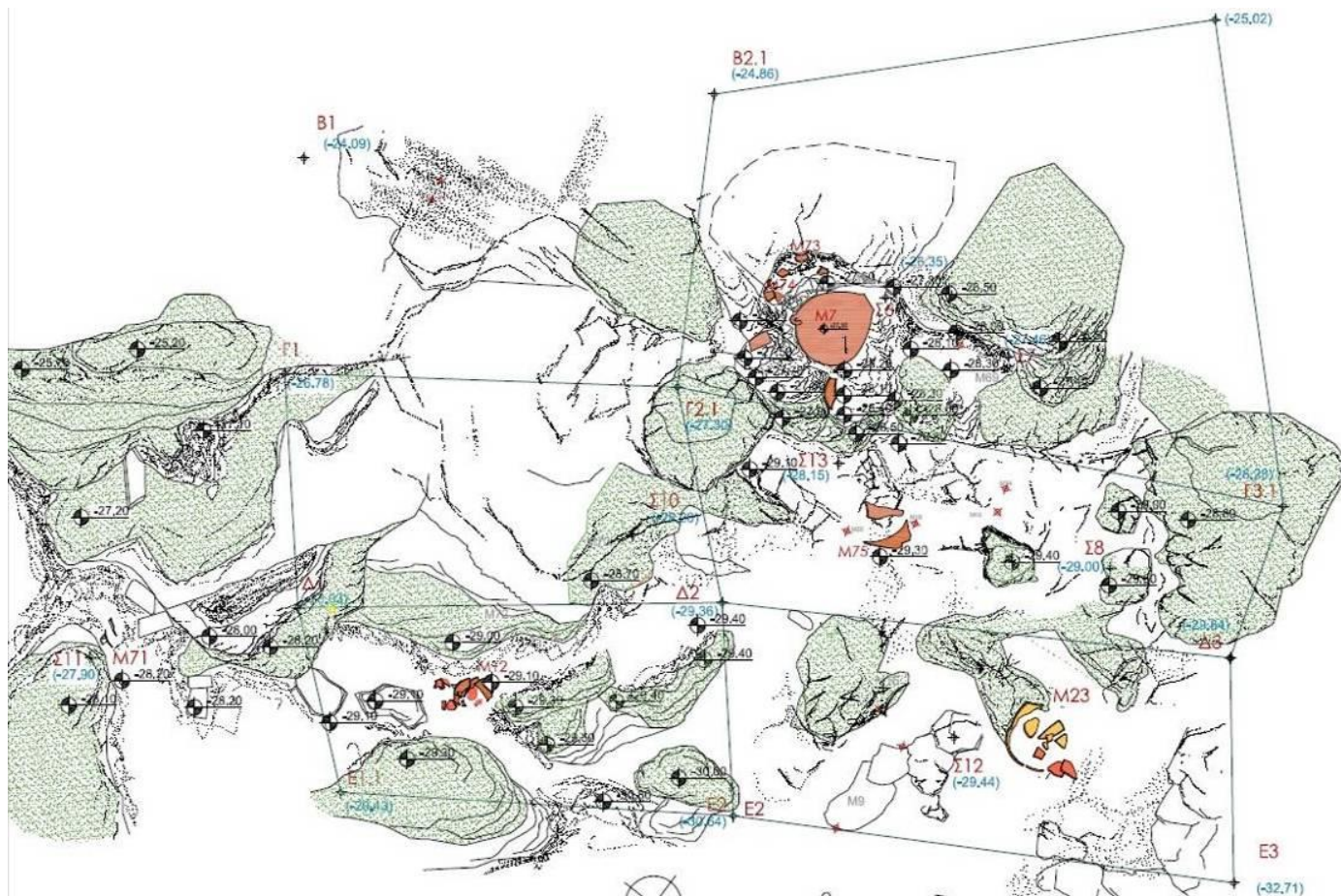
Κατά τη διάρκεια της ερευνητικής περιόδου του 2009 οι εργασίες τεκμηρίωσης του ναυαγίου εντοπίστηκαν στις περιοχές που επρόκειτο να ανασκαφούν.

Με σκοπό την πλαισίωση όλων των περιοχών ενδιαφέροντος από σταθερά σημεία αναφοράς, έγινε διεύρυνση της υπάρχουσας περιμέτρου προς τον βορρά, την ανατολή και τη δύση, με την υλοποίηση, σχεδόν παράλληλων προς τους υπάρχοντες, αξόνων, κατά τις τρεις αυτές κατευθύνσεις. Με αυτόν τον τρόπο η αρχική περίμετρος των προηγούμενων ετών αποτέλεσε τμήμα ενός νέου πολυγωνομετρικού δικτύου, σε διάταξη παραλληλόγραμμου κανάβου. Οι κορυφές του δικτύου υλοποιήθηκαν με την τοποθέτηση μπρούτζινων ράβδων στον ανισοσταθμή βυθό, σημάνθηκαν με τα γράμματα Α1, Α2, Α3, Β1, Β2,..... Δ1, Δ2, Δ3 και αποτέλεσαν τα σταθερά σημεία αναφοράς των εργασιών αποτύπωσης. Με τον τρόπο αυτό οριοθετήθηκαν έξι τομείς γενικών διαστάσεων 4x3m ο καθένας με συνολικό εμβαδόν 8.20x9.35m. Η επίλυση του πολυγωνομετρικού δικτύου έγινε με τη λήψη όλων των πλάγιων αποστάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου, ενώ οι υψομετρικές τους διαφορές μετρήθηκαν με καταδυτικό computer, με στάθμη αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας και συσχετισμό των μετρήσεων διαφορετικών ημερών και διαφορετικών computer με τη χρήση μιας υψομετρικής αφετηρίας (Reper). Το δίκτυο αυτό σταθερών σημείων αποτέλεσε το δίκτυο αναφοράς για την αποτύπωση των ευρημάτων κατά τη διάρκεια της ανασκαφής.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη συνόρθωση του δικτύου ήταν η πολλαπλή εμπροσθοτομία, με τη χρήση μετροταινιών για τη μέτρηση πλάγιων αποστάσεων και καταδυτικών computer για την μέτρηση του βάθους, με την υποστήριξη του προγράμματος Site Recorder (www.3hconsulting.com).

Η αποτύπωση των ευρημάτων μέσω πολλαπλής εμπροσθοτομίας με τη χρήση μετροταινιών και καταδυτικών computer έγινε με την εξαγωγή καρτεσιανών συντεταγμένων «επιμέρους σημείων» των ευρημάτων σε περιβάλλον 3D AutoCAD. Τόσο για την επίλυση του πολυγωνομετρικού δικτύου σταθερών σημείων –του πλαισίου αναφοράς δηλαδή- όσο και για την επεξεργασία των μετρήσεων από τα σημεία αυτά, προς τα επί μέρους σημεία των ευρημάτων χρησιμοποιήθηκε και πάλι το λογισμικό Site Recorder SE και τα αποτελέσματα εξήχθησαν στο τρισδιάστατο περιβάλλον του AutoCAD. Για την αύξηση της ακρίβειας και τη διευκόλυνση των μετρήσεων τοποθετήθηκαν «δευτερεύοντα σταθερά σημεία» σε μεγαλύτερη εγγύτητα προς τα ανασκαπτόμενα ευρήματα τα οποία σημάνθηκαν με τα γράμματα Σ1, Σ2, Σ3, Σ4, Σ5, και επίσης εξαρτήθηκαν μέσω των μετρήσεων, από το πλαίσιο αναφοράς των κύριων σταθερών σημείων. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκαν δισδιάστατα σχέδια κατόψεων, τομών και όψεων του ανασκαφικού τομέα κατά την διάρκεια της ανασκαφής προκειμένου να καταγραφούν τα στάδια της αρχαιολογικής έρευνας.

Η ίδια διαδικασία ίδρυσης και επίλυσης πολυγωνομετρικού δικτύου ακολουθήθηκε και κατά την επόμενη ερευνητική αποστολή (2010), κατά την οποία η έντονη ανασκαφική δραστηριότητα υπέδειξε την πύκνωση του δικτύου, κυρίως στους χώρους των ανασκαφικών τομών, με επιπλέον σταθερά σημεία (Σ6 έως και Σ16) (Εικ.4.11).



Εικ.4.11: Δίκτυο σταθερών σημείων, ναυάγιο στη νήσο Μόδι, Φ.Βλαχάκη

4.2.3 Φωτογραμμετρική αποτύπωση ναυαγίου

Ως βασική μέθοδος αποτύπωσης του ναυαγίου επιλέχθηκε η φωτογραμμετρική μέθοδος. Διαθέσιμος εξοπλισμός ήταν η φωτογραφική μηχανή Canon A620, σε υποβρύχιο σκάφανδρο Ikelite καθώς και το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων Eos Systems Photomodeler.

Το PhotoModeler χρησιμοποιήθηκε με δύο τρόπους. Πρώτον, ως μία παράλληλη μέθοδος για την εξαγωγή συντεταγμένων των βασικών και δευτερευόντων σταθερών σημείων του πλαισίου αναφοράς, και των επί μέρους σημείων των ευρημάτων κατά τη διάρκεια της ανασκαφής. Τεχνητά επιμέρους σημεία σημάνθηκαν πάνω στα ευρήματα υποβρυχίως ώστε να γίνει δυνατή η καταγραφή τους κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης, οι συντεταγμένες των οποίων ήταν δυνατόν στη συνέχεια να εξαχθούν, μέσω της επεξεργασίας των φωτογραφιών με το PhotoModeler. Μέσω των σημείων αυτών ήταν δυνατή η ακριβής καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και του σχήματος κάθε ευρήματος και η δημιουργία δισδιάστατων σχεδίων του τομέα ανασκαφής. Δεύτερον, χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων του ανασκαφικού τομέα καθημερινά, οι οποίες θα ενημερώνονταν

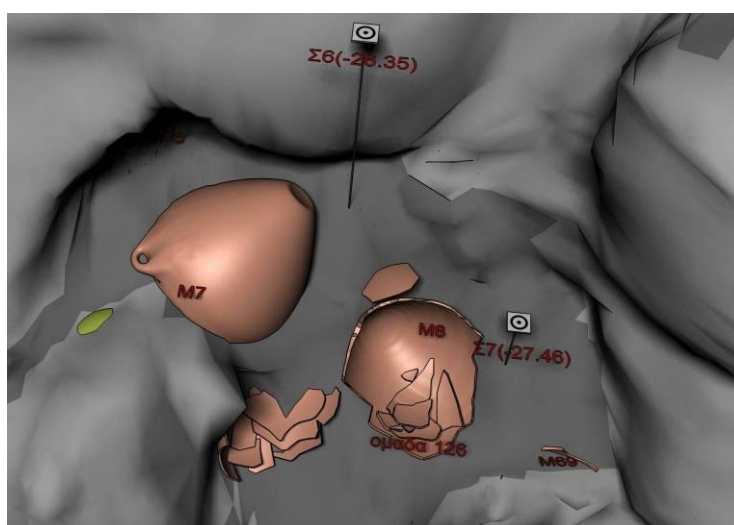
κατά την πρόοδο της έρευνας με την χρήση του συστήματος point scanner του PhotoModeler (έκδοση Photomodeler scanner).

Για τη χρήση του PhotoModeler, τοποθετήθηκαν ειδικά κατασκευασμένοι στόχοι στα σταθερά σημεία του πλαισίου αναφοράς καθώς και μέσα στην περιοχή του ανασκαφικού τομέα. Οι στόχοι αυτοί παρήχθησαν μέσω του προγράμματος “automatic target” του PhotoModeler, εκτυπώθηκαν σε αδιάβροχη αυτοκόλλητη επιφάνεια και κολλήθηκαν σε πινακίδες Plexiglas διαστάσεων 10X10cm και 130X10cm. Τα πινακίδια 10x10cm προσαρμόστηκαν σε μεταλλική βάση η οποία εύκολα βιδώθηκε στην κορυφή των πασσάλων των σταθερών σημείων (υλοποίηση φωτοσταθερών σημείων). Τα πινακίδια διαστάσεων 130x10cm είχαν αρνητική πλευστότητα και μπορούσαν να τοποθετηθούν σε κατάλληλες θέσεις στην περιοχή που φωτογραφιζόταν κάθε φορά ώστε να αποτελέσουν ένα τοπικό πλαίσιο αναφοράς του Photomodeler κατά την παραγωγή των τρισδιάστατων νεφών σημείων που στη συνέχεια θα οδηγούσαν στις τρισδιάστατες απεικονίσεις του ανασκαφικού τομέα.

Ο συνδυασμός των διαφορετικών μεθόδων αποτύπωσης κατά τη διάρκεια της ανασκαφικής περιόδου, έγινε με σκοπό την πληρέστερη και πολυδιάστατη τεκμηρίωση των δεδομένων του χώρου και την παροχή στους αρχαιολόγους καθημερινών ενημερωμένων σχεδίων της κατάστασης του ανασκαφικού τομέα καθώς και την περεταίρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την ακόμη πιο λεπτομερή ή τρισδιάστατη απεικόνιση της υποβρύχιας ανασκαφής (Βλαχάκη, Γάρρας, 2009).

4.2.4 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του ναυαγίου

Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του συνόλου του ναυαγίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό 3DS max της Autodesk. Τρισδιάστατα σημεία επί των ευρημάτων καθώς και του αναγλύφου του βυθού, εξήχθησαν από το περιβάλλον του Photomodeler και εισήχθησαν έπειτα στο 3DS max (Εικ.4.12), με μια διαδικασία όμοια αυτής που περιγράφηκε και για το ναυάγιο του Μαζωτού.



Εικ.4.12:Τρισδιάστατο μοντέλο ευρημάτων και αναγλύφου σε περιβάλλον 3DS max, Γ.Φαραζής

Από το Photomodeler εξήχθησαν κάποια πολύ χαρακτηριστικά σημεία επί των ευρημάτων και επί των βράχων ώστε να προσδιοριστούν τρισδιάστατα οι θέσεις τους. Ωστόσο, το τρισδιάστατο μοντέλο δεν ήταν δυνατό να προκύψει μόνο από τα σημεία που υπολογίζονταν στο Photomodeler. Για το λόγο αυτό, σε ευρήματα όπως ο πίθος M7 της εικόνας 3.9, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση ανεξάρτητα από το ναυάγιο με δεδομένες τις ακριβείς τους διαστάσεις. Έτσι, με τα χαρακτηριστικά σημεία από το Photomodeler (που συνοδεύονταν πάντα από τη φωτογραφία με τα στοχευμένα σε αυτήν σημεία) ήταν δυνατό να προσδιοριστεί η ακριβής θέση του ευρήματος στο χώρο του ναυαγίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα τρία ναυάγια που περιγράφηκαν στο 3^ο και 4^ο κεφάλαιο, οι μεθοδολογίες αποτύπωσης παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες, κάτι που μαρτυρά την αδιαμφισβήτητη αποτελεσματικότητά τους.

5.1 Αξιολόγηση επίλυσης τριπλευρισμού

Από την επίλυση του δικτύου στο ναυάγιο του Ευβοϊκού κόλπου προέκυψε ότι τα επίπεδα ακριβείας τα οποία επιτεύχθηκαν στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων αναφοράς πλ τις προδιαγραφές που απαιτεί μια θαλάσσια αποτύπωση.

Και στις τρεις εφαρμογές των ναυαγίων, είναι γεγονός ότι δεν υπήρξε η δυνατότητα εφαρμογής επιπλέον γεωδαιτικών μεθόδων, όπως η υδραυλική χωροστάθμηση ή ο αναβιβασμός σημείων στην επιφάνεια για εξάρτηση του δικτύου από το Κρατικό Δίκτυο. Οι λόγοι ήταν ο ιδιαίτερα περιορισμένος χρόνος που διατέθηκε για τις εργασίες αποτύπωσης εν μέσω απαιτητικών αρχαιολογικών ερευνών (συγκεκριμένα στον Ευβοϊκό πραγματοποιήθηκαν 2 καταδύσεις για την υλοποίηση του δικτύου και 11 καταδύσεις για μετρήσεις, σε χρονικό διάστημα 3 ημερών), καθώς επίσης και οι πολύ δυσμενείς συνθήκες, όπως η δυσκολία προσέγγισης των ναυαγίου, τα μεγάλα βάθη (από 33 έως και 47 μέτρα) και η κακή ορατότητα που συνάντησε πολλές φορές το καταδυτικό συνεργείο.

Ένα ζήτημα που ταλανίζει συχνά τις υποβρύχιες αποτυπώσεις είναι το πώς μπορεί να υλοποιηθεί στο βυθό ένα δίκτυο, οι κορυφές του οποίου να παραμένουν αμετακίνητες. Στο πρόβλημα αυτό, η εφαρμογή στον Αργολικό κόλπο ανέδειξε σαν αποτελεσματική λύση τον εγκιβωτισμό των ράβδων σε τσιμεντένια βαθράκια, ώστε το βάρος της κατασκευής να εξασφαλίζει την σταθερότητα των σημείων. Ωστόσο, αυτή η λύση δεν εξασφαλίζει ταυτόχρονα καλή κατανομή των σταθερών σημείων σε όλη την έκταση του αντικειμένου. Γεωμετρικά, θεωρείται αυτονόητη η δημιουργία ενός δικτύου σταθερών σημείων με ικανοποιητική κατανομή με την έννοια της διασποράς των σημείων σε όλη την έκταση του αντικειμένου. Μόνο με μια καλή κατανομή σημείων είναι δυνατό να εξασφαλιστεί η ισχυρή γεωμετρία του δικτύου. Αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό στο πλαίσιο μιας υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας δεδομένων κάποιων παραγόντων, όπως η κατάσταση του βυθού, οι προγραμματισμένες εργασίες, ο σεβασμός προς τα ευρήματα κ.ά. Στο παράδειγμα του Μαζωτού, η ασθενής γεωμετρία του δικτύου ήταν αποτέλεσμα της αδυναμίας εύρεσης ικανών θέσεων για την τοποθέτηση σταθερών σημείων, λόγω του αμμώδους βυθού και της δυσκολίας κίνησης των δυτών από και προς την ανασκαφική τομή. Στο ναυάγιο του Μαζωτού, δεν πραγματοποιήθηκαν καθόλου μετρήσεις μηκών στο πεδίο, με αποτέλεσμα η όλη αποτύπωση του ναυαγίου να γίνει με φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Οι μόνες δεσμεύσεις που υπήρχαν για την απόδοση της κλίμακας και του σωστού μεγέθους του αντικειμένου (απόλυτος προσανατολισμός) ήταν οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών που είχαν υπολογιστεί σε προηγούμενη αποστολή και κάλυπταν μόνο το βορειοδυτικό τμήμα της ανασκαφικής τομής. Αυτό είχε ως

αποτέλεσμα, η συνόρθωση του νέου μπλοκ να παρουσιάζει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την ακρίβεια. Οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετέπειτα εργασίες προέκυψαν από τη συνόρθωση αυτή με αποτέλεσμα να μεταφέρεται μη προσδιορισμένο σφάλμα. Στην αρχή, όμως, δεν ήταν αντιληπτό το μέγεθος του σφάλματος που μετέφερε η κακή γεωμετρία του προηγούμενου δικτύου φωτοσταθερών σημείων από το οποίο εξαρτήθηκε το νέο δίκτυο των φωτοσταθερών, για το λόγο ότι το ενδιαφέρον της ανασκαφής εξακολουθούσε να είναι επικεντρωμένο στο βορειοδυτικό τμήμα της τομής. Το μεγαλύτερο πρόβλημα προέκυψε κατά την αποτύπωση των δύο μολύβδινων τμημάτων που αποκαλύφθηκαν στη συνέχεια και συγκεκριμένα του νοτιοανατολικού τμήματος το οποίο βρισκόταν σε περιοχή ασθενούς γεωμετρίας. Οριζοντιογραφικά το σφάλμα ήταν ικανοποιητικό ($\approx 2\text{cm}$), υψομετρικά όμως παρουσιάστηκε μία απόκλιση 30cm , ως αποτέλεσμα της εν λόγω κακής γεωμετρίας του δικτύου. Συνεπώς, ήταν απαραίτητο να πραγματοποιηθούν μετρήσεις πλάγιων αποστάσεων, μεταξύ των νέων κορυφών αμέσως μετά την ίδρυση του δικτύου και να επιλυθεί τριπλευρισμός, πριν την έναρξη της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Ο λόγος για τον οποίο κάτι τέτοιο δεν πραγματοποιήθηκε ήταν η έλλειψη χρόνου για καταδύσεις αφιερωμένες σε μετρήσεις. Στο παράδειγμα του Ευβοϊκού, όπου η κατανομή των φωτοσταθερών σημείων έγινε σε όλη την έκταση του ναυαγίου, δεν τέθηκε ζήτημα κακής γεωμετρίας, αλλά ζήτημα πύκνωσης του δικτύου των φωτοσταθερών αυτών, κάτι που ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί έμμεσα κατά την επεργασία των δεδομένων (με φωτογραμμετρική μέθοδο) και όχι άμεσα (με υποβρύχιες μετρήσεις μηκών).

Αν υποθεθεί, όμως, ότι το δίκτυο που υλοποιείται κάθε φορά καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις της σταθερότητας και της καλής κατανομής των σημείων, γεννάται το ερώτημα του πόσο καλά μπορεί να μετρηθεί και να συνορθωθεί το δίκτυο. Οι μετρήσεις αποστάσεων με μετροταινία είναι μία δύσκολη, χρονοβόρα και απαιτητική υπόθεση μέσα στο νερό και ιδιαίτερα σε μεγάλα βάθη. Τα αποτελέσματα της επίλυσης του τριπλευρισμού στο ναυάγιο του Ευβοϊκού θεωρούνται ικανοποιητικά από την άποψη των σφαλμάτων που έδωσε η συνόρθωση. Από την άλλη πλευρά, για την περίπτωση της επίλυσης ενός δικτύου με τριπλευρισμό, είναι προτιμότερο να μετρώνται οι αποστάσεις τόσο σε μετάβαση όσο και σε επιστροφή, παρά να μετράται η κάθε απόσταση μόνο μία φορά, ώστε να πραγματοποιείται κάποιου είδους έλεγχος.

Οι παράγοντες του υποβρύχιου περιβάλλοντος που επιδρούν στη φυσική κατάσταση των δυτών πολύ συχνά επηρεάζουν τις μετρήσεις. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητο να γίνεται καλός προγραμματισμός των εργασιών από πριν και όχι κατά τη διάρκεια της κατάδυσης. Οι δύτες που συμμετέχουν στις μετρήσεις να είναι καλά εκπαιδευμένοι και να έχουν αντίληψη του τί μετρούν και πώς το μετρούν. Η τελευταία αναφορά σχετικά με τους δύτες και την εξειδίκευσή τους, γίνεται για το λόγο ότι στις εργασίες αποτύπωσης εν μέσω μιας υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας δεν συμμετέχουν μόνο μηχανικοί ή γενικά υπεύθυνοι αποτυπώσεων, αλλά και δύτες-γνώστες διαφορετικών αντικειμένων.

5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων υποβρύχιας φωτογραμμετρίας

Αν υποθεθεί ότι έχουν λυθεί τα προβλήματα προσαρμογής στο υποβρύχιο περιβάλλον (έμμεσα προβλήματα) και λαμβάνοντας υπόψη τους οπτικούς περιορισμούς που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (άμεσα προβλήματα υποβρύχιας φωτογραμμετρίας), υποδεικνύονται δύο περιπτώσεις φωτογράφισης κατά τις οποίες είναι δυνατό να επιτευχθούν με τους παρακάτω τρόπους καλής ποιότητας αποτελέσματα.

Στην πρώτη περίπτωση, κατά την οποία η φωτογράφιση θα πραγματοποιηθεί με φυσικό φωτισμό, θα πρέπει τα νερά να είναι ήρεμα, χωρίς αφρό, θολούρα ή ισχυρά ρεύματα. Η ιδανική φωτογράφιση γίνεται τις εποχές που ο ήλιος είναι ψηλά στον ορίζοντα, δηλαδή άνοιξη ή καλοκαίρι και ώρες κατά τις οποίες οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν όσο το δυνατόν κάθετα στην υδάτινη επιφάνεια. Πληρέστερη, τέλος, είναι η φωτογράφιση με βοηθητικά φίλτρα για την εξισορρόπηση των χρωματικών απωλειών. Στη δεύτερη περίπτωση, η φωτογράφιση μπορεί να πραγματοποιηθεί με κάπως ουσιαστικότερες δυνατότητες. Απαραίτητη είναι η χρήση τεχνητού φωτισμού (λάμπες, πρόσθετα φλας εξωτερικά της θήκης στεγανοποίησης της φωτογραφικής μηχανής κλπ) που λύνει το πρόβλημα της απώλειας του φωτισμού και της χρωματικής απορρόφησης.

Τέλος, ανεξάρτητα από τη μεθοδολογία της φωτογράφισης που ακολουθείται, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο μετασχηματισμό της εστιακής απόστασης των φακών λόγω οπτικών παραγόντων με κυριότερο τον δείκτη διάθλασης. Για παράδειγμα, ένας φακός με ονομαστική τιμή εστιακής απόστασης 35mm, στο νερό συμπεριφέρεται σαν 50mm. Αυτό αποκλείει τη χρήση τηλεφακών κάτω από το νερό, ενώ υποδεικνύει τη χρήση πιο ευρυγώνιων φακών. Ωστόσο, ο δείκτης διάθλασης δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το μετασχηματισμό της εστιακής απόστασης ενός φακού. Ο λόγος της πραγματικής τιμής προς την ονομαστική τιμή του φακού δεν ισούται πάντα με τον δείκτη διάθλασης (1.345). Παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή το βάθος είναι πιθανό να επιδρούν σημαντικά στην πραγματική τιμή της εστιακής απόστασης. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής στο πεδίο της φωτογράφισης και πάντα στις ίδιες συνθήκες που η τελευταία υλοποιείται.

Ένα άλλο φωτογραμμετρικό ζήτημα που προκύπτει σχετικά συχνά είναι η αδυναμία αυτόματου προσανατολισμού των εικόνων (στο Photomodeler), λόγω έλλειψης σημείων που θα μπορούσαν να αναγνωριστούν αυτόματα και να παίξουν το ρόλο των σημείων σύνδεσης. Για την επίτευξη ενός τέτοιου αυτοματισμού, και στα τρία ναυάγια, σε κάθε φωτογράφιση τοποθετούνταν στην προς μελέτη περιοχή ράβδοι υλικού Plexiglas με κωδικοποιημένους στόχους που το Photomodeler είναι ικανό να αναγνωρίσει αυτόματα και να επιλύσει το μπλοκ των φωτογραφιών. Η αυτοματοποιημένη αυτή διαδικασία συνόρθωσης του μπλοκ δεν ήταν επιτυχημένη λόγω πολλών παραγόντων, όπως για παράδειγμα του υψηλού ποσοστού θορύβου στις εικόνες. Ο αυτόματος προσανατολισμός των εικόνων αποτελεί σε κάθε περίπτωση μία άκρως βοηθητική λύση, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπως αυτή της έρευνας του

Μαζωτού όπου ο διαθέσιμος χρόνος επεξεργασίας και η ποσότητα των δεδομένων που ανανεώνονται καθημερινά με νέα φωτογράφιση αποτελούν αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη. Η καθημερινή καταγραφή της κατάστασης μιας ανασκαφικής τομής είναι αναγκαίο να προχωράει τάχιστα. Η αποτύπωση δηλαδή κάθε ευρήματος ξεχωριστά και η παρακολούθηση της μεταβολής της τομής καθημερινά, πρέπει να συμβαδίζει απόλυτα με την ανασκαφή. Συγκεκριμένα, η πρώτη πρέπει να προηγείται της τελευταίας. Κανένα εύρημα που αποκαλύπτεται δε μπορεί να ανελκυστεί αν δεν έχει πρώτα προσδιοριστεί η ακριβής θέση του στο χώρο.

Αναφορικά με την ποιότητα του παράγωγου προϊόντος «ορθοφωτογραφία» (ναυάγιο Ευβοϊκού), το τελικό αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, τόσο από μετρητική άποψη (ακρίβεια) όσο και οπτικά και αισθητικά. Για να εξακριβωθεί η ακρίβεια του τελικού προϊόντος μετρήθηκαν α)πάνω στην ορθοφωτογραφία, οι ήδη γνωστές διαστάσεις των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ως σημεία σύνδεσης και β)έγινε σύγκριση της επίλυσης του δικτύου από τον τριπλευρισμό με επίθεση των σημείων στην ορθοφωτογραφία σε περιβάλλον AutoCAD. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν ως ικανοποιητικά.

Όσον αφορά τα τρισδιάστατα μοντέλα των ναυαγίων που δημιουργήθηκαν, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έδωσε πολύ αξιόλογα αποτελέσματα τόσοως προς τη γεωμετρία (εφαρμογή φωτογραμμετρίας για ακριβή θέση, σχήμα και προσανατολισμό των αντικειμένων), όσο και ως προς τη ραδιομετρία (μοντελοποίηση ευρημάτων γνωστών διαστάσεων, φωτορεαλισμός, rendering).

5.3 Γιατί και SSK και όχι μόνο Photomodeler

Κατά τη φωτογραμμετρική αποτύπωση του ναυαγίου στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο χρησιμοποιήθηκαν δύο φωτογραμμετρικά λογισμικά, όπως περιγράφεται στο 3^ο κεφάλαιο. Στο σημείο αυτό προκύπτει το ερώτημα «γιατί δύο λογισμικά και όχι ένα σε όλη τη φωτογραμμετρική επεξεργασία;».

Καταρχάς, η πρώτη απάντηση στο ερώτημα αυτό αφορά την βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής για την αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, η οποία ήταν εφικτή μόνο στο Photomodeler. Στο SSK παρέχεται η δυνατότητα αυτοβαθμονόμησης (self-calibration) με την έννοια ότι διορθώνονται οι τιμές των παραμέτρων που έχουν ήδη εισαχθεί στην μηχανή και δεν υπολογίζονται εκ νέου. Δεν τις υπολογίζει από την αρχή. Αν για παράδειγμα, η εστιακή απόσταση ενός φακού είναι στην πραγματικότητα 20mm και στο λογισμικό αυτή η τιμή δηλωθεί ίση με 10mm, η αυτοβαθμονόμηση που θα εκτελεστεί δεν θα φτάσει την πραγματική τιμή των 20mm, αλλά σύμφωνα με μία ανοχή που επίσης θα δηλωθεί από τον χειριστή του λογισμικού, η τιμή αυτή θα διορθωθεί, εξακολουθώντας να είναι κοντά στα 10mm. Όσο για το αν οι τιμές των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής που υπολογίζονται στο Photomodeler, είναι αξιοποιήσιμες και για άλλα φωτογραμμετρικά λογισμικά, η απάντηση εξαρτάται από το πόσο καλά έχουν προσανατολιστεί οι εικόνες για τη βαθμονόμηση τόσο σχετικά (σωστός αυτόματος εντοπισμός κουκίδων, σωστές ομολογίες σημείων), όσο και απόλυτα (καλά μετρημένες αποστάσεις, σωστές δεσμεύσεις). Εξάλλου, στις τρεις υποβρύχιες εφαρμογές στα ναυάγια, η

βαθμονόμηση που μπορούσε να δώσει το Photomodeler ήταν η μόνη λύση, δεδομένων των διαθέσιμων μέσων (όπως το ταμπλώ της βαθμονόμησης) και του πολύ περιορισμένου χρόνου.

Από την άλλη, το Photomodeler δεν ήταν τόσο εύχρηστο και αποτελεσματικό για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας όσο το SSK. Πολύ σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι στο Photomodeler δεν υπάρχει η δυνατότητα στερεοσκοπικής παρατήρησης για την δημιουργία του ΨΜΕ. Η στερεοσκοπική παρατήρηση, θεωρητικά, δεν είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός ΨΜΕ, δεδομένου ότι ένα ΨΜΕ μπορεί να παραχθεί και μόνο μέσω της συλλογής ομόλογων σημείων πάνω σε δύο εικόνες. Πρακτικά, όμως, η στερεοσκοπική όραση σε αυτήν την διαδικασία δίνει το πλεονέκτημα στον χρήστη να ελέγχει σε πραγματικό χρόνο την υψομετρική τιμή των σημείων που συλλέγει. Τέλος, η δημιουργία ενός ορθού ΨΜΕ αποτελεί τον κρισιμότερο ίσως παράγοντα για την παραγωγή μιας αξιόπιστης ορθοφωτογραφίας. Γι αυτούς τους λόγους λοιπόν επιλέχθηκε ο φωτογραμμετρικός σταθμός SSK για την συλλογή του ΨΜΕ και την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας.

Τέλος, για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του ναυαγίου αρχικά επιχειρήθηκε να αξιοποιηθεί το ΨΜΕ που είχε δημιουργηθεί στο SSK. Το ΨΜΕ αυτό όμως αποτελεί ένα 2.5D σχέδιο, αφού προέρχεται από σχεδόν κατακόρυφες λήψεις με αποτέλεσμα να αποκρύπτεται σημαντική πληροφορία σε πολλά σημεία. Έτσι, εφαρμόστηκε μία μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια στις υποβρύχιες αποτυπώσεις (VENUS Project, έρευνα Μαζωτού, Grand Ribaud F Project) και συγκεκριμένα σε ναυάγια με φορτίο αντικειμένων (αμφορέων) γνωστών διαστάσεων. Ακόμη και με ένα αραιό ΨΜΕ ή και μόνο με τρία χαρακτηριστικά σημεία για κάθε αμφορέα, όλοι οι αμφορείς αφού μοντελοποιηθούν σύμφωνα με τις γνωστές τους (βιβλιογραφικά) διαστάσεις μπορούν να πάρουν τη θέση τους στο χώρο του ναυαγίου. Η λεπτομερής απόδοση των σπασμένων ευρημάτων προκύπτει από τη συλλογή σημείων που περιγράφουν τις ακμές των σπασμάτων. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ακριβής, αφού προέρχεται από φωτογραμμετρικές παρατηρήσεις και ταυτόχρονα δίνει τη δυνατότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης ενός μνημείου στο οποίο δεν υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης άλλων τεχνολογιών τρισδιάστατης τεχνολογίας, όπως οι σαρωτές laser.

Συμπερασματικά, οι κλασικές γεωδαιτικές και φωτογραμμετρικές μέθοδοι, όπως ο τριπλευρισμός και ο φωτοτριγωνισμός, ακόμη κι αν εφαρμόζονται για ένα περιβάλλον όπου τα μόνα διαθέσιμα μέσα είναι μία μετροταινία και μία φωτογραφική μηχανή, μπορούν να υποστηριχθούν με επιτυχία από σύγχρονα λογισμικά προγράμματα, που δίνουν τη δυνατότητα στο ευρύ κοινό να πραγματοποιήσει ένα ψηφιακό ταξίδι σε εξέχουσας σημασίας, αλλά ταυτόχρονα και δυσπρόσιτα, μνημεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία

Drap P., Seinturier J., Scaradozzi D., Gambogi P., Longd L., Gauche F., *Photogrammetry for virtual exploration of underwater archaeological sites*, Athens, 2007

Gili Telem, Sagi Filin, *Photogrammetric modeling of underwater environments*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010

Moore J., *Underwater Photogrammetry*, Taunton, 1976

Drap P., Durand A., Provin R., Long L., *Integration of multi-source spatial information and XML information system in underwater archaeology*, Torino, 2005

Drap P., Long L., Durand A., Grussenmeyer P., *From underwater photogrammetry to a web integrated documentation system: The case of the 'Grand Ribau F' Etruscan wreck*, Potsdam, 2001

Green J., Matthews S., Turanli T., *Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: different applications for different problems*, The Nautical Archaeology Society, 2002

Maas H., *New developments in multimedia photogrammetry*, 1995

Holt P., *An assessment of quality in underwater archaeological surveys using tape measurements*, 2003

Doukhnitch E., Salamah M., Ozen E., *An efficient approach for trilateration in 3D positioning*, Turkey, 2008

Green J., Gainsford M., *Evaluation of underwater surveying techniques*, The Nautical Archaeology Society, 2003

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

Scarlato D., Agapiou A., Rova M., *Photogrammetric support on an underwater archaeological excavation site: The Mazotos shipwreck case*, Cyprus, 2010

Baldwin R.A., *An underwater photogrammetric measurement system*, Newcastle, 1984

Ewins N.J., Pilgrim D.A., *The evaluation of Photomodeler for use under water*, Plymouth, 1997

Ελληνική βιβλιογραφία

Αγουρίδης Χ., *Ενάλια αρχαιολογική έρευνα Αργολικού*, Περιοδική έκδοση του Ι.ΕΝ.Α.Ε. 'ΕΝΑΛΙΑ', Αθήνα, 2007

Βλαχάκη Φ., Γάρρας Μ., *Εργασίες και αποτελέσματα τεκμηρίωσης κατά την υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα του 2009 στο ναυάγιο της νήσου Μόδι στον Αργολικό κόλπο*, Περιοδική έκδοση του Ι.ΕΝ.Α.Ε. 'ΕΝΑΛΙΑ', Αθήνα, 2009

Ανδρικάκης Α., Γεωργαντέλης Γ., Κυριακοπούλου Β., Ξουράφας Β., Σαπνας Μ., Σβαρνας Κ., *Υποβρύχιες τοπογραφικές αποτυπώσεις*, Διπλ.Εργασία ΕΜΠ, 1987

Δογγούρης Σ., *Σημειώσεις στις Υποβρύχιες αποτυπώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος 'Ειδικά Θέματα Γεωδαισίας'*, Αθήνα, 1990

Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία σφαλμάτων & συνορθώσεις Ι'*, Αθήνα, 2007

Πατιάς Π., *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, 1991

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

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

Καρδιτσάς Α., Μποδόσης Π., Παπαγεωργίου Κ., *Μεθοδολογική προσέγγιση της αποτύπωσης βυθισμένων μνημείων*, Διπλ.Εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, 2001

Ιστότοποι

<http://photomodeler.com>

<http://www.3hconsulting.com>

«Εδώ τελειώνουν τα έργα της θάλασσας, τα έργα της αγάπης.

*Εκείνοι που κάποτε θα ζήσουν εδώ που τελειώνουμε
αν τύχει και μαυρίσει στη μνήμη τους το αίμα και ξεχειλίσει
ας μη μας ξεχάσουν, τις αδύναμες ψυχές μέσα στ' ασφοδίλια,
ας γυρίσουν προς το έρεβος τα κεφάλια των θυμάτων:
Εμείς που τίποτε δεν είχαμε θα τους διδάξουμε τη γαλήνη.»*

Γιώργος Σεφέρης, Ημερολόγια Καταστρώματος