



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**«ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ
Θ/Κ " Γ. ΑΒΕΡΩΦ" »**

Συγγραφέας

Μαυροκεφάλου Ειρήνη

ΑΜ: 12058

Επιβλέπων:

Παγούνης Βασίλειος, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

Diploma Thesis

«3D Documentation of the Historic Battleship “Georgios Averof”»

Student name and surname:

Mavrokefalou Eirini

Registration Number: 12058

Supervisor name and surname:

Pagounis Vasilios, Professor at the University of West Attica

Athens, March 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**«ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ
Θ/Κ " Γ. ΑΒΕΡΩΦ " »**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Παγούνης Βασίλειος	Καθηγητής ΠαΔΑ	
2	Ανδριτσάνος Βασίλειος	Αναπλ. Καθηγητής ΠαΔΑ	
3	Γιαννίου Μιχαήλ	Αναπλ. Καθηγητής ΠαΔΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαυροκεφάλου Ειρήνη του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 12058 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η δηλούσα

Μαυροκεφάλου Ειρήνη

Η παρούσα σελίδα αφήνεται σκοπίμως κενή.

.....
© **Copyright** Ειρήνη Μαυροκεφάλου, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Π ε ρ ί λ η ψ η

Η γεωμετρική τεκμηρίωση παραδοσιακών σκαφών καθώς και μεγάλων ιστορικών πλοίων που αποτελούν μέρος της ναυτικής πολιτιστικής κληρονομιάς, έχει τεράστια σημασία σήμερα για πολλούς λόγους. Συνδέεται άμεσα και βοηθά το έργο επιστημών, όπως η ναυπηγική, η αρχιτεκτονική, η ιστορία και άλλες. Ιδιαίτερα, σε ό,τι αφορά τη ναυπηγική, η συντήρηση πλοίων ιστορικής σημασίας επιβάλλεται διότι με αυτόν τον τρόπο μπορούν να αντληθούν και να αξιοποιηθούν πληροφορίες σχετικά με τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό.

Στην παρούσα εργασία, αντικείμενο μελέτης αποτελεί η γεωμετρική τεκμηρίωση του σκαριού καθώς και των υπερκατασκευών του ιστορικού πλοίου «Θ/Κ Γ. Αβέρωφ», ως κινούμενου εν λειτουργία αντικειμένου και ως του μοναδικού στον κόσμο δείγματος θωρακισμένου καταδρομικού, που σώζεται και διατηρείται έως και σήμερα.

Η διαδικασία γεωμετρικής τεκμηρίωσης πραγματοποιήθηκε με γεωδαιτικές μεθόδους, πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο επίγειοι σαρωτές laser και συμπληρωματικά ένας γεωδαιτικός σταθμός. Κατά τη διαδικασία αυτή υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατης μοντελοποιημένης επιφάνειας με αρκετά υψηλή ακρίβεια. Το τελικό προϊόν της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι η παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου απεικόνισης της επιφάνειας της γάστρας του πλοίου.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η διαδικασία αποτύπωσης του πλοίου που πραγματοποιήθηκε σε δυο περιόδους, με σκοπό να κατασκευαστεί το μοντέλο του. Κατά την πρώτη περίοδο, το πλοίο ήταν αγκυροβολημένο στη Μαρίνα Φλοίσβου στη βάση του στο Φάληρο. Την περίοδο αυτή ιδρύθηκαν έντεκα στάσεις και έγιναν σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 της Leica.

Κατά την δεύτερη περίοδο, το πλοίο βρισκόταν στα Ναυπηγεία του Σκαρामαγκά όπου πραγματοποιούνταν εργασίες συντήρησής του, όπου και υπήρξε η δυνατότητα αποτύπωσης του σκαριού του, εφόσον βρισκόταν εκτός θαλάσσης.

Εδώ, ιδρύθηκαν δεκατρείς επιπλέον στάσεις και πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις (α) με το ScanStation 2 της Leica, (β) με τον επίγειο σαρωτή P 30/40 της Leica και (γ) με τον σαρωτή λέιζερ Focus M 70 της FARO. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με κάμερα θερμικής απεικόνισης Flir E60 όπου καταγράφηκαν θερμικές εικόνες, καθώς

επίσης πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις με GPS και με γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR407) της Leica .

Η επεξεργασία δεδομένων έγινε με το λογισμικό Cyclone της Leica και το Geomagic Studio της 3D Systems, που αφορούσε τον καθαρισμό, την συνένωση των νεφών σημείων, καθώς και τη δημιουργία σκίασης και πλεγμάτων τριγώνων, από την επεξεργασία των οποίων προέκυψε το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του Θωρηκτού.

Από την όλη διαδικασία διαπιστώσαμε ότι απαιτείται πολύ προσεκτικός σχεδιασμός των εργασιών. Αποκτήθηκε σημαντική εμπειρία, τόσο κατά τη συλλογή όσο και κατά την επεξεργασία των δεδομένων, ώστε το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που θα προκύψει να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο. Για να προσδιοριστεί η αξιοπιστία, μετρήθηκαν δειγματοληπτικά αποστάσεις πάνω στο θωρηκτό και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες αποστάσεις του τρισδιάστατου μοντέλου, από όπου προέκυψε ένα Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα της τάξεως του 1cm. Ωστόσο, για να εκτιμηθεί η συνολική ποιότητα του μοντέλου, θα πρέπει να μετρηθούν αντιπροσωπευτικές αποστάσεις σε όλες τις περιοχές του πλοίου και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες αποστάσεις του μοντέλου, προκειμένου να μελετηθούν τα σφάλματα που προκύπτουν.

Τέλος, συζητούνται τα σχετικά συμπεράσματα, με έμφαση σε διάφορα προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

A b s t r a c t

The geometric documentation of large historic ships as well as that of traditional boats, that are part of the maritime cultural heritage, is of great importance today for many reasons. It connects directly and helps the work of many sciences such as shipbuilding, architecture, history and many more. In particular, in the field of shipbuilding, the maintenance of ships of historical importance is imperative because in this way information on technological developments can be extracted and utilized in this sector.

The object of the present study is the geometric documentation of the hull, as well as the superstructures of the historic “B/S G. Averof”, as a moving object in operation and as the unique example of an armored cruiser globally, which survives and is preserved to this day. The process of geometric documentation was carried out by means of geodetic methods. More specifically, two terrestrial laser scanners and, in addition, a geodetic station were used. Using this process ensures the possibility of creating a three-dimensional modeled surface with quite high accuracy levels.

The final product of this methodology is the production of a three-dimensional display model of the superstructures, as well as the surface of the vessel’s hull. In particular, the study presents the process of the surveying of the ship, in order to construct its model. For the construction of the Battleship model, measurements were carried out during two periods: During the first period, the ship was moored in the Marina of Floisvos, at Faliron, where eleven stations were established and scans were performed with the Leica ScanStation 2. During the second period, the ship was immobilized at Skaramangas Hellenic Shipyards for repairs, where it was possible to capture its hull, since it was off the sea. To accomplish this, thirteen additional stations were established and scans were performed (a) with Leica ScanStation 2 (b) with P 30/40 terrestrial scanner and (c) with FARO Focus M 70 laser scanner. In addition, scans were performed with Flir E60 thermal imaging camera and thermal images were captured. Finally, geodetic measurements were performed with GPS and the Leica TPS 400 (TCR407) geodetic station.

Data processing was performed with Leica Cyclone software and Geomagic Studio of 3D Systems, which concerned the cleaning and joining of the point clouds, as well as the creation of shading and triangular meshes, from the processing of which, the final three-dimensional model of the Battleship emerged.

From the whole process, we found that very careful planning of the whole work is required. Significant experience was gained, both during the collection and during processing of data, so that the final 3D model that will emerge be as reliable as possible. To determine the reliability, distances on the Battleship were sampled and then they were compared to the corresponding distances of the three-dimensional model, which resulted in a Mean Squared Error of 1 cm. However, in order to assess the overall quality of the model, representative distances in all areas of the ship should be measured and compared to the corresponding distances of the model, in order to study the resulting errors.

Finally, relevant conclusions are discussed, with emphasis on various problems that arose while carrying out this study.

Ευχαριστίες

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Παγούνη Βασίλειο, τόσο για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, όσο και για την πολύτιμη και αμέριστη βοήθειά του που ήταν καθοριστική στην ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ επίσης τους συναδέλφους Άλκηστη, Βασίλη και Νίκο για τη συνεργασία μας στο στάδιο της δεύτερης φάσης της συλλογής δεδομένων, καθώς και της επεξεργασίας αυτών στο γραφείο.

Ευχαριστώ επίσης τις εταιρείες JGC ΑΕ και METRICA ΑΕ για τη βοήθειά τους στη συλλογή των δεδομένων της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους για την στήριξή τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	18
Περίληψη	21
Abstract.....	23
Ευχαριστίες.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	31
1.1 Πρόλογος	31
1.2 Σκοπός της εργασίας	33
1.3 Δομή της εργασίας.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:	35
Ιστορικά στοιχεία και ναυπηγικά χαρακτηριστικά του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	35
2.1 Ιστορικά στοιχεία	35
2.1.1 Ταυτότητα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»	35
2.1.2 Αποστολές.....	36
2.1.3 Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο	36
2.1.4 Τα τελευταία χρόνια	37
2.2 Τα ναυπηγικά χαρακτηριστικά του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	37
2.2.1 Σχεδίαση πολεμικών πλοίων στις αρχές του 20ου αιώνα.....	38
2.2.2 Σχήμα πλοίου – κατασκευή.....	38
2.2.3 Ευστάθεια – στεγανή υποδιαίρεση.....	39
2.2.4 Αντίσταση – πρόωση	40
2.2.5 Εγκατάσταση πρόωσης	41
2.2.6 Έλικες	42
2.2.7 Καταναλώσεις – ακτίνα ενέργειας	43
2.2.8 Πηδάλιο – παρελκόμενα.....	43
2.2.9 Θωράκιση.....	43
2.2.10 Λοιπά κατασκευαστικά στοιχεία.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	45
Επίγειοι Σαρωτές.....	45
3.1 Γενικά	45
3.1.1. Ανάλυση (Resolution).....	45
3.1.2. Κατηγορίες Laser Scanning.....	47

3.2.1. Laser scanners τριγωνισμού (Triangulation based measurement).....	48
3.2.2. Laser scanners παλμού (pulse based-time of flight)	49
3.2.3. Laser scanners φάσης (phase based)	49
3.3. Ακρίβειες μετρήσεων με Laser scanners	51
3.3.1. Laser scanners τριγωνισμού (Triangulation based measurement).....	51
3.3.2. Laser scanners παλμού (pulse based)	51
3.3.3. Laser scanners φάσης (phase based)	52
3.4. Περιγραφή Σφαλμάτων	52
3.4.1. Σφάλματα οργάνων.....	52
3.4.2. Κατασκευαστικά σφάλματα των laser scanners.....	53
3.4.3. Σφάλματα που οφείλονται στα αντικείμενα μέτρησης.....	54
3.4.4. Περιβαλλοντικά Σφάλματα.....	55
3.4.5. Σφάλματα μικρομετακινήσεων	56
3.4.6. Σφάλματα μεθοδολογίας	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	57
Ναυπηγική και μεθοδολογία αποτύπωσης πλοίου	57
4.1 Ναυπηγική.....	57
4.1.1 Γεωμετρία του πλοίου- Ορισμοί.....	58
4.1.2 Διαστάσεις Πλοίου.....	60
4.1.3 Κύρια επίπεδα και ναυπηγικές γραμμές του πλοίου	62
4.1.4 Ναυπηγικές γραμμές.....	63
4.1.5 Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές, ίσαλοι ή παρίσαλοι (water lines).....	64
4.1.6 Διαμήκειες ναυπηγικές γραμμές (Buttoks ή Longitudinals)	64
4.1.7 Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές ή Νομείς.....	65
4.1.8 Ναυπηγικές μονάδες μέτρησης.....	66
4.2. Συλλογή, επεξεργασία δεδομένων και αποτύπωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	68
4.2.1 Εργασίες γραφείου.....	68
4.2.2 Εργασίες υπαίθρου	72
4.2.3 Αρχαιοθέτηση των δεδομένων μετρήσεων	80
4.2.4 Μεταδεδομένα αρχείων.....	81
4.2.5 Μεταδεδομένα της όλης εργασίας.....	81
4.2.6 Συνένωση νεφών σημείων και γεωαναφορά	82
4.2.7 Επεξεργασία δεδομένων	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	106
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 2.1 Σχεδιάγραμμα των Amalfi-Pisa από το Brassey's Naval and Shipping Annual του 1924. (Ναυτικό Μουσείο της Ελλάδος)
- Εικόνα 3.1 Παράδειγμα ανάλυσης 1/32 απο απόσταση 10 και 20 μέτρων
- Εικόνα 3.2 Παράδειγμα ανάλυσης 1/8 απο απόσταση 10 και 20 μέτρων
- Εικόνα 3.3 Αρχή λειτουργίας των Laser scanners τριγωνισμού
- Εικόνα 3.4 Αρχή λειτουργίας των Laser scanners φάσης
- Εικόνα 3.5 Φέρουσα συχνότητα που μεταφέρει δύο συχνότητες διαμόρφωσης
- Εικόνα 3.6 Διεύρυνση ακτίνας Laser ανάλογα με την απόσταση
- Εικόνα 3.7 Ανάκλαση ίδιας ακτίνας Laser σε διαφορετικά όρια απόστασης
- Εικόνα 3.8 Πολλαπλές ανακλάσεις
- Εικόνα 3.9 Ανακλάσεις από ημιδιαφανείς επιφάνειες
- Εικόνα 4.1 Επίδραση του αποτυπώματος της γωνίας πρόσπτωσης στο αντικείμενο μετρήσεων
- Εικόνα 4.2 Επίγειος σαρωτής ScanStation 2
- Εικόνα 4.3 Οι έντεκα στάσεις σάρωσης με επίγειο σαρωτή την 1η Περίοδο εργασιών τον Απρίλιο του 2016.
- Εικόνα 4.4 Επίγειος σαρωτής ScanStation 2 στο Ναυπηγείο Σκαραμαγκά.
- Εικόνα 4.5 Οι δεκατρείς στάσεις σάρωσης με επίγειο σαρωτή την 2η Περίοδο εργασιών τον Ιούνιο & Ιούλιο του 2017
- Εικόνα 4.6 Υλοποιημένες στάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του Θωρηκτού
- Εικόνα 4.7 Τοπογραφικές μετρήσεις αριστερής πλευράς
- Εικόνα 4.8 Τοπογραφικές μετρήσεις κοίλου
- Εικόνα 4.9 Οι πέντε στάσεις μετρήσεων με γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR 407) της LEICA την 2η περίοδο εργασιών τον Ιούνιο & Ιούλιο του 2017
- Εικόνα 4.10 Γεωδαιτικός σταθμός TPS 400 (TCR 407) της LEICA
- Εικόνα 4.11 Θερμικές εικόνες
- Εικόνα 4.12 Θερμοκάμερα E60 της Flir
- Εικόνα 4.13 Μετρήσεις GPS με το μοντέλο Triumph 1M της εταιρείας JAVAD
- Εικόνα 4.14 Τελικό νέφος σημείων που προήλθε από τη συνένωση όλων των νεφών με το λογισμικό Cyclone.
- Εικόνα 4.15 Λευκοί ημισφαιρικοί στόχοι
- Εικόνα 4.16 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό Geomagic
- Εικόνα 4.17 Εμφάνιση δεδομένων τύπου .xyz στο λογισμικό Geomagic
- Εικόνα 4.18 Χονδρικός καθαρισμός
- Εικόνα 4.19 Σκίαση του μοντέλου
- Εικόνα 4.20 Απεικόνιση του μοντέλου μετά τους διαδοχικούς καθαρισμούς
- Εικόνα 4.21 Διαγραφή θορύβου

- Εικόνα 4.22 Απεικόνιση επιφανειών με πλέγμα τριγώνων (ESRI, ArcGIS Help)
- Εικόνα 4.23 Σημειακό αρχείο για μετατροπή σε αρχείο πλέγματος τριγώνων (mesh)
- Εικόνα 4.24 Ρυθμίσεις εντολής για μετατροπή σε αρχείο πλέγματος τριγώνων(mesh)
- Εικόνα 4.25 Αρχείο πλέγματος τριγώνων
- Εικόνα 4.26 Αποκατάσταση μικρών περιοχών
- Εικόνα 4.27 Αποκατάσταση κλειστών και ανοικτών περιοχών
- Εικόνα 4.28 Διαγραφή επικαλυπτόμενων τριγώνων
- Εικόνα 4.29 Διαγραφή ανεστραμμένων τριγώνων
- Εικόνα 4.30 Επεξεργασία και αποκατάσταση του πάνω μέρους του πύργου του πυροβόλου και προσαρμογή γεωμετρικών σχημάτων (κυλίνδρων) στις κάννες του
- Εικόνα 4.31 Αποκατάσταση ανωμαλίας στην επιφάνεια
- Εικόνα 4.32 Στατιστικά στοιχεία πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής Relax
- Εικόνα 4.33 (α) Επιλογή και (β) Διόρθωση ατελειών πλέγματος τριγώνων
- Εικόνα 4.34 Μείωση του αριθμού του πλέγματος τριγώνων
- Εικόνα 4.35 Συνολικό διορθωμένο πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»: Πλάγια δεξιά όψη
- Εικόνα 4.36 Συνολικό διορθωμένο πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»: Πανοραμική άποψη από την δεξιά προωαία πλευρά

Κ α τ ά λ ο γ ο ς Σ χ η μ ά τ ω ν

- Σχήμα 4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλοίου
- Σχήμα 4.2 Θέσεις Πρυμαίιας Καθέτου
- Σχήμα 4.3 Διαστάσεις πλοίου
- Σχήμα 4.4 Άξονες, κύρια επίπεδα και τομές
- Σχήμα 4.5 Ναυπηγικές γραμμές
- Σχήμα 4.6 Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές
- Σχήμα 4.7 Διαμήκειες ναυπηγικές γραμμές
- Σχήμα 4.8 Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές

Κ α τ ά λ ο γ ο ς Π ι ν ά κ ω ν

- Πίνακας 4.1 Απαιτούμενη ανάλυση για την απόδοση αντικειμένων με συγκεκριμένη πιθανότητα με βάση το μέγεθός τους.
- Πίνακας 4.2 Σύγκριση μετρημένων αποστάσεων με τις αντίστοιχες αποστάσεις του πλέγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αποτελεί ιστορικό κειμήλιο του Πολεμικού μας Ναυτικού, δεδομένου ότι αποτελούσε τη ναυαρχίδα του κατά τους Βαλκανικούς πολέμους, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην απελευθέρωση-επέκταση του ελληνικού κράτους μέχρι τον Έβρο. Η ιστορική και συναισθηματική του αξία για την Ελλάδα είναι ανεκτίμητη. Επιπλέον, είναι το μοναδικό παγκοσμίως δείγμα του τύπου Θ/Κ (θωρακισμένο καταδρομικό) που διατηρείται μέχρι σήμερα. Εκτιμώντας την συμβολή του στα ιστορικά δρώμενα της Ελλάδας αλλά και υπόστασή του ως μνημείου της πολιτιστικής κληρονομιάς, το Πολεμικό Ναυτικό, αφού προηγουμένως έκανε τις απαραίτητες επισκευές το εγκατέστησε στο Τροκαντερό της Μαρίνας Φλοίσβου στο Παλαιό Φάληρο, και έκτοτε αποτελεί κορυφαίο πλωτό μουσειακό έκθεμα. Τα μνημεία που συγκαταλέγονται σε καταλόγους πολιτιστικής κληρονομιάς βάσει της αξίας τους, παρέχουν μοναδική μαρτυρία μιας πολιτισμικής παράδοσης ή ενός πολιτισμού που είτε ζει ακόμα είτε έχει εξαφανισθεί και συνδέει το παρελθόν με το παρόν. Είναι δηλαδή άμεσα συνδεδεμένα με σημαντικά στάδια της ανθρώπινης ιστορίας και για το λόγο αυτό έχουν εξέχουσα οικουμενική αξία και αποτελούν τμήμα της κοινής κληρονομιάς της ανθρωπότητας.

Είναι λοιπόν φανερό, ότι οποιοδήποτε μέσο ή διαδικασία που βοηθάει προς την κατεύθυνση της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι πολύτιμο. Στην κατεύθυνση αυτή μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά η σημερινή τεχνολογία, παρέχοντας τα μέσα για τρισδιάστατη απεικόνιση μνημείων με τον πλέον αξιόπιστο και ακριβή τρόπο. Για τα βασικά πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης σάρωσης στο πλαίσιο της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, οι Αρχοντάκης, Βλάχου, Αραμπατζή, Παγούνης (2012) αναφέρουν ότι:

« . . . παρέχει άμεση, γρήγορη και λεπτομερή αποτύπωση της γεωμετρίας του αντικειμένου στις τρεις διαστάσεις χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο, ενώ παράλληλα μειώνει το κόστος και τον χρόνο υλοποίησης της εργασίας . . . παρέχει τη δυνατότητα λεπτομερούς αποτύπωσης πολύπλοκων και απρόσιτων τμημάτων του προς αποτύπωση αντικειμένου, εκεί όπου οι παραδοσιακές τεχνικές αποτυγχάνουν με δυνατότητα συλλογής δεδομένων ακόμη και με συνθήκες ανεπαρκούς φωτισμού, ενώ διασφαλίζονται η ακρίβεια η

πληρότητα και η συνέχεια της αποτύπωσης. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης δεν χρειάζεται να επιστρέφει στο πεδίο σε περίπτωση που ξαναχρειαστεί νέα στοιχεία. Έτσι αυξάνεται και ο βαθμός αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων εκ μέρους του χρήστη ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα πολλαπλής χρήσης των δεδομένων, άμεσα αλλά και μελλοντικά». Σύμφωνα με την Ανδρουλάκη (2018), η τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση των πρωτότυπων πολιτιστικών μνημείων είναι μεγάλης σπουδαιότητας από πολλές απόψεις διότι:

“ . . . επιτρέπει την απεικόνιση με τρισδιάστατά αξιόπιστα μοντέλα σε διάφορες κλίμακες, με μετρητική αξία και αναδεικνύει τις αισθητικές αντιλήψεις της εποχής κατασκευής του μνημείου . . . επιτρέπει την προβολή του μνημείου στο ευρύ κοινό με αποτέλεσμα την καλύτερη γνώση και την ευαισθητοποίησή του σε πολιτιστικά θέματα ενώ δεν θα πρέπει να παραβλέψουμε και το ότι δίνει στο μνημείο δυνατότητα επισκεψιμότητας . . . βοηθάει σε εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών του μνημείου . . . συμβάλλει στην εξαγωγή συμπερασμάτων και πληροφοριών σχετικά με τις γνώσεις στατικής αλλά και χρησιμοποιημένων δομικών υλικών . . . παρέχει δυνατότητα ανακατασκευής του μνημείου σε περίπτωση καταστροφής του . . . παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής ψηφιακής βάσης δεδομένων η οποία πέρα από το τρισδιάστατο μοντέλο, μπορεί εμπλουτιστεί και από άλλες σχετικές πληροφορίες για το μνημείο . . . για παράδειγμα αν αναλογιστούμε πόσο πολύτιμη θα ήταν μια τέτοια ψηφιακή βάση για τον Παρθενώνα και τέλος, αποτελεί πολύτιμο βοήθημα στην εκπαιδευτική διαδικασία στο πλαίσιο της εκπόνησης διαχρονικών και σύγχρονων μελετών σε πολλαπλά επιστημονικά πεδία . . . ».

1.2 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ Θ/Κ «Γ. ΑΒΕΡΩΦ». Αναφέρεται στο Θ/Κ Γ. ΑΒΕΡΩΦ και έχει στόχο την πιστή αναπαράστασή του διαμέσου ενός αξιόπιστου τρισδιάστατου μοντέλου, κατασκευασμένου με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας και ειδικότερα με εκτέλεση μετρήσεων με σαρωτές laser, των οποίων η επεξεργασία θα γίνει με κατάλληλα λογισμικά.

1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο περιγράφεται στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 1

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο συμπεριλαμβάνεται μια σύντομη παρουσίαση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» όπου εξάιρεται η συμβολή του στην ναυτική πολιτιστική κληρονομιά της Ελλάδας. Εδώ περιγράφονται επίσης ο σκοπός και η δομή της εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται εκτενώς στην ιστορική αναδρομή του Θ/Κ «Γ. ΑΒΕΡΩΦ» και ειδικότερα στο ρόλο του κατά τον Α' Βαλκανικό Πόλεμο, καθώς και κατά τον Α' και Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Επιπλέον, περιγράφονται τα τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου.

Κεφάλαιο 3

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται αποκλειστικά στους επίγειους σαρωτές laser (laser scanners) και ειδικότερα στην περιγραφή της Μεθοδολογίας Τρισδιάστατης Σάρωσης, στους τύπους σαρωτών, στις ακρίβειες των μετρήσεών τους και επιπλέον γίνεται εκτενής αναφορά στα σφάλματά τους και στις πηγές αυτών.

Κεφάλαιο 4

Περιλαμβάνει θέματα σχετικά α) με τη Ναυπηγική και β) την αποτύπωση του πλοίου. Όσον αφορά τη Ναυπηγική παρατίθενται χρήσιμοι ορισμοί, κατανόηση της γεωμετρίας του πλοίου, των βασικών γραμμών και των τεχνικών χαρακτηριστικών.

Στο μέρος της αποτύπωσης αναφέρεται η μεθοδολογία συλλογής των μετρήσεων, η επεξεργασία τους για την εξάλειψη των σφαλμάτων και ο τρόπος δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου του Θωρηκτού.

Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται τα προβλήματα, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία, καθώς παρουσιάζονται προτάσεις οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν πιθανώς αντικείμενα μελέτης στο μέλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ιστορικά στοιχεία και ναυπηγικά χαρακτηριστικά του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

2.1 Ιστορικά στοιχεία

2.1.1 Ταυτότητα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

Το Αβέρωφ μετρά πάνω από έναν αιώνα ιστορίας και αποτελεί ένα μεγάλο σταθμό στην ναυτική ιστορία του Πολεμικού Ναυτικού. Πρόκειται για το μοναδικό δείγμα του τύπου Θ/Κ (θωρακισμένο καταδρομικό) που διατηρείται στον κόσμο ως σήμερα και εξακολουθεί να είναι αξιόπλοο. Αγοράστηκε στις 21 Οκτωβρίου του 1909, επί κυβερνήσεως Κυριακούλη Μαυρομιχάλη 24 εκατομμύρια δραχμές, με χορηγία κατά το ένα τρίτο από κληροδότημα του Γ. Αβέρωφ. Η διαθήκη του Γ. Αβέρωφ όριζε ότι το 1/5 της περιουσίας του παραχωρείται για τη ναυπήγηση ισχυρού καταδρομικού πλοίου που θα φέρει το όνομά του και θα είναι διασκευασμένο κατά τέτοιον τρόπο ώστε να χρησιμεύει ως εκπαιδευτικό πλοίο της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων.

Αποτέλεσε τη ναυαρχίδα και ταυτόχρονα το μεγαλύτερο πολεμικό πλοίο του Ελληνικού Βασιλικού Ναυτικού έως το 1951, οπότε και αποσύρθηκε από την ενεργό υπηρεσία. Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είναι ένα πλοίο με μεγάλη ιστορική σημασία. Ναυπηγημένο στο Λιβόρνο της Ιταλίας το 1910, εκτοπίσματος 10.000 τόνων, το πλοίο κατελκύστηκε στις 12 Μαρτίου 1910 και μετά από δοκιμές διάρκειας ενός έτους παραλήφθηκε στις 16 Μαΐου του 1911. Αρχικά, προορισμός του ήταν να ενταχθεί στο ιταλικό Ναυτικό, αλλά αγοράστηκε από την Ελλάδα και σύντομα έδρασε στους Βαλκανικούς Πολέμους και στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, συνεχίζοντας να υπηρετεί σε καθήκοντα συνοδείας καθ' όλο το υπόλοιπο του πολέμου. Το 1945 πρυμνοδέτησε στον Πόρο, όπου και παρέμεινε έως το 1984 όταν το ελληνικό Γενικό Επιτελείο Ναυτικού αποφάσισε να το επαναφέρει στο προσκήνιο. Έπειτα από χρόνια αργών επισκευών και συντήρησης, το πλοίο είναι τώρα αγκυροβολημένο στον Φαληρικό όρμο στην ακτή της Αθήνας ως πλωτό ναυτικό μουσείο.

2.1.2 Αποστολές

Τον Οκτώβριο του 1912, με την έναρξη του Α' Βαλκανικού Πολέμου, το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», επικεφαλής του Στόλου του Αιγαίου υπό τον Ναύαρχο Παύλο Κουντουριώτη, απέπλευσε προς τα Δαρδανέλια, καταλαμβάνοντας: το Άγιο Όρος, καθώς επίσης και τα νησιά Λήμνο, Θάσο, Σαμοθράκη, Ίμβρο, Τένεδο, Αγ. Ευστράτιο, Μυτιλήνη και Χίο. Συγκρούστηκε με τον τουρκικό στόλο στις ναυμαχίες της Έλλης στις 3 Δεκεμβρίου του 1912 και της Λήμνου στις 5 Ιανουαρίου του 1913 που είχαν νικηφόρες εκβάσεις, και έτσι οι προσδοκίες του Σουλτάνου για τον έλεγχο του Αιγαίου μηδενίστηκαν, ενώ ο οθωμανικός στόλος δεν επιχείρησε ποτέ πια νέα έξοδο στο Αιγαίο. Η επιτυχής κατάληψη των νησιών του βορειοανατολικού Αιγαίου, είχε ως αποτέλεσμα το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» να αποκτήσει διαστάσεις συμβόλου στη λαϊκή μνήμη και στην εθνική συνείδηση.

Κατά το μεγαλύτερο μέρος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου η Ελλάδα παρέμεινε ουδέτερη. Όμως, το 1917 η Κυβέρνηση του Ε. Βενιζέλου αποφάσισε να συμμετάσχει στον πόλεμο, στο πλευρό των Συμμάχων. Ο πλήρης έλεγχος της Μεσογείου από το συμμαχικό ναυτικό και η επιτυχία της συμμαχικής ναυτικής στρατηγικής, που απέβλεπε στον αποκλεισμό του στόλου των Κεντρικών Δυνάμεων στην Αδριατική και του τουρκικού στον Βόσπορο, στηρίχτηκε σε μεγάλο βαθμό σ' αυτά ακριβώς τα πλήγματα που είχε επιφέρει ο ελληνικός στόλος και το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στην Κωνσταντινούπολη κατά τον αγώνα για την εθνική ολοκλήρωση. Μετά την υπογραφή των συνθηκών ειρήνης το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» μαζί με τον υπόλοιπο στόλο μετέφερε τα ελληνικά στρατεύματα στην Ιωνία. Οι εξελίξεις των επιχειρήσεων στη Μικρά Ασία διέγραψαν γρήγορα αρνητική πορεία, που κατέληξε στην Καταστροφή του '22. Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» βρέθηκε ξανά στα μικρασιατικά παράλια, αυτή τη φορά για να βοηθήσει στη μεταφορά των στρατευμάτων και του ξεριζωμένου ελληνικού στοιχείου.

2.1.3 Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο

Με την έναρξη του Β' Παγκόσμιου Πολέμου το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» τέθηκε και πάλι επικεφαλής, ως ναυαρχίδα του ελληνικού πολεμικού στόλου. Μετά την κατάρρευση του μετώπου το 1941, το Υπουργείο Ναυτικών διέταξε την αυτοβύθιση του Θωρηκτού, προκειμένου να μην περιέλθει στα χέρια του εχθρού. Ωστόσο, η αναχώρηση των

πλοίων του στόλου που είχαν εναπομείνει στην Αλεξάνδρεια ήταν αδιανόητο να γίνει χωρίς την ασφαλή συντροφιά του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Κατόπιν, το πλοίο κατευθύνθηκε στη Βομβάη, με αποστολή την προστασία νηοπομπών που κατευθύνονταν εκεί. Το 1942 κατέπλευσε στο Πορτ Σάιντ, όπου συμμετείχε σε αποστολές προστασίας λιμένων. Με την αποχώρηση των γερμανικών στρατευμάτων κατοχής, επέστρεψε στις 16 Οκτωβρίου 1944 στην Ελλάδα, φέρνοντας μαζί του την τότε εξόριστη ελληνική κυβέρνηση και αγκυροβόλησε πανηγυρικά στον φαληρικό όρμο. Στο χρονικό διάστημα 1947 έως 1949 το Θωρηκτό έγινε Αρχηγείο Στόλου στο Κερατσίνι. Όμως, το πλοίο είχε πλέον «γεράσει» και το 1952 διατάχθηκε ο παροπλισμός του.

2.1.4 Τα τελευταία χρόνια

Από το 1957 μέχρι το 1983, το Θωρηκτό βρέθηκε πρυμοδετημένο στον Πόρο. Το 1984 το Πολεμικό Ναυτικό αποφασίζοντας να το αποκαταστήσει, το ρυμουλκεί στο Φάληρο, όπου ξεκινά η αποκατάστασή του με δωρεές ιδιωτών. Σήμερα, μουσείο πλέον, το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αποτελεί ιστορικό και πολιτισμικό μνημείο. Ταυτόχρονα, αποτελεί αλληλένδετη έως ταυτόσημη έννοια με την κληρονομιά των θαλασσών, τις θαλάσσιες μεταφορές, και πάνω απ' όλα με την ναυτοσύνη. Παράλληλα, αποτελεί σημαντικό εκπαιδευτικό προορισμό εφόσον δέχεται καθημερινές επισκέψεις σχολείων, ιδρυμάτων, οργανισμών, καθώς και πλήθους ιδιωτών. Έτσι, πραγματώνεται και η δεύτερη διάσταση-όρος της επιθυμίας του δωρητή, αυτή της εκπαιδευτικής αποστολής του πλοίου.

2.2 Τα ναυπηγικά χαρακτηριστικά του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»¹

Το πλοίο «Γ. Αβέρωφ», αν και είναι γνωστό ως θωρηκτό (battleship), ανήκει στην κατηγορία των θωρακισμένων καταδρομικών (armoured cruiser), «*incrociatore corazzato*», όπως αναγράφεται στα ιταλικά σχέδιά του. Ναυπηγήθηκε στο Λιβόρνο της Ιταλίας με σχεδιαστή τον Giuseppe Orlando και είναι της κλάσης Pisa με αδελφά πλοία τα Amalfi και Pisa, τα οποία υπηρέτησαν στο Ιταλικό Ναυτικό.² Οι Ιταλοί

¹ <http://www.elzoni.gr/html/ent/789/ent.43789.asp>

² Fraccaroli, Aldo (1970). Italian Warships of World War I. London: Ian Allan. ISBN 0-7110-0105-7

ναυπηγοί ήταν πρωτοπόροι στην σχεδίαση των θωρηκτών πλοίων (pre-dreadnought) και (dreadnought). Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» ανήκει στην μεγάλη κατηγορία των πλοίων pre-dreadnought.³

2.2.1 Σχεδίαση πολεμικών πλοίων στις αρχές του 20ου αιώνα

Η σχεδίαση πολεμικών πλοίων στις αρχές του 20ου αιώνα συμπεριελάμβανε τον οπλισμό που έπρεπε να φέρει το νέο πλοίο και κυρίως ο τύπος, το διαμέτρημα και ο αριθμός των πυροβόλων, που αντιστοιχούσε σε ένα συγκεκριμένο βάρος.

Όλα τα πλοία γραμμής, θωρηκτά ή καταδρομικά, χαρακτηρίζονταν από δύο εκτοπίσματα, το κανονικό (normal) και το εκτόπισμα πλήρους φόρτου (full load). Το κανονικό εκτόπισμα που ήταν και το εκτόπισμα δοκιμών περιλάμβανε μέρος μόνο του φόρτου καυσίμου, το 30% μέχρι το 50% της μέγιστης ποσότητας που μπορούσαν να χωρέσουν οι αποθήκες (δεξαμενές) του πλοίου. Το βάρος αυτό του καυσίμου αναφερόταν ως ονομαστικό (legend).

Το κανονικό εκτόπισμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αναφέρεται στα σχέδιά του ως 10.200 tons και αποτελεί στρογγύλευση του εκτοπίσματος των 10.118 tons που αντιστοιχεί στην ίσαλο σχεδίασης. Το ονομαστικό βάρος καυσίμου που έφερε ήταν 660 tons άνθρακα, και το συνολικό 1.542 tons.

2.2.2 Σχήμα πλοίου – κατασκευή

Το σχήμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είναι χαρακτηριστικό της εποχής, έχει εμβολοφόρο πρόρα, πρύμνη καταδρομικού και ελαφρά ελάττωση του πλάτους άνω της ισάλου γραμμής (εσοχή - tumble home).

Είναι κατασκευασμένο από κοινό ναυπηγικό χάλυβα, πλην της θωράκισης. Οι συνδέσεις μεταξύ ελασμάτων και ενισχυτικών γίνονταν εξ' ολοκλήρου με καρφώσεις. Για τα πολεμικά πλοία της εποχής, γίνονταν υπολογισμοί διαμήκους αντοχής σε

³https://ipfs.io/ipfs/QmXoypijzjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Greek_cruiser_Georgios_Averof.html

κάμψεις θετικές και αρνητικές (hogging, sagging) και χρησιμοποιούνταν διαμήκη ενισχυτικά, κυρίως εντός των διπτυθμένων.

Το πλοίο έχει τρία συνεχή καταστρώματα: Το άνω ή εξωτερικό κατάστρωμα (piano di coperta), το κύριο ή κατάστρωμα μάχης (piano di batteria) και κάτω κατάστρωμα, που αποτελεί την οροφή του μηχανοστασίου και των λεβητοστασίων, κάμπτεται στα άκρα του κατά το εγκάρσιο και κατά το διάμηκες για λόγους προστασίας του εσωτερικού του πλοίου.

Τα διτύθμενα αποτελούν βασικό στοιχείο της κατασκευής, φέρουν διαμήκη ενισχυτικά, έχουν ύψος 1,10 m και είναι στεγανά σε μήκος 57,0 m.

Το στεγανό τους τμήμα χωρίζεται σε 36 δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 1093 m³, κάποιες από τις οποίες χρησιμοποιούνταν ως δεξαμενές τροφοδοτικού ύδατος για τους λέβητες.

2.2.3 Ευστάθεια – στεγανή υποδιαίρεση

Το μετάκεντρο, το μετακεντρικό ύψος και οι πρώτοι υπολογισμοί ευστάθειας εμφανίζονται στα βιβλία της ναυπηγικής τέχνης και επιστήμης την δεκαετία του 1730. Την δεκαετία του 1860 άρχισε να διαπιστώνεται η σημασία της καμπύλης στατικής ευστάθειας στην ευστάθεια και αξιοπλοΐα των πλοίων. Στις αρχές του 20ου αιώνα γίνονταν συστηματικοί υπολογισμοί της καμπύλης στατικής ευστάθειας και του μετακεντρικού ύψους σε όλες τις πιθανές καταστάσεις φόρτου ενός πολεμικού πλοίου. Δεν υπήρχαν κριτήρια το κάτω ή κατάστρωμα διαδρόμου (corridoio), αλλά γίνονταν σύγκριση των καμπύλων στατικής ευστάθειας του πλοίου με αυτές άλλων πλοίων που είχαν ικανοποιητική συμπεριφορά κατά την λειτουργία τους.

Οι επιτυχημένες σχεδιάσεις είχαν καμπύλες στατικής ευστάθειας που εκτείνονταν μέχρι τις 70 μοίρες, ο μέγιστος μοχλοβραχίονας επαναφοράς ήταν 1 m και εμφανίζονταν στις 35 μοίρες και το μετακεντρικό ύψος ήταν 1 m (όλες οι τιμές είναι μέσοι όροι).

Για το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», η καμπύλη στατικής ευστάθειας στο κανονικό εκτόπισμα και με κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους στα 8,0 m, που αντιστοιχεί σε μετακεντρικό ύψος 0,962 m, υπολογίστηκε και είναι ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς

σε m και Heel η κλίση σε μοίρες. Το πλοίο έχει δεκατρείς (13) στεγανές εγκάρσιες φρακτές που εκτείνονται από την τρόπιδα μέχρι το κάτω κατάστρωμα, επίσης έχει στεγανές διαμήκειες φρακτές (μία σε κάθε πλευρά) μεταξύ της πλευρικής θωράκισης και των αποθηκών άνθρακα. Τα διτύθμενα, όπως προαναφέρεται, αποτελούν μέρος της στεγανής υποδιαίρεσης του πλοίου και παρέχουν προστασία σε περίπτωση βλάβης του εξωτερικού περιβλήματος.

2.2.4 Αντίσταση – πρόωση

Στις αρχές του 20ου αιώνα ο υπολογισμός αντίστασης των πλοίων γίνεται πλέον με την χρήση μοντέλων με βάση τον νόμο του Froude. Για τα πλοία γραμμής, θωρηκτά ή καταδρομικά, το όριο της μέγιστης ταχύτητας ήταν η ταχύτητα που αντιστοιχούσε στην τιμή 1,10 του λόγου Taylor (ή στην τιμή 0,3272 του αριθμού Froude). Η ταχύτητα των 22,5 knots του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αντιστοιχεί σε λόγο Taylor 1,06 (0,3155 αριθμός Froude). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το βρετανικό θωρηκτό HMS Dreadnought (18.110 tons - 160,6 m) είχε ταχύτητα 21 knots που αντιστοιχούσε σε λόγο Taylor 0,92.

Η αντίσταση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» υπολογίστηκε με την βοήθεια των σειρών Taylor. Επίσης έγιναν υπολογισμοί για την αντίσταση παρελκομένων και την αντίσταση αέρα καθώς και για τους συντελεστές πρόωσης. Η αντίσταση παρελκομένων και η αντίσταση αέρα είναι περίπου το 25% της αντίστασης γυμνής γάστρας. Οι μεθοδικές σειρές Taylor για τον υπολογισμό της αντίστασης πλοίων αναπτύχθηκαν από τον ναύαρχο Taylor την δεκαετία του 1900 με βάση τις γραμμές του θωρακισμένου καταδρομικού HMS Leviathan της κλάσης Drake (14.150 tons - 162,6 m).

Σημειωτέον, ότι στις αρχές του 20ου αιώνα η έντονη ρύπανση των υφάλων, λόγω της μη ύπαρξης αποτελεσματικών αντιρρυπαντικών χρωμάτων, προκαλούσε σημαντική μείωση της ταχύτητας (η αύξηση της αντίστασης λόγω της ρύπανσης έφθανε το 50% σε ένα χρόνο παραμονής του πλοίου στην θάλασσα). Επίσης, η μέτρηση της ταχύτητας γινόταν με αναμέτρηση ή σε συγκεκριμένη απόσταση, συνήθως ενός μιλίου, η λεγόμενη μέτρηση μιλίου.

2.2.5 Εγκατάσταση πρόωσης

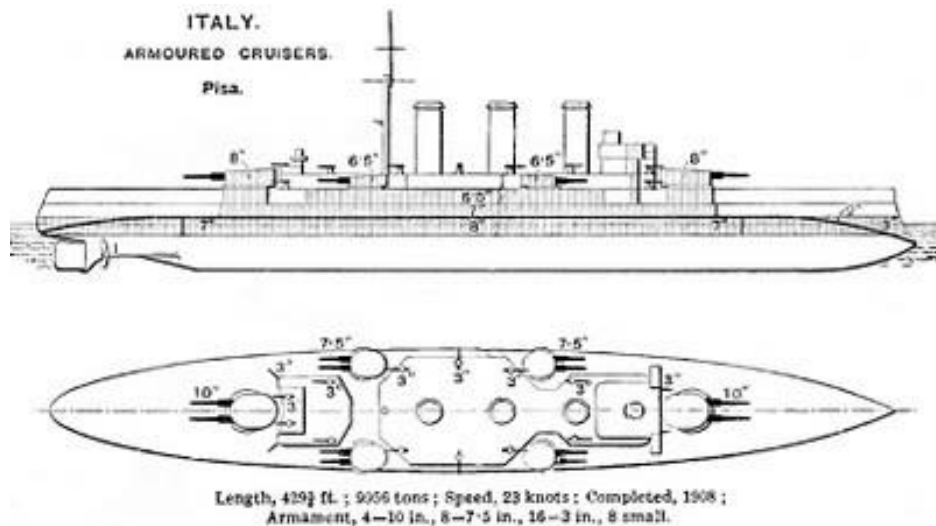
Από την δεκαετία του 1880 οι λέβητες, οι παλινδρομικές ατμομηχανές και οι έλικες αποτελούν πλέον την εγκατάσταση πρόωσης κάθε πολεμικού πλοίου. Η εγκατάσταση πρόωσης του πλοίου αποτελείται από είκοσι δύο (22) λέβητες Belleville και δύο (2) παλινδρομικές ατμομηχανές. Οι λέβητες Belleville, γαλλικής προέλευσης, ήταν οι πρώτοι υδραυλωτοί λέβητες της εποχής και μπορούσαν να αναπτύξουν πιέσεις μέχρι και 21 ατμόσφαιρες (21 atm = 309 PSI). Οι λέβητες είναι τοποθετημένοι σε τρία λεβητοστάσια (6 στο πρωαίο, 8 στο μεσαίο και 8 στο πρυμναίο).

Οι κύριες μηχανές είναι κατακόρυφης διάταξης, τριπλής εκτόνωσης με τέσσερις (4) κυλίνδρους, έναν υψηλής πίεσης, έναν μέσης πίεσης και δύο χαμηλής και είναι τοποθετημένες στο μηχανοστάσιο η μία δίπλα στην άλλη.

Η συνολική ενδεικνυόμενη ισχύς των μηχανών είναι 19.000 IHP (14.168 kW). Λαμβανομένου υπόψη ότι οι μηχανές αυτές έχουν μηχανικό βαθμό απόδοσης 0,94, προκύπτει ότι η μέγιστη ισχύς ανά άξονα είναι 8.930 SHP (6.659 kW).

Οι κύριες μηχανές μέσω αξόνων μήκους 35 m και διαμέτρου (ελάχιστη) 420 mm στρέφουν κατευθείαν, χωρίς την παρέμβαση μειωτήρων, έλικες διαμέτρου 5,2 m.

Μεταξύ κυρίων μηχανών και αξόνων παρεμβάλλονται ωστικοί τριβείς. Οι άξονες έχουν μηδενική κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο και σχηματίζουν γωνία 1,3 μοίρες ως προς το επίπεδο διαμήκους συμμετρίας του πλοίου, δηλαδή η μεταξύ τους γωνία επί ενός οριζοντίου επιπέδου είναι 2,6 μοίρες. Ο μέγιστος αριθμός στροφών ανά λεπτό (RPM) των κυρίων μηχανών και των ελικοφόρων αξόνων είναι 130. Η περιστροφή των ελίκων ήταν της δεξιάς δεξιόστροφη και της αριστερής αριστερόστροφη.



Εικόνα 2.1: Σχεδιάγραμμα των Amalfi-Pisa από το Brassey's Naval and Shipping Annual του 1924. (Ναυτικό Μουσείο της Ελλάδος)

2.2.6 Έλικες

Το σχήμα της πρύμνης και οι χαμηλές στροφές των παλινδρομικών ατμομηχανών επέτρεπαν την εγκατάσταση των αξόνων με μηδενική κλίση και την χρήση ελίκων μεγάλης διαμέτρου και μικρής επιφάνειας, με αποτέλεσμα υψηλές αποδόσεις ελίκων, που ξεπερνούσαν το 70%. Τα τρία πτερύγια των ελίκων συνδέονταν πάνω στη πλήμνη με κοχλίες που έδιναν την δυνατότητα αντικατάστασης του πτερυγίου σε περίπτωση βλάβης.

Επισημαίνεται ο πολύ χαμηλός λόγος ανεπτυγμένης επιφάνειας (38,2%), κάτι το οποίο ήταν τότε σύνηθες. Οι έλικες σε συνδυασμό με τις παλινδρομικές ατμομηχανές είχαν λόγο ανεπτυγμένης επιφάνειας από 35% έως 40%, με την εισαγωγή των ατμοστροβίλων, την αύξηση των στροφών και την μείωση της διαμέτρου, ο λόγος ανεπτυγμένης επιφάνειας αυξήθηκε στη περιοχή του 60%. Επίσης η χρήση ελίκων με τρία πτερύγια ήταν σχεδόν ο κανόνας.

Στο κανονικό εκτόπισμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» οι έλικες απορροφούσαν την μέγιστη ενδεικνυόμενη ισχύ των μηχανών (19.000 IHP) στις 125 RPM και έδιναν στο πλοίο ταχύτητα 22,5 knots. Η σπηλαίωση στη ράχη της έλικας (back cavitation) ήταν χαμηλή και δεν ξεπερνούσε το 3,5%. Οι έλικες λειτουργούσαν σε συντελεστή προχώρησης (J) περί το 1,0.

2.2.7 Καταναλώσεις – ακτίνα ενέργειας

Οι καταναλώσεις των πολεμικών πλοίων με παλινδρομικές ατμομηχανές και καύσιμο τον άνθρακα στις αρχές του 20ου αιώνα κυμαίνονταν περί τις 1,50 lbs/IHP-hr (0,90 kg/kW-hr).

Οι ακτίνες ενεργείας του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» έχουν υπολογισθεί με βάση την μέγιστη ποσότητα άνθρακα που μπορούσαν να χωρέσουν οι 38 αποθήκες του, που είναι 1.542 tons (3.400.000 lbs).

2.2.8 Πηδάλιο – παρελκόμενα

Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» φέρει ένα πηδάλιο μη ζυγοσταθμισμένο. Για τα θωρηκτά και τα καταδρομικά της εποχής ο λόγος της πλευρικής επιφάνειας του πηδαλίου προς την πλευρική επιφάνεια του πλοίου κάτωθεν της ισάλου κυμαινόταν από 1/40 έως 1/50. Για το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με πλευρική επιφάνεια πηδαλίου 20 m² και πλευρική επιφάνεια πλοίου κάτωθεν ισάλου σχεδίασης 924 m² ο λόγος αυτός είναι 1/46.

Έχει επίσης παρατροπίδια τριγωνικού σχήματος, πλάτους 550 – 600 mm, που εκτείνονται σε μήκος 40 m στο μέσο τμήμα της γάστρας. Οι τριβείς των ελικοφόρων αξόνων του Θωρηκτού εκτός πλοίου, στηρίζονται σε δύο βραχίονες (struts), που έχουν εσωτερική γωνία 72 μοιρών.

2.2.9 Θωράκιση

Από το τέλος της δεκαετίας του 1890 η θωράκιση των περισσότερων πλοίων γινόταν με χάλυβες που είχαν κατασκευασθεί με την μέθοδο Krupp οι οποίοι ήταν πιο αποτελεσματικοί από τους κοινούς χάλυβες. Η θωράκιση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είναι από χάλυβα Krupp.

Τα πάχη της θωράκισης στα πλευρά είναι 203 mm (8 in) στη μέση και 83 mm (3,25 in) στα άκρα, στο κατάστρωμα 50 mm (2 in), στους πύργους των πυροβόλων 203 mm (8 in) και στην γέφυρα μαζί με τον πύργο πυροβολικού 178 mm (7 in). Το κατάστρωμα που έχει θωράκιση είναι το κάτω, όπως φαίνεται και στα σχέδια των εγκαρσίων τομών, και η θωράκιση καλύπτει τα κεκλιμένα κατά τριάντα μοίρες (30 degrees) άκρα του καταστρώματος. Το κεκλιμένο τμήμα του καταστρώματος τερματίζεται εκεί που

τελειώνει η πλευρική θωράκιση κάτωθεν της ισάλου, για να παρέχει επιπλέον προστασία στους εσωτερικούς χώρους του πλοίου σε περίπτωση διάτρησης της πλευρικής θωράκισης.

Επί του κυρίου καταστρώματος και επί του κάτω καταστρώματος η πλευρική θωράκιση κάμπτεται προς τα έσω και σχηματίζει ένα περικλειστο προστατευμένο χώρο, το οχυρό (citadel), που παρείχε προστασία στο προσωπικό κατά τη διάρκεια της μάχης.

2.2.10 Λοιπά κατασκευαστικά στοιχεία

Το 10.200 τόνων θωρακισμένο εύδρομο είχε ιταλικές μηχανές 19.000 ίππων, 22 γαλλικούς λέβητες, γερμανικές γεννήτριες και αγγλικά πυροβόλα 190 και 234 χιλιοστών, τύπου ARMSTRONG. Η μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξε το Θωρηκτό ήταν 23 κόμβοι. Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» κατελκύστηκε στις 12 Μαρτίου 1910 και την 1 Σεπτεμβρίου 1911 κατέπλευσε στο Φάληρο. (Αλούρδας, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Επίγειοι Σαρωτές

3.1 Γενικά

Η αρχή λειτουργίας των Laser Scanners αναφέρεται στην εκπομπή μιας ακτίνας laser από ένα πομπό ακτίνων laser και την πρόσπτωση και ανάκλασή της των σημείων του αντικειμένου μελέτης, λήψη και επεξεργασία της ανακλώμενης ακτίνας, ώστε να προσδιορισθούν οι συντεταγμένες X,Y,Z και το χρώμα του σημείου.

Laser Scanning είναι η μέθοδος με την οποία προσδιορίζεται η θέση του απαιτούμενου αριθμού σημείων (νέφος σημείων) της επιφάνειας ενός αντικειμένου με ακρίβεια. Τα νέφη των σημείων επεξεργάζονται με κατάλληλα προγράμματα, ώστε να προκύψει ένα προσομοίωμα του αντικειμένου. Στην ουσία δημιουργείται ένα ακριβές και αξιόπιστο τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου και μάλιστα σχετικά γρήγορα, πράγμα που οφείλεται κύρια στο ότι οι σύγχρονοι laser scanners μπορούν και μετρούν μέχρι 2.000.000 σημεία το δευτερόλεπτο με ακρίβειες που προσεγγίζουν τα 1-3 χιλιοστά και που είναι αντιστρόφως ανάλογες με την απόσταση laser scanner – αντικειμένου.

3.1.1. Ανάλυση (Resolution)

Κρίνεται σκόπιμο στη διαδικασία μετρήσεων με laser scanners να εξηγηθεί και κατανοηθεί σε βάθος ο όρος ανάλυση (resolution), διότι η επιλογή της κατάλληλης ανάλυσης σε κάθε εργασία – μελέτη με χρήση laser scanners είναι ζωτικής σημασίας. Ανάλυση (resolution) ορίζεται η ικανότητα να διακρίνουμε μικροσκοπικά αντικείμενα σε ένα νέφος σημείων. Μεγάλη ανάλυση σημαίνει εντοπισμός πολύ μικρών αντικειμένων, μεγάλο αριθμό και πυκνότητα των σημείων μετρήσεων. Αντίθετα μικρή ανάλυση σημαίνει εντοπισμός μεγαλύτερων αντικειμένων, μικρότερο αριθμό και πυκνότητα των σημείων μετρήσεων. Εναλλακτικά η ανάλυση ορίζεται από την απόσταση δύο διαδοχικών σημειακών μετρήσεων. Πολλοί laser scanners δίνουν τη δυνατότητα ρύθμισης της επιθυμητής ανάλυσης ανάλογα με τις λεπτομέρειες που έχει το αντικείμενο που σαρώνεται. Η τοποθέτηση της κατάλληλης ανάλυσης είναι κυρίως θέμα εμπειρίας. Οι laser scanners (Boehler, W., et al.,2003) επιτρέπουν στον χειριστή να τοποθετήσει την απαιτούμενη ανάλυση για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο μετρήσεων. Σημειώνεται ότι πολλοί scanners επιτρέπουν τη ρύθμισή τους σε πολύ

μικρές αναλύσεις, που από ένα σημείο και πέρα είναι περιττές, ενώ άλλοι επιτρέπουν χονδρικές ρυθμίσεις που πολλές φορές δεν ικανοποιούν τις αναλύσεις που επιθυμούμε. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται παραδείγματα αναλύσεων και πως επηρεάζονται από την απόσταση laser scanner – αντικειμένου σάρωσης.



Figure 1: Resolution 1/32

- Laser scanner at a distance of 10m
- Laser scanner at a distance of 20m

Εικόνα 3.1: Παράδειγμα ανάλυσης 1/32 από απόσταση 10 και 20 μέτρων

<https://www.laserscanning-europe.com/en/news/correct-resolution-laser-scanning>



Figure 2: Resolution 1/8

- Laser scanner at a distance of 10m
- Laser scanner at a distance of 20m

Εικόνα 3.2: Παράδειγμα ανάλυσης 1/8 από απόσταση 10 και 20 μέτρων

<https://www.laserscanning-europe.com/en/news/correct-resolution-laser-scanning>

3.1.2. Κατηγορίες Laser Scanning

Δύο είναι οι κατηγορίες Laser Scanning, η δυναμική και η στατική.

Στη **δυναμική μέθοδο** ο scanner τοποθετείται πάνω σε όχημα ή αεροπλάνο με επιπλέον εξοπλισμό όπως GNSS (Global Navigation Satellite System) για τον προσδιορισμό της θέσης, Inertial Navigation System με επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια προκειμένου να προσδιορίζει τη θέση, την απόσταση και την ταχύτητα των αντικειμένων χωρίς την ανάγκη ενός εξωτερικού συστήματος αναφοράς. Η εξέταση της μεθόδου αυτής είναι εκτός του αντικειμένου της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Στη **στατική μέθοδο** ο scanner τοποθετείται σε σταθερή θέση, όπως γίνεται με το θεοδόλιχο, total station κλπ., με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλή ακρίβεια και μεγάλο αριθμό μετρούμενων σημείων. Ανάλογα με την απόσταση scanner - αντικειμένου διακρίνεται σε Μεγάλης περιοχής (150-1000μ.) για εφαρμογές μεγάλων εκτάσεων όπως ορυχεία, μοντελοποίηση πόλεων κλπ., σε Μεσαίας περιοχής (2-150 μ.), για εφαρμογές σε αποτυπώσεις αρχαιολογικών χώρων, βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κτιρίων, γεωλογικών φαινομένων κλπ. και σε Μικρής περιοχής για εφαρμογές στη μέτρηση μηχανολογικών εξαρτημάτων, στην φαρμακολογία κλπ. Όπως θα δούμε στη συνέχεια η απόσταση scanner – αντικειμένου αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα της ακρίβειας των μετρήσεων. Ειδικότερα η αύξηση της απόστασης μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων και αντίστροφα.

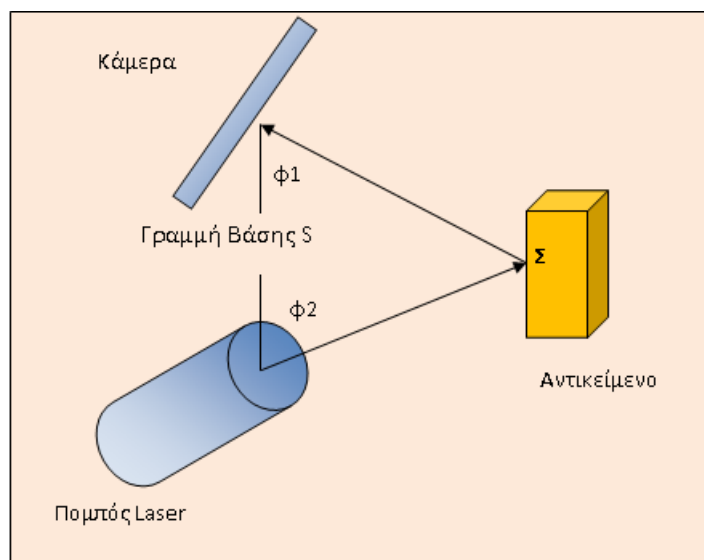
3.1.2.1 Τύποι Scanners

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι laser scanners:

- Laser scanners τριγωνισμού (Triangulation based measurement)
- Laser scanners βασισμένοι στον χρόνο (Time based measurement), που διακρίνονται επιπλέον σε δύο επιμέρους κατηγορίες:
 - Laser scanners παλμού (pulse based)
 - Laser scanners φάσης (phase based)

3.2.1. Laser scanners τριγωνισμού (Triangulation based measurement)

Ανέκαθεν ένας συνηθισμένος τρόπος απεικόνισης των επιφανειών βασιζόταν σε ένα σύνολο στοιχειωδών τριγώνων (triangular mesh). Είναι γνωστό ότι η επιστήμη που ασχολείται με τα τρίγωνα στον δισδιάστατο χώρο λέγεται τριγωνομετρία και στον τρισδιάστατο χώρο σφαιρική τριγωνομετρία. Θεμελιωτής της τριγωνομετρίας υπήρξε ο Έλληνας φιλόσοφος Θαλής που έζησε τον 6^ο αιώνα π.Χ. Στις αρχές της επιστήμης της Τριγωνομετρίας βασίζεται η μέθοδος μετρήσεων των Laser Scanners τριγωνισμού. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα ο πομπός laser εκπέμπει μια ακτίνα laser στο σημείο Σ του αντικειμένου και την ανακλώμενη ακτίνα τη λαμβάνει η ενσωματωμένη σε αυτόν κάμερα. Ο πομπός laser και η κάμερα βρίσκονται σε σταθερή μεταξύ τους γραμμή βάσης S και σταθερή γωνία δημιουργώντας ένα τρίγωνο Κάμερα – Πομπός laser – Σημείο Σ του αντικειμένου σάρωσης. Η γραμμή βάσης S είναι γνωστή, καθώς και η γωνία ϕ_2 . Η γωνία ϕ_1 προσδιορίζεται σκοπεύοντας από την κάμερα το σημείο Σ του αντικειμένου. Με τα στοιχεία αυτά το τρίγωνο είναι πλήρως ορισμένο και επομένως και το σημείο Σ , που αποτελεί κορυφή του τριγώνου.



Εικόνα 3.3: Αρχή λειτουργίας των Laser Scanners τριγωνισμού

3.2.2. Laser scanners παλμού (pulse based-time of flight)

Οι pulse based (time of flight) scanners εκπέμπουν ένα παλμό laser προς την επιφάνεια ενός αντικειμένου με αποτέλεσμα μέρος αυτού να επιστρέφει στον πομπό laser, διότι το άλλο του μέρος δεν επιστρέφει για διάφορες αιτίες όπως, απορρόφηση, διάχυση κλπ. Μετρώντας με ακρίβεια το χρόνο μετάβασης και επιστροφής και γνωρίζοντας ότι ο παλμός ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός (300.000 Km/s περίπου) υπολογίζεται η απόσταση με βάση τη γνωστή απλή σχέση:

$$D=(v*t)/2$$

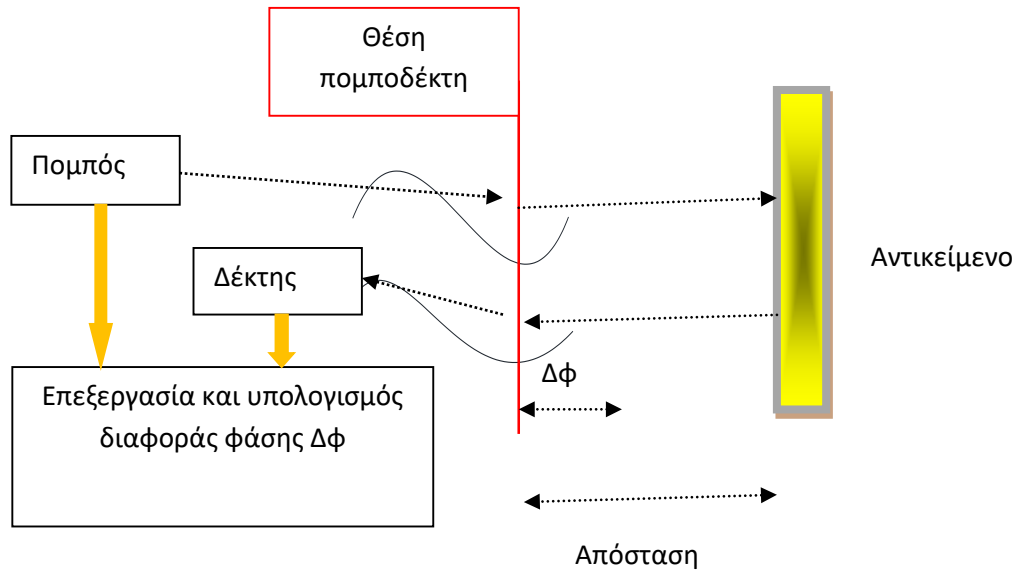
Όπου η **D** απόσταση πομπού-μετρημένου σημείου της επιφάνειας του αντικειμένου. Η **v** ταχύτητα του φωτός (299,792,458 m/s) και **t** ο χρόνος συνολικός μετάβασης και επιστροφής του παλμού.

Είναι φανερό ότι η ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης εξαρτάται κύρια από την ακρίβεια μέτρησης του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του παλμού κυμαινόμενη μεταξύ 3 και 8 χιλιοστών. Οι αποστάσεις laser scanner αντικειμένου κυμαίνονται από λίγα έως μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Επιπλέον οι Laser scanners παλμού μπορούν με τη χρήση εσωτερικής ή εξωτερικής κάμερας να συλλέξουν πληροφορίες και για το χρώμα του σημείου της επιφάνειας σε μορφή RGB (Red-Green-Blue).

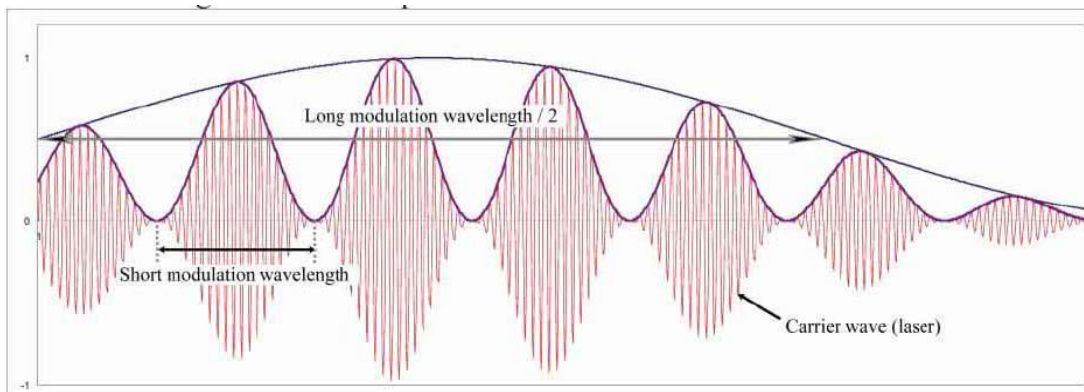
3.2.3. Laser scanners φάσης (phase based)

Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στη διαμόρφωση της εκπεμπόμενης ακτίνας αποφεύγοντας τη μέτρηση του χρόνου με ρολόγια υψηλής ακρίβειας. Η εκπεμπόμενη ακτίνα χρησιμοποιεί μια φέρουσα κυματομορφή πάνω στην οποία με κατάλληλη μέθοδο τοποθετείται επιπλέον πληροφορία με τη μορφή άλλης κυματομορφής με βάση το πλάτος της και στέλνεται στο αντικείμενο. Η όλη διαδικασία λέγεται διαμόρφωση κατά πλάτος. Συλλέγεται η ανάκλασή της αποδιαμορφώνεται και μετριέται η διαφορά φάσης μεταξύ της εκπεμπόμενης και ανακλώμενης ακτίνας που μετατρέπεται σε χρόνο. Οι τρόποι διαμόρφωσης είναι πολλοί, αλλά οι πιο συνηθισμένοι είναι η διαμόρφωση πλάτους (AM) και η διαμόρφωση συχνότητας (FM).



Εικόνα 3.4 Αρχή λειτουργίας των Laser scanners φάσης

Σημειώνεται ότι η φέρουσα συχνότητα (Pfeifer, N. et al., 2007) μπορεί να φέρει περισσότερες από μία επιπλέον συχνότητες. Στην παρακάτω εικόνα (εικ. 3.5) η φέρουσα συχνότητα φέρει δύο συχνότητες για διαμόρφωση, μία με μικρό μήκος κύματος διαμόρφωσης και μία με μεγάλο μήκος κύματος διαμόρφωσης



Εικόνα 3.5 Φέρουσα συχνότητα που μεταφέρει δύο συχνότητες διαμόρφωσης.

3.3. Ακρίβειες μετρήσεων με Laser scanners

3.3.1. Laser scanners τριγωνισμού (Triangulation based measurement)

Είναι φανερό ότι όσο πιο μεγάλη είναι η γραμμή βάσης S τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε στον προσδιορισμό του σημείου Σ . Ωστόσο δεν μπορούμε να αυξήσουμε κατά πολύ τη γραμμή βάσης S , διότι τότε η κάμερα θα έχει δυσκολία στη λήψη της ανακλώμενης ακτίνας. Επίσης η ακρίβεια αυξάνεται σημαντικά μειώνοντας την απόσταση scanner-αντικειμένου (αλλά έχουμε φαινόμενα σκιών), αυξάνοντας την εστιακή απόσταση (μειώνεται η περιοχή μέτρησης) ή μειώνοντας την αβεβαιότητα των μετρήσεων (αυξάνει περισσότερο απ' ό τι πρέπει τον αριθμό των μετρούμενων σημείων (oversampling) με αποτέλεσμα περισσότερο θόρυβο).

Πράγματι χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη γραμμή βάσης S , μικρότερη εστιακή απόσταση στην κάμερα και αποστάσεις laser scanner – αντικειμένου μικρότερη των δέκα μέτρων, πετυχαίνουμε ακρίβειες της τάξης των μικρών.

3.3.2. Laser scanners παλμού (pulse based)

Οι Laser scanners παλμού είναι έτσι ρυθμισμένοι, ώστε να στέλνουν τον επόμενο παλμό, μόνο όταν επιστρέψει ο προηγούμενος.

Ο λόγος είναι φανερός, διότι εάν στέλνονται παλμοί ανεξέλεγκτα χωρίς να περιμένουμε την επιστροφή των προηγούμενων θα προκληθεί σύγχυση και λάθη.

Η ακρίβεια των Laser scanners παλμού επηρεάζεται από τα παρακάτω:

Την ακρίβεια μέτρησης του χρονικού διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, την ακρίβεια της γνωστής πάγιας χρονοκαθυστερήσης του οργάνου και την ικανότητα επιλογής της ίδιας σχετικής θέσης εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου παλμού για να μετρηθεί σωστά το μεταξύ τους χρονοδιάστημα, πράγμα που εξαρτάται από τον θόρυβο, τη δύναμη και την ευαισθησία του σήματος κλπ.

3.3.3. Laser scanners φάσης (phase based)

Η ακρίβεια των Laser scanners φάσης περιορίζεται από:

- Τη συχνότητα του σήματος διαμόρφωσης
- Την ακρίβεια της μέτρησης φάσης, που εξαρτάται από την δύναμη του σήματος κλπ.
- Την σταθερότητα του ταλαντωτή διαμόρφωσης
- Τις αναταράξεις του αέρα μέσω του οποίου γίνονται οι μετρήσεις και τέλος,
- Τις διαφοροποιήσεις του δείκτη ανάκλασης του αέρα.

3.4. Περιγραφή Σφαλμάτων

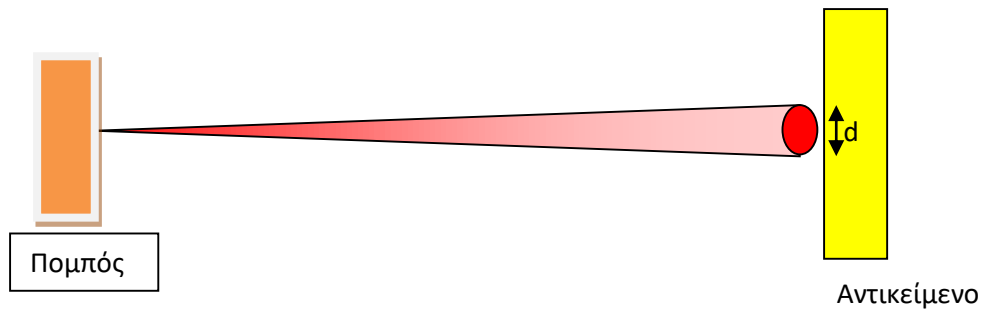
Παρότι οι εταιρείες ισχυρίζονται ότι οι ακρίβειες που αναγράφονται στις τεχνικές προδιαγραφές των Laser Scanners που αντιπροσωπεύουν, εντούτοις μελέτες (Lichti, D., et al., 2000 & 2002, Kern, F., 2003, Johansson, M., 2003, Balzani, M., et al., 2001) έδειξαν ότι υπάρχουν επιπλέον διάφορα σφάλματα, που κατέταξαν στις παρακάτω κατηγορίες:

3.4.1. Σφάλματα οργάνων

Τα σφάλματα οργάνων διακρίνονται σε τυχαία, που επηρεάζουν την ακρίβεια, και συστηματικά, που μπορεί να οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες των οργάνων.

- Κωνοειδής μορφή της ακτίνας laser

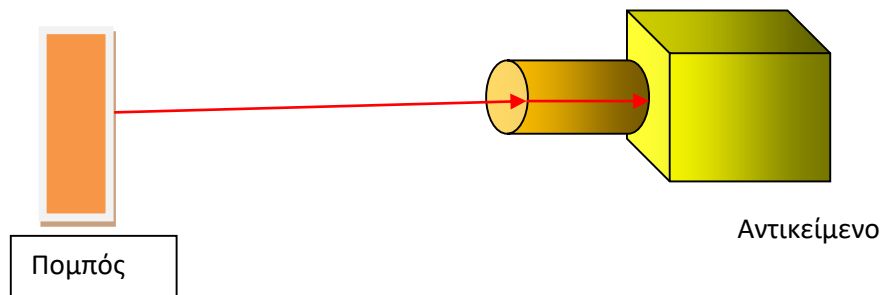
Η ακτίνα laser απομακρυνόμενη από τον πομπό δεν είναι γραμμική, αλλά διευρύνεται υπό μορφή κώνου, που η διάμετρός του ξεκινάει από μηδενική τιμή και αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση (εικόνα 3.6), προκαλώντας προβλήματα στις σημειακές μετρήσεις.



Εικόνα 3.6 Διεύρυνση ακτίνας Laser ανάλογα με την απόσταση

- Μέτρηση ακαθόριστων ορίων

Πολλές φορές η προσπίπτουσα ακτίνα ανακλάται ταυτόχρονα σε διαφορετικά όρια με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση, διότι συνήθως λαμβάνει υπόψη το μέσο όρο των δύο ανακλώμενων ακτίνων με αποτέλεσμα να τοποθετείται το σημείο σε λάθος θέση.



Εικόνα 3.7 Ανάκλαση ίδιας ακτίνας Laser σε διαφορετικά όρια απόστασης

3.4.2. Κατασκευαστικά σφάλματα των laser scanners

Οφείλεται στον εκάστοτε τύπο laser scanner και στην αρχή λειτουργίας του. Μερικά από τα σφάλματα είναι τα παρακάτω:

- Γωνιακά σφάλματα

Πολλοί scanners χρησιμοποιούν περιστρεφόμενους καθρέφτες για να εστιάσουν την ακτίνα laser στο σημείο μέτρησης. Μικροδιαφορές στις γωνίες στροφής δίνουν μικρά σχετικά σφάλματα. Όπως περιέγραψε ο (Boehler, W., et al.,2003), μπορούμε να μετρήσουμε μικρές οριζόντιες και κατακόρυφες αποστάσεις αντικειμένων που

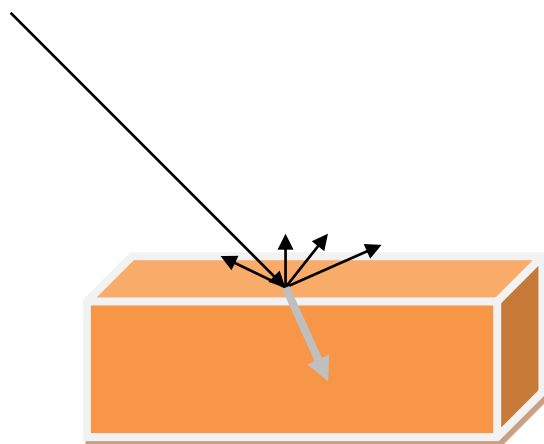
βρίσκονται στην ίδια απόσταση από τον scanner και στη συνέχεια να τις συγκρίνουμε με αυτές που πήραμε με άλλες πιο ακριβείς μεθόδους μετρήσεων.

- Σφάλματα αξόνων

Τα σφάλματα αυτά οφείλονται στις καθετότητες και οριζοντιώσεις των αξόνων των οργάνων.

3.4.3. Σφάλματα που οφείλονται στα αντικείμενα μέτρησης

Είναι γνωστό από την Επιστήμη της Φυσικής, ότι η προσπίπτουσα ακτίνα στην επιφάνεια ενός αντικειμένου προκαλεί πολλαπλές ανακλάσεις και ότι μέρος της ενέργειας απορροφάται από το αντικείμενο, με αποτέλεσμα την εξασθένηση της ανακλώμενης (επιστρεφόμενης) ακτίνας. Έτσι (Boehler, W., et al.,2003) επιφάνειες αντικειμένων με διαφορετικές ανακλαστικότητες και απορροφητικότητες προκαλούν συστηματικά σφάλματα.



Εικόνα 3.8 Πολλαπλές ανακλάσεις

Επιπλέον, σφάλματα μπορούν να προκαλέσουν επιφάνειες με διαφορετικές συμπεριφορές, διότι αποτελούνται από διαφορετικά υλικά, όπως ημιδιαφανείς επιφάνειες που επιτρέπουν μέρος της ακτίνας να τις διαπερνάει και να ανακλάται στο επόμενο αδιαφανές υλικό που θα συναντήσει (Ingesand, H., et al.,2003), με αποτέλεσμα πολλαπλές ανακλάσεις και πρόκληση συστηματικών σφαλμάτων. Δυσκολίες παρουσιάζονται και στις πολύ λαμπερές επιφάνειες, όπου η εκπεμπόμενη ακτίνα laser έχει δυσκολίες επιστροφής. Ο χρωματισμός της επιφάνειας του αντικειμένου παίζει σημαντικό ρόλο στην ανακλώμενη ακτίνα. Λευκές επιφάνειες

(Boehler, W., et al.,2003) έχουν πολύ καλές ανακλάσεις, ενώ μαύρες επιφάνειες παρουσιάζουν ασθενείς ανακλάσεις. Ένας τρόπος αποφυγής των σφαλμάτων που προκαλούνται από τις παραπάνω αιτίες είναι η επάλειψη της επιφάνειας με το ίδιο υλικό (Boehler, W., et al.,2003), πράγμα όμως που δεν είναι εφικτό σε πολλές περιπτώσεις.

3.4.4. Περιβαλλοντικά Σφάλματα

- **Θερμοκρασία**

Η εσωτερική θερμοκρασία του οργάνου είναι διαφορετική από την εξωτερική. Για παράδειγμα, ο ήλιος, η μονομερής διαστολή μέρους του οργάνου ή του τρίποδα με αποτέλεσμα την παραγωγή σφαλμάτων.

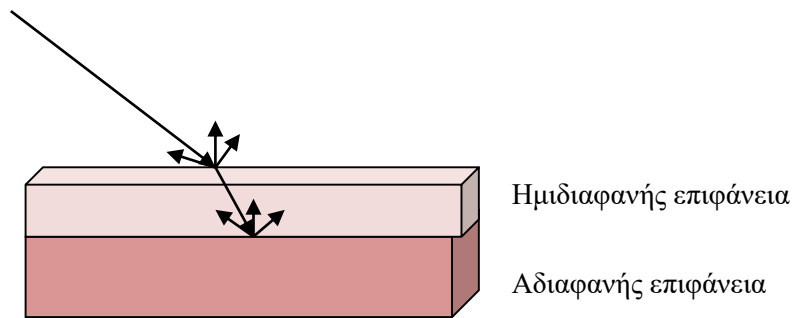
Επίσης βασικό παράγοντα αποτελεί η θερμοκρασία του αντικειμένου. Πολύ ζεστές επιφάνειες προκαλούν αύξηση του θορύβου και επομένως μείωση της ακρίβειας των μετρήσεων.

- **Ατμόσφαιρα**

Προκύπτουν σφάλματα από διαφορετικές πυκνότητες του αέρα που οφείλονται σε διαφορές της θερμοκρασίας, της υγρασίας και πίεσης.

- **Ακτινοβολίες**

Οι διάφορες πηγές ακτινοβολίας του περιβάλλοντος μπορούν να παράγουν σφάλματα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται διάφορα εξειδικευμένα φίλτρα για την αποκοπή τους. Ωστόσο εάν οι ακτινοβολίες αυτές είναι πολύ δυνατές μπορούν να διαπεράσουν τα φίλτρα και να προκαλέσουν σφάλματα ή ακόμη και να μην επιτρέπουν την εκτέλεση μετρήσεων.



Εικόνα 3.9. Ανακλάσεις από ημιδιαφανείς επιφάνειες

3.4.5. Σφάλματα μικρομετακινήσεων

Επειδή τα σημεία μετρούνται σε διαφορετικούς χρόνους, προκύπτουν σφάλματα από μικρομετακινήσεις του laser scanner ή των αντικειμένων μέτρησης.

3.4.6. Σφάλματα μεθοδολογίας

Σημαντικό ρόλο παίζει η εμπειρία του χρήστη και η ικανότητά του να επιλέξει την κατάλληλη μεθοδολογία, τον κατάλληλο laser scanner και την σωστή πυκνότητα μετρήσεων, διότι μικρότερη πυκνότητα σημαίνει απώλεια πληροφορίας του αντικειμένου, ενώ μεγαλύτερη (oversampling), σημαίνει μεγαλύτερο πλήθος σημείων από τα απαιτούμενα για την κατασκευή του μοντέλου του αντικειμένου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο θόρυβος και να μειώνεται η ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ναυπηγική και μεθοδολογία αποτύπωσης πλοίου

4.1 Ναυπηγική

Η Ναυπηγική είναι η επιστήμη και η τεχνική που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή πλοίων. Στη συνέχεια, θα παραθέσουμε τους ορισμούς του πλοίου όπως αναφέρονται από τον Χατζηκωνσταντή (2010), σύμφωνα με τον Κώδικα Ιδιωτικού Ναυτικού Δικαίου (Κ.Ι.Ν.Δ) και τον Κώδικα Δημοσίου Ναυτικού Δικαίου (Κ.Δ.Ν.Δ.)

Πλοίο, κατά τον Κ.Ι.Ν.Δ., είναι κάθε πλωτή κατασκευή καθαρής χωρητικότητας πάνω από 10 κόρους, με αυτοδύναμη κίνηση στη θάλασσα. Επομένως, μια πλωτή κατασκευή για να είναι πλοίο απαιτείται :

- να είναι σκάφος, δηλαδή κοίλο ναυπήγημα
- να έχει ολική χωρητικότητα (Κ.Ο.Χ. = Κόροι Ολικής Χωρητικότητας) μεγαλύτερη των 10,00 κόρων , δηλαδή 10×2.83 κυβικά μέτρα (κ.μ.) =28.3 κ.μ.
- να έχει αυτοδύναμη κίνηση, με ιστία (πανιά), Μ.Ε.Κ. (Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως) κλπ.
- ο προορισμός του να είναι η κίνηση στη θάλασσα

Σύμφωνα με την τελευταία επισήμανση, δεν θεωρούνται πλοίο, οι αμφίβιες κατασκευές, που δεν κινούνται συνέχεια στη θάλασσα, όπως τα υδροπλάνα, τα αμφίβια αυτοκίνητα, τα ποταμόπλοια κλπ.

Πλοίο, κατά τον Κ.Δ.Ν.Δ., είναι κάθε σκάφος με αυτοδύναμη κίνηση επί του νερού προορισμένη για μεταφορά προσώπων, εμπορευμάτων, επιστημονικές έρευνες κλπ. Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει περισσότερες κατηγορίες από τον Κ.Ι.Ν.Δ., επομένως περιλαμβάνονται τα ποταμόπλοια, οι φορηγίδες κλπ.

Σύμφωνα με τον Κ.Δ.Ν.Δ., υπάρχει επίσης ο ορισμός για το λεγόμενο *Βοηθητικό Ναυπήγημα*, ή πλωτό κατασκεύασμα (floating construction). Ως τέτοιο χαρακτηρίζεται σύμφωνα με την ελληνική ναυτική νομοθεσία (άρθρο 4 παραγρ. 1 του Κ.Δ.Ν.Δ.), κάθε πλωτή κατασκευή, ανεξαρτήτου χωρητικότητας ή επάνδρωσης, που προορίζεται όμως να χρησιμοποιηθεί περισσότερο σε σταθερή παραμονή, κυρίως εντός λιμένων, όρμων,

πλησίον παράλιων εγκαταστάσεων προς παροχή γενικά βοηθητικών υπηρεσιών στη Ναυτιλία (π.χ. πλωτή δεξαμενή, πλωτός γερανός, πλωτή αποβάθρα).

Το κάθε πλοίο έχει ως αποστολή τη μεταφορά εμπορευμάτων ή επιβατών στη θάλασσα, είναι δε σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται στην αποστολή του με τη μεγαλύτερη δυνατή αποδοτικότητα.

Για την αντιμετώπιση κάθε περίπτωσης επομένως, υπάρχει και πλοίο διαφορετικής μορφής, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες για τις οποίες προορίζεται.

4.1.1 Γεωμετρία του πλοίου- Ορισμοί

Κατ' αρχήν το πλοίο χαρακτηρίζεται από συμμετρία και ειδικότερα το επίπεδο που λέγεται και διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ξεκινάει από το μέσο της πρύμνης και καταλήγει στο μέσο της πλώρης. Πριν προχωρήσουμε στα επίπεδα και στις ναυπηγικές γραμμές του πλοίου θα δώσουμε μερικούς ορισμούς που θα αποτελέσουν τη βάση για περαιτέρω κατανόηση των πιο πολύπλοκων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου (Σχ. 4.1, Χατζηκωνσταντής, 2014).

Γάστρα: Είναι το εξωτερικό περίβλημα του πλοίου, που βρίσκεται έξω από το νερό. Η ιδεατή επιφάνεια πάνω στην οποία ορίζονται οι διαστάσεις, οι ναυπηγικές γραμμές κλπ., λέγεται επιφάνεια αναφοράς. Πολλές φορές ο όρος χρησιμοποιείται και για το τμήμα του πλοίου, που βρίσκεται μέσα στο νερό.

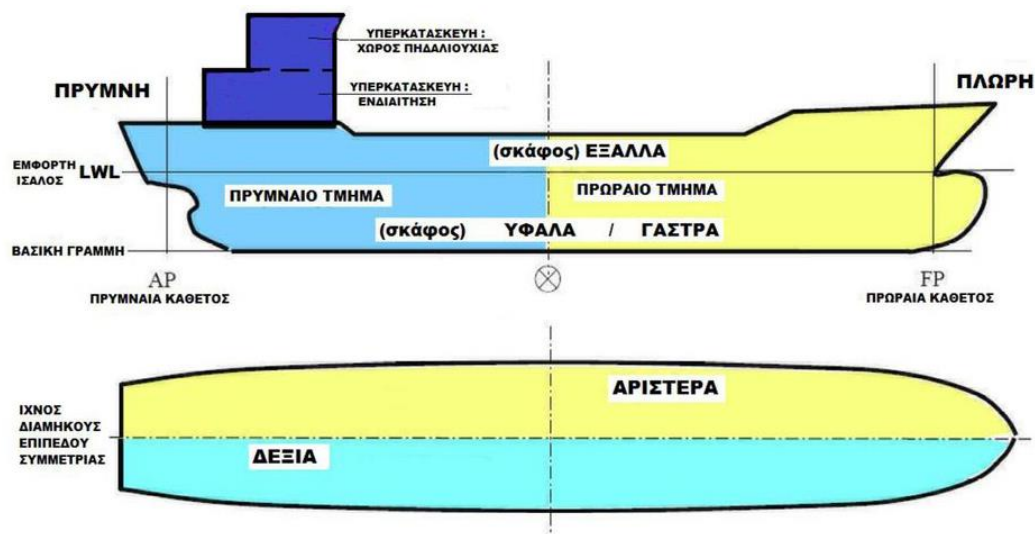
Ύφαλα γάστρας: τμήμα γάστρας κάτω από το νερό.

Έξαλα γάστρας: τμήμα γάστρας πάνω από το νερό.

Τροπίδα: είναι το κατώτερο τμήμα του πλοίου, υλοποιούμενο στα μεγάλα πλοία με σειρά ελασμάτων και στα ξύλινα σκάφη με ξύλινη, μεταλλική ή πλαστική οδό.

Βασικό επίπεδο αναφοράς: λέγεται το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από την τροπίδα.

Βασική γραμμή αναφοράς: είναι η τομή του βασικού επιπέδου αναφοράς με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.



Σχήμα 4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλοίου (Χατζηκωνσταντής, 2014)

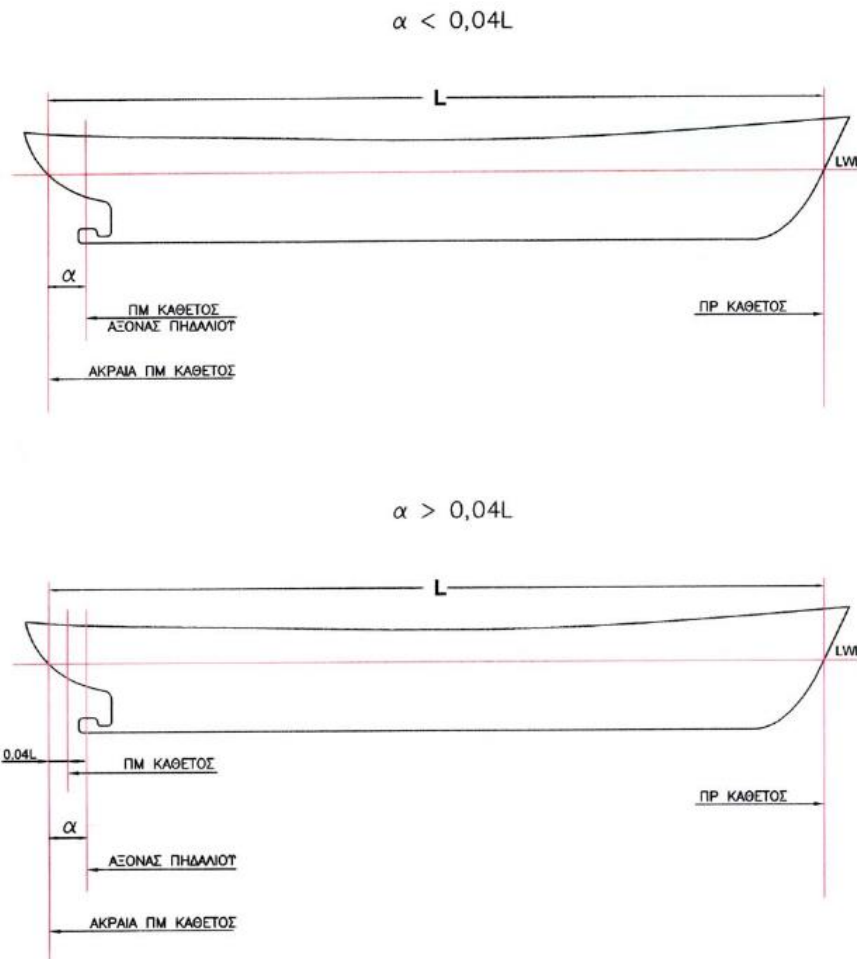
Ίσαλος γραμμή: Τομή της επιφάνειας αναφοράς με την ήρεμη επιφάνεια της θάλασσας.

Έμφορτη Ίσαλος γραμμή: η ίσαλος γραμμή όταν το πλοίο έχει το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα με ήρεμη θάλασσα.

Πρωραία κάθετος: η κατακόρυφος που διέρχεται από την ίσαλο γραμμή θέρους, του κεντρικού επιπέδου και του εσωτερικού του περιβλήματος της πλώρης του πλοίου. (Σχ.4.2)

Ακραία Πρυμναία Κάθετος: η κατακόρυφη που διέρχεται από το σημείο τομής της έμφορτης ισάλου γραμμής, της εσωτερικής όψης του περιβλήματος της πρύμνης και του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας.

Πρυμναία κάθετος: Είναι η γραμμή που διέρχεται από τον άξονα του πηδαλίου, όταν όμως ο άξονας του πηδαλίου απέχει περισσότερο από το 0.04 της απόστασης μεταξύ της ακραίας πρυμναίας καθέτου και της πρωραίας καθέτου, ή όταν ο άξονας του πηδαλίου δεν είναι κατακόρυφος, τοποθετείται σε απόσταση 0.04 του μήκους μεταξύ της ακραίας πρυμναίας καθέτου και της πρωραίας καθέτου από την ακραία πρυμναία κάθετο (σχ. 4.2)



Σχήμα 4.2 Θέσεις Πρυμναίας Καθέτου (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003)

Μεσαία κάθετος: Η κάθετος στο μέσο της απόστασης μεταξύ πρυμναίας και προραίας καθέτου.

4.1.2 Διαστάσεις Πλοίου

Στη συνέχεια θα επεξηγηθούν οι βασικές διαστάσεις του πλοίου (σχ. 4.3)

Μήκος πλοίου:

Ολικό μήκος (LOA): είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων εσωτερικών σημείων του περιβλήματος της πρύμνης και της πλώρης.

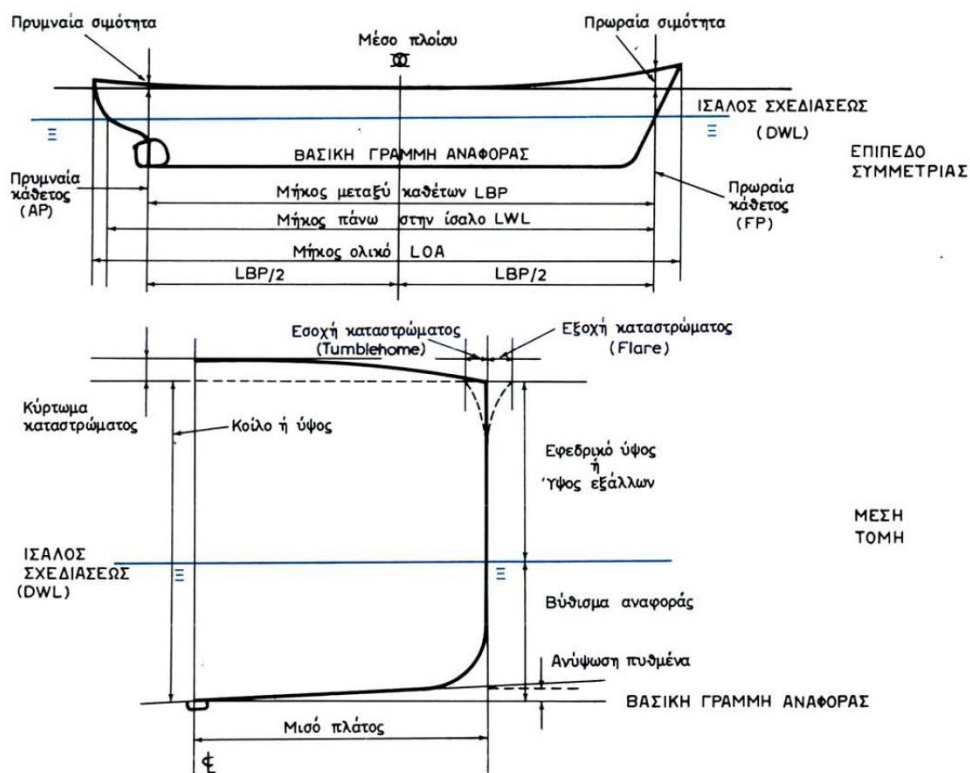
Μήκος μεταξύ καθέτων (LBP): είναι η απόσταση μεταξύ πρυμναίας και προραίας καθέτου.

Μήκος πλευστότητας ή μήκος έμφορτης ισάλου (LWL) : είναι η απόσταση μεταξύ προραίας και ακραίας πρυμναίας καθέτου.

Πλάτος πλοίου:

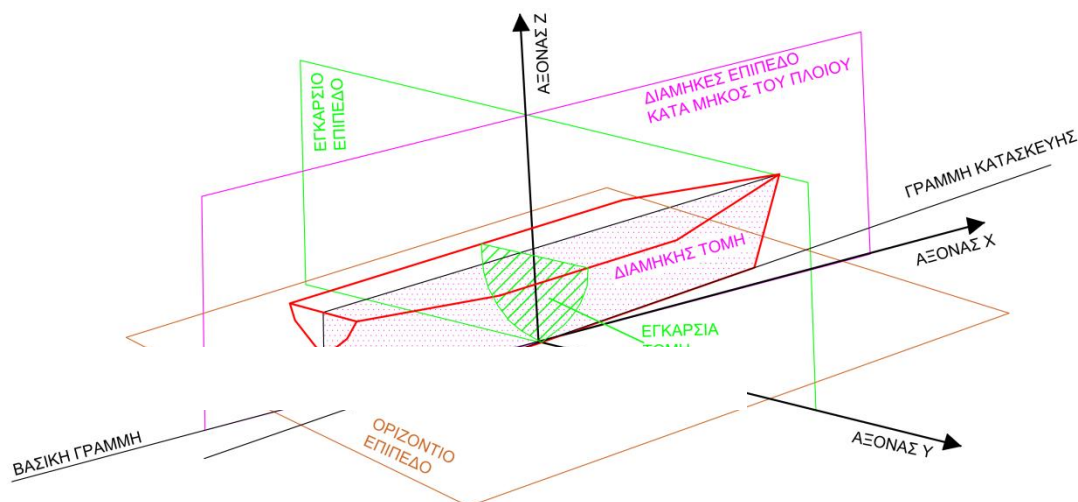
Ολικό πλάτος (BOA): είναι η απόσταση μεταξύ των ακραίων σημείων της αριστερής και δεξιάς πλευράς του σκάφους συμπεριλαμβανομένων και των προεξοχών.

Μέγιστο πλάτος (B): Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συμμετρικών σημείων του νομέως εσωτερικά του περιβλήματος.



Σχήμα. 4.3. Διαστάσεις πλοίου (Κολλιλιάτης,1982)

4.1.3 Κύρια επίπεδα και ναυπηγικές γραμμές του πλοίου



Σχήμα. 4.4 Άξονες, κύρια επίπεδα και τομές

Στο παραπάνω σχήμα (σχ. 4.4) απεικονίζονται τα βασικά επίπεδα και το χρησιμοποιούμενο σύστημα αξόνων για τον προσδιορισμό του σχήματος του πλοίου.

Δηλαδή:

Άξονας X: είναι ο διαμήκης άξονας, που ονομάζεται και βασική γραμμή.

Άξονας Y: είναι ο εγκάρσιος άξονας

Άξονας Z: είναι ο κατακόρυφος άξονας

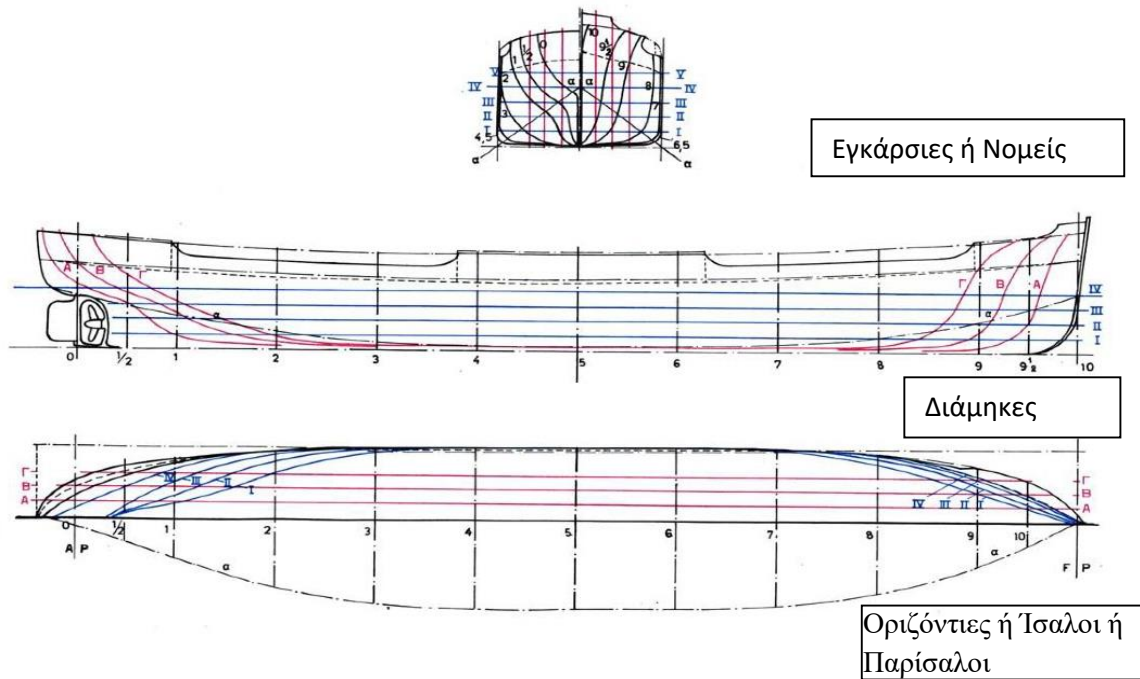
Όμοια το **οριζόντιο επίπεδο X-Y (water lines plan)** αποτελεί το βασικό επίπεδο αναφοράς, διέρχεται από την τροπίδα και είναι παράλληλο προς την έμφορτη ίσαλο γραμμή.

Το **διάμηκες κατακόρυφο επίπεδο X-Z, (sheer plan)** που αποτελεί και το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.

Το **εγκάρσιο κατακόρυφο επίπεδο Y-Z (body plan)** που είναι κάθετο στα δύο προηγούμενα.

4.1.4 Ναυπηγικές γραμμές

Αντίστοιχα με τα παραπάνω επίπεδα υπάρχουν και οι αντίστοιχες οικογένειες ναυπηγικών γραμμών. Το πλέγμα των ναυπηγικών γραμμών (Χριστοδούλου, 2014), αποτελεί την απαραίτητη ουσιώδη πληροφορία για τη σχεδίαση του πλοίου. Προκειμένου να αποτυπωθεί το σχέδιο της τρισδιάστατης γάστρας, χρησιμοποιούνται τομές της με τα τρία βασικά επίπεδα το οριζόντιο, το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και το εγκάρσιο επίπεδο. Οι ναυπηγικές γραμμές είναι οι συνήθως ισαπέχουσες τομές της εξωτερικής επιφάνειας της γάστρας με παράλληλα επίπεδα προς τα βασικά επίπεδα. Οι τομές αυτές είναι καμπύλες γραμμές και ουσιαστικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Σχ.4.5).

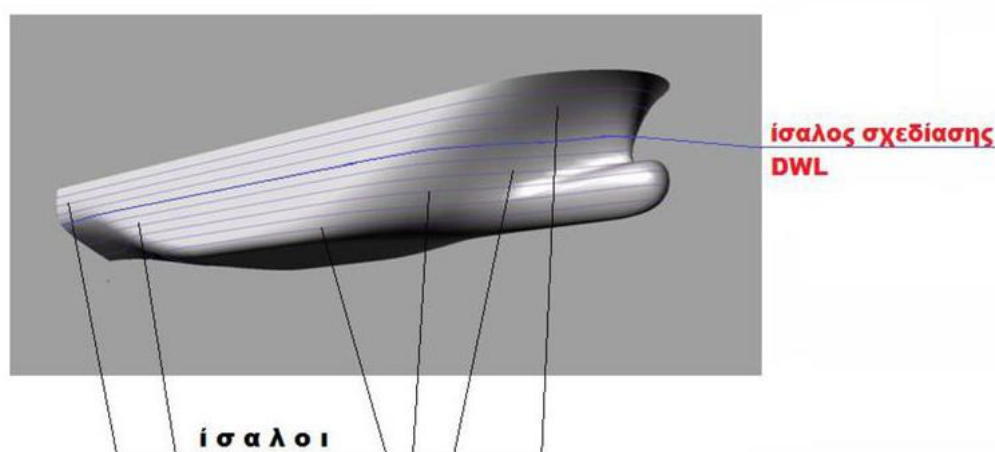


Σχήμα 4.5. Ναυπηγικές γραμμές (Ζωγραφάκης, 2002)

Αναλυτικότερα, οι ναυπηγικές γραμμές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

4.1.5 Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές, ίσαλοι ή παρίσαλοι (water lines)

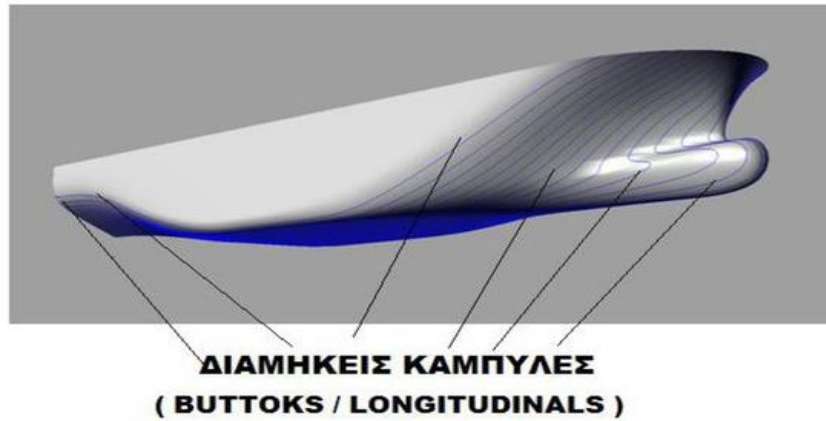
Είναι οι ναυπηγικές γραμμές που προκύπτουν από τις τομές της γάστρας του πλοίου με παράλληλα, συνήθως επίπεδα, προς το οριζόντιο βασικό επίπεδο. Οι παρίσαλοι ισαπέχουν μεταξύ τους και οι παρίσαλοι του αριστερού μέρους του πλοίου, ταυτίζονται λόγω συμμετρίας με τις αντίστοιχες του δεξιού. (Σχ. 4.6)



Σχήμα 4.6 Οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές (Χατζηκωνσταντής, 2014)

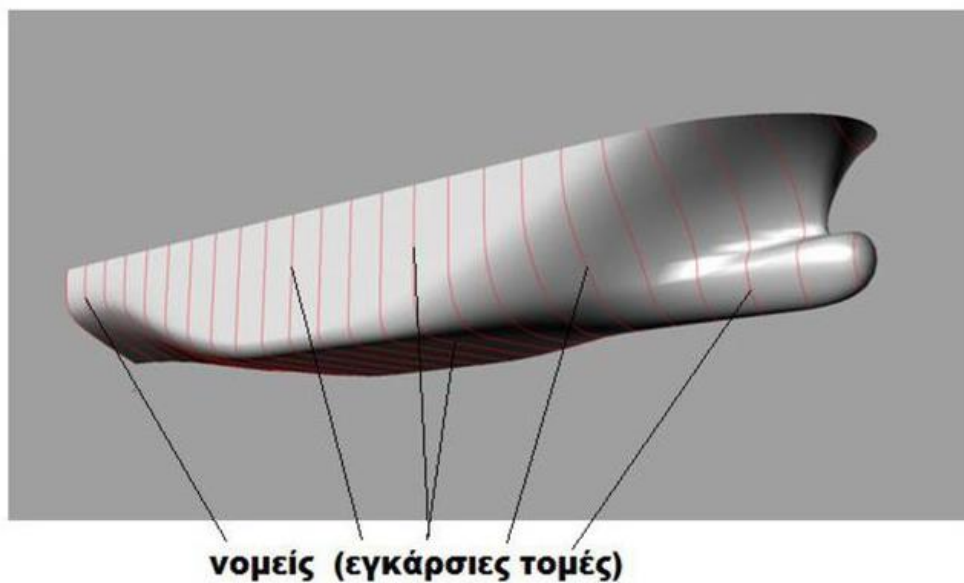
4.1.6 Διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές (Buttocks ή Longitudinals)

Είναι οι ναυπηγικές γραμμές που προκύπτουν από τις τομές της γάστρας του πλοίου με παράλληλα, συνήθως ισαπέχοντα επίπεδα, προς το διάμηκες βασικό επίπεδο συμμετρίας. Είναι φανερό ότι η απόσταση μεταξύ των επιπέδων ποικίλει, ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου, αλλά και την πυκνότητα της πληροφορίας που επιθυμούμε. Επιπλέον, η τομή του διαμήκους βασικού επιπέδου συμμετρίας και της γάστρας αποτελεί τη μεγαλύτερη σε μέγεθος διαμήκη ναυπηγική γραμμή, που αποτελεί και το προφίλ του πλοίου. Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας, οι διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές του αριστερού τμήματος του σκάφους, είναι ίδιες με τις αντίστοιχες γραμμές του δεξιού τμήματος (σχ. 4.7)



Σχήμα 4.7 Διαμήκειες ναυπηγικές γραμμές (Χατζηκωνσταντής, 2014)

4.1.7 Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές ή Νομείς



Σχήμα 4.8 Εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές (Χατζηκωνσταντής, 2014)

Είναι οι ναυπηγικές γραμμές που προκύπτουν από τις τομές της γάστρας του πλοίου με παράλληλα εγκάρσια κατακόρυφα επίπεδα, συνήθως σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Επειδή το πλοίο είναι συμμετρικό ως προς το διάμηκες επίπεδο, σχεδιάζονται αριστερά οι εγκάρσιες τομές από τη μέση μέχρι τη πρύμνη και δεξιά οι εγκάρσιες τομές από τη μέση μέχρι τη πλώρα. (Σχ. 4.8).

4.1.8 Ναυπηγικές μονάδες μέτρησης⁴

Στη Ναυπηγική γενικά χρησιμοποιείται το Βρετανικό Σύστημα Μονάδων Μέτρησης.

Μονάδα Μήκους (Length):

- Δάκτυλος, κοινώς **ίντσα** (inch συμβολίζεται: in ή '')
1 in = 25,4 mm.
- Πους, κοινώς **πόδι** (foot συμβολίζεται: ft ή ')
1 ft = 304,8 mm (=12in).
- Υάρδα, κοινώς **γιάρδα** (yard συμβολίζεται: yd)
1 yd = 914,4 mm (= 36in = 3ft).
- Μίλιον, κοινώς **μίλι** (Statue mile or mile)
1 mile = 1609958 mm (=1759,684 yd = 5281,998 ft = 63384,04 in).
- Ναυτικό μίλι (nautical mile or mile)
1 mile = 1853190 mm (=2025,536 yd = 6080 ft = 72960,09 in)

Ευρέως χρησιμοποιούμενο υποπολλαπλάσιο του δακτύλου είναι το 1/8 αυτού, 1/8''= 3,175 mm. Για τη ταχύτερη εύρεση των πολλαπλάσιων του 1/8'' σε mm μετατρέπουμε αυτά σε όγδοα, έτσι το 1/4''=2/8'', 3/8'', 1/2''=4/8'', 5/8'', 3/4''=6/8'' και τέλος 7/8'' αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τα 3,175mm επί 2,3,4,5,6 και 7 αντίστοιχα.

Δείγμα γραφής μήκους στο σχέδιο κατά το αγγλοσαξονικό σύστημα: 54'-5 5/8''. Αυτό σημαίνει 54 πόδες (54'x304,8=16459,2mm) συν 5 δάκτυλοι (5x25,4=127,0mm) συν 5/8 δακτύλου (5x3,175=15,9mm). Ήτοι 54'-5 5/8''= 16602,01 mm ή 16,602μ.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην παύλα μεταξύ ποδών και δακτύλων διότι δεν αποτελεί σημείο αφαίρεσης, καθώς επίσης ως η ελληνική υποδιαστολή, στο αγγλικό σχέδιο είναι η τελεία.

Σε πολλά σχέδια αναγράφονται ενδείξεις όπως 0,24'' ή .24''. Αμφότεροι οι τρόποι σημαίνουν το αυτό δηλ. 24 εκατοστά της ίντσας. Για σύντομη προσεγγιστική μετατροπή αυτών σε mm διαιρούμε το 24 διά του 4 (δηλ. διά του λόγου 100/25,4=3,94 κατά προσέγγιση 4).

Οι Αμερικανοί για το πάχος των ελασμάτων αναγράφουν το βάρος αυτών σε λίβρες (Pounds) ανά τετραγωνικό πόδι και το συμβολίζουν με την ένδειξη #.

⁴ el.wikipedia.org

Μονάδα Βάρους (Weight):

- Μετρικός Τόνος (metric ton) συμβολίζεται mt ή mton ή ton.
1mt = 1000 Kg
- Λίβρα (pound) συμβολίζεται lb.
1lb = 0,45359 kg
- Μακρής Αγγλικός τόνος ή Αγγλικός τόνος (Long Ton ή Gross Ton)
συμβολίζεται gt ή gton ή ton.
1 gton = 1016,05 Kg (=2240 lbs).
- Βραχύς τόνος (Sort Ton ή Net Ton) συμβολίζεται nt ή nton ή ton.
1 nton = 907,185 Kg (= 2000 lbs = 0,89286 ton).
- Χάντρεντγουέιτ (Hundredweight), συμβολίζεται cwt.
1 cwt = 50,8024 Kg (= 112lbs = 0,05gton).

Σημειώνεται ότι όταν αναφέρεται η λέξη τόνος χωρίς άλλη διευκρίνιση νοείται ο μετρικός τόνος, όταν διευκρινίζεται αγγλικός τόνος χωρίς επί μέρους διευκρίνιση νοείται ο μακρής τόνος (2240lbs).

4.2. Συλλογή, επεξεργασία δεδομένων και αποτύπωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

4.2.1 Εργασίες γραφείου

Πριν την έναρξη των εργασιών αποτύπωσης χρειάστηκε κατάλληλη προετοιμασία προκειμένου να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν λεπτομερής αποτύπωση του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν πληροφορίες τόσο στο διαδίκτυο, όσο σε βιβλιογραφία και σε κρατικά αρχεία. Έγινε έρευνα για τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, όπως σαρωτές (laser scanners), γεωδαιτικούς σταθμούς και θερμοκάμερα, και συλλέχθηκαν πληροφορίες για τις δυνατότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Αφού συγκεντρώθηκαν οι πληροφορίες, αποφασίστηκε, πάντα με τη βοήθεια και τις συμβουλές του επιβλέποντα καθηγητή, ποια από αυτά θα χρησιμοποιηθούν και εάν ήταν διαθέσιμα το χρόνο που τα χρειαζόμασταν.

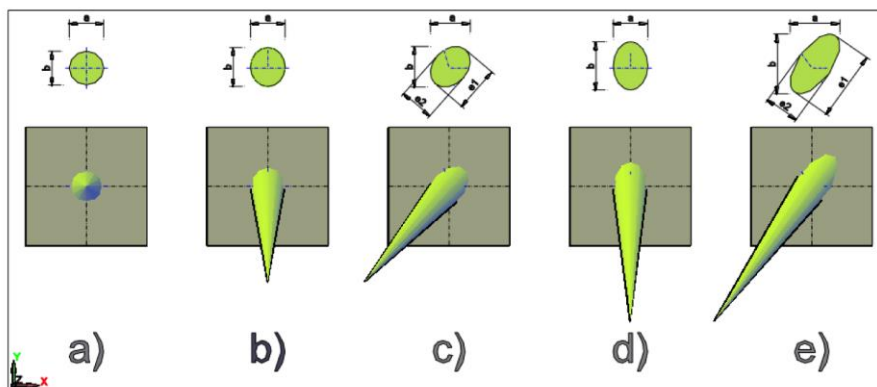
4.2.1.1 Προγραμματισμός εργασιών

4.2.1.2 Σχεδιασμός πλάνου εργασιών αποτύπωσης

Ο σχεδιασμός περιλάμβανε τα παρακάτω:

- Καθορίστηκε ο σκοπός για τον οποίο γίνεται η παρούσα εργασία, που είναι η όσον το δυνατόν ρεαλιστικότερη τρισδιάστατη απόδοση του «Θωρηκτού Αβέρωφ», ενός πλοίου με τεράστια ιστορική σημασία.
- Πραγματοποιήθηκε επιτόπια αυτοψία στο πλοίο, προκειμένου να ενημερωθούμε για την κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή εργασιών και να προσαρμόσουμε ανάλογα τον σχεδιασμό μας.
- Συλλέχθηκαν από διάφορες πηγές (αρχεία, διαδίκτυο) φωτογραφίες, σχέδια, σκαριφήματα, videos και άλλες σχετικές πληροφορίες.
- Έγινε έρευνα για την ανεύρεση προηγούμενων μετρήσεων και αποτυπώσεων που έγιναν με την ίδια ή άλλη μέθοδο, που βοηθούν σημαντικά στην λεπτομερή αποτύπωση του Θωρηκτού.
- Εξετάστηκαν οι χρονικοί περιορισμοί και η ειδική άδεια που χρειαζόταν για την πρόσβαση στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Εξετάστηκε εάν υπάρχει πρόσβαση σε υγειονομικές δομές σε περίπτωση ατυχήματος.

- Λήφθηκαν πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, ένταση ανέμου κλπ.), που επικρατούσαν στην περιοχή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Εξετάστηκε αν προσφέρεται η τοποθεσία που είναι αγκυροβολημένο το Θωρηκτό για να καθοριστούν οι θέσεις (στάσεις) περιμετρικά, που είναι απαραίτητες για λήψη μετρήσεων με laser scanner. Βασικοί παράγοντες για την τοποθέτηση των θέσεων (στάσεων) είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης του Θωρηκτού από τη συγκεκριμένη θέση, η ακρίβεια, που έχει σχέση με τον χρησιμοποιούμενο laser scanner, η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας laser (βλ. την εικόνα 4.1), καθώς και η απόσταση της θέσης από το πλοίο.



Εικόνα 4.1 Επίδραση του αποτυπώματος της γωνίας πρόσπτωσης στο αντικείμενο μετρήσεων (Santana-Quintero, M., et al,2008).

- Ορίστηκαν ο τύπος και οι βέλτιστες θέσεις των τεχνητών στόχων, που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των νεφών των σημείων, που προέκυψαν από τις διαφορετικές θέσεις μέτρησης. Είναι σημαντικό οι στόχοι να είναι τοποθετημένοι κατά τους τρεις άξονες X,Y, Z και όχι μόνο στον ένα ή να είναι σε ευθεία γραμμή. Κατά κανόνα, απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερις στόχοι σωστά κατανομημένοι (Barber, D., et al.,2003). Στην πρώτη φάση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν λευκοί ημισφαιρικοί στόχοι για την συνένωση (registration) των νεφών των σημείων. Συνήθως, στην περίπτωση αυτή, γίνεται πρώτα μία σάρωση των στόχων σε υψηλή ανάλυση αποκλειστικά και μόνο για να προσδιοριστεί η θέση τους με μεγαλύτερη ακρίβεια και στη συνέχεια γίνεται μία δεύτερη σάρωση στην ανάλυση, που εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου και των λεπτομερειών, που χρειάζεται να σαρωθεί (βλ. πίνακα

4.1). Επιπλέον, οι στόχοι δεν πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία, ώστε να καλύπτουν σημαντικές λεπτομέρειες στο αντικείμενο ή να προκαλούν ζημιές σε αυτό. Απαιτούνται ειδικές ρυθμίσεις στο πρόγραμμα σάρωσης, ώστε να διαβάσει και να διορθώνει τις πολλαπλές ανακλάσεις από την περιοχή του κέντρου του στόχου και να προσδιορίζει το κέντρο με ακρίβεια (Lichti, D., et al.,2000). Τέλος, οι στόχοι δεν πρέπει να σαρώνονται με πολύ οξείες γωνίες, διότι δεν δίνουν ακριβή αποτελέσματα. (Balzani, M., et al., 2001). Αντί των τεχνητών στόχων, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν χαρακτηριστικά γεωμετρικά πολύ διακριτά σημεία, που εντοπίζονται με ακρίβεια και σαρώνονται σε πολύ υψηλή ανάλυση. Τέλος, συνιστάται οι στόχοι να μετρώνται με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και εφόσον απαιτηθεί να γίνει και όδευση για να αναφέρονται στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

- Ορίζεται η απαιτούμενη ανάλυση (resolution) των μετρήσεων (βλ. κεφ. 3 παρ. 3.1.1.). Η ανάλυση δεν πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, διότι θα υπάρχει απώλεια λεπτομερειών, αλλά ούτε και πολύ υψηλή, διότι δημιουργεί μεγάλο όγκο αρχείων, όπου επεξεργάζεται δύσκολα, χωρίς παράλληλα να προσθέτει κάτι παραπάνω στη λεπτομερή αποτύπωση του θωρηκτού . Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η πυκνότητα των σημείων ώστε να αποδοθεί ένα αντικείμενο με συγκεκριμένη πιθανότητα (WWW, English_Heritage,2006 & 2008):

Μέγεθος αντικειμένου	Παράδειγμα αντικειμένου	Πυκνότητα σημείων ώστε το αντικείμενο να αποδοθεί με πιθανότητα 66%	Πυκνότητα σημείων ώστε το αντικείμενο να αποδοθεί με πιθανότητα 95%
10000mm	Εκσκαφές μεγάλης κλίμακας	3500	500mm
1000mm	Εκσκαφές μικρής κλίμακας	350	50mm
100mm	Μεγάλη τοιχοποιία	35	5mm
10mm	Νάρθηκας	3.5	0.5mm
1mm	Σημάδια παλιάς τοιχοποιίας	0.35	0.05mm

Πίνακας 4.1: Απαιτούμενη ανάλυση για την απόδοση αντικειμένων με συγκεκριμένη πιθανότητα με βάση το μέγεθός τους.

Ο πίνακας προκύπτει από τον τύπο [(WWW, English_Heritage)]:

$$Q = 1 - \left(\frac{m}{\lambda} \right)$$

όπου:

Q: η ποιότητα των δεδομένων.

m: η πυκνότητα των σημείων (resolution) και

λ: είναι το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που αποδίδεται με τις μετρήσεις που γίνονται με την παραπάνω πυκνότητα.

- Έγινε πρόβλεψη για προμήθεια των απαιτούμενων μέσω αποθήκευσης δεδομένων. Η πρόβλεψη αυτή είναι σημαντική, διότι τα δημιουργούμενα αρχεία δεδομένων από τις μετρήσεις είναι πολύ μεγάλα και απαιτούν μεγάλους χώρους αποθήκευσης.
- Τέλος, λήφθηκαν αρκετές φωτογραφίες περιμετρικά του πλοίου, ώστε να συμβάλλουν κατά τη διάρκεια των εργασιών γραφείου στη μετέπειτα επεξεργασία των νεφών σημείων.

4.2.2 Εργασίες υπαίθρου

Μετά την μελέτη όλων των παραπάνω πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις σε δύο περιόδους εργασιών:

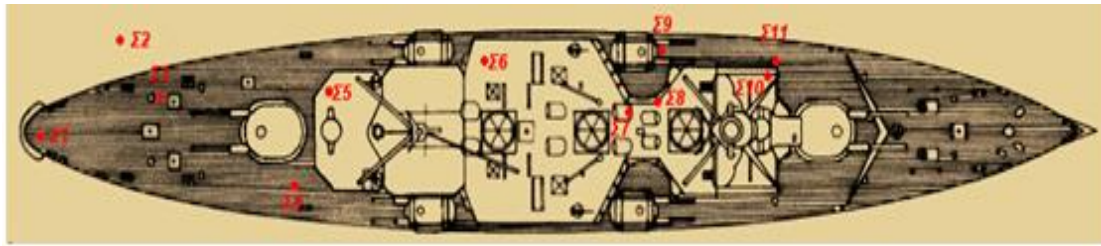
1^η Περίοδος εργασιών: Απρίλιος του 2016

Την περίοδο αυτή το Θωρηκτό ήταν αγκυροβολημένο στο Παλαιό Φάληρο, στη θέση Τροκαντερό, στη Μαρίνα Φλοίσβου. Ιδρύθηκαν ένδεκα στάσεις και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες τους με GPS. Από τις έντεκα στάσεις πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 του καταστρώματος κατά το μεγαλύτερο μέρος του και των λοιπών κατασκευών που υπήρχαν στο κατάστρωμα.



Εικόνα 4.2 Επίγειος σαρωτής ScanStation 2

Για τη συνένωση των νεφών σημείων (registration) χρησιμοποιήθηκαν λευκοί ημισφαιρικοί στόχοι. Οι έντεκα στάσεις από τις οποίες η Σ1 βρίσκεται στην πρύμνη και η Σ2 εκτός πλοίου φαίνονται στην εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3 Οι έντεκα στάσεις σάρωσης με επίγειο σαρωτή την 1η Περίοδο εργασιών τον Απρίλιο του 2016.

Σημαντική παρατήρηση:

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρουμε ότι ο αρχικός σχεδιασμός της εργασίας ήταν η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με την προϋπόθεση ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων το πλοίο θα ήταν συνεχώς αγκυροβολημένο στη Μαρίνα Φλοίσβου, οπότε θα ήταν δυνατή η μέτρηση και ο προσδιορισμός των μικρομετακινήσεων του πλοίου από τον κυματισμό και διόρθωση του μοντέλου από την αιτία αυτή. Ωστόσο, ο σχεδιασμός αυτός δεν εφαρμόστηκε, διότι το Θωρηκτό κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της 2ης περιόδου, που ήταν και η μεγαλύτερη, μετακινήθηκε για επισκευή στα Ναυπηγεία Σκαρμαγκά, όπου σταθεροποιήθηκε, πάνω σε ξύλινους τάκους. Το ευτύχημα ήταν ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της 1^{ης} περιόδου, που το πλοίο θα ήταν αγκυροβολημένο στη Μαρίνα Φλοίσβου, επικρατούσε σχεδόν νηνεμία και ο κυματισμός οφειλόταν κυρίως στα απόνερα διερχόμενων πλοίων. Για την εργασία αυτή, υποθέτουμε ότι οι μικρομετακινήσεις του Θωρηκτού ήταν μικρότερες από την ακρίβεια των χρησιμοποιούμενων επίγειων σαρωτών, ώστε να μη ληφθούν υπόψη. Με βάση την υπόθεση αυτή, συνενώσαμε νέφη σημείων 1^{ης} και 2^{ης} περιόδου, παρότι το Θωρηκτό την 1^η περίοδο υφίστατο μικρομετακινήσεις, ενώ τη 2^η περίοδο ήταν σταθερό, υποθέτοντας ότι οι σαρώσεις και στις δύο περιόδους είχαν την ίδια ακρίβεια.

Παρότι, όπως προαναφέρθηκε, ο προσδιορισμός των μικρομετακινήσεων του πλοίου από τον κυματισμό δεν έγινε, κρίνουμε σκόπιμο να το σχολιάσουμε, διότι θεωρούμε ότι αποτελεί ένα ελκυστικό αντικείμενο περαιτέρω έρευνας. Εκτιμούμε, ότι ένας τρόπος προσέγγισης του προβλήματος θα ήταν ο εξής:

Ο προσδιορισμός των μικρομετακινήσεων του Θωρηκτού μπορεί να γίνει με την εφαρμογή των γνωστών μεθόδων της Τοπογραφίας, δηλαδή, (α) ίδρυση μικρο-τριγωνομετρικού δικτύου υψηλής ακρίβειας σε σταθερά σημεία στην περιοχή γύρω από το Θωρηκτό, (β) προσδιορισμός των συντεταγμένων του δικτύου με πολλές μετρήσεις και ειδικές μεθόδους με μεγάλη ακρίβεια (γ) εκτέλεση συνεχόμενων διαχρονικών μετρήσεων σε τοποθετημένους τεχνητούς στόχους πάνω στο Θωρηκτό και σε χαρακτηριστικά σημεία του, που πιθανόν να χρησιμοποιηθούν ως ομόλογα σημεία για τη συνένωση των νεφών των σημείων. Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να γίνουν σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων από τους επίγειους σαρωτές, ώστε να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες τους με ακρίβεια σε συνάρτηση με το χρόνο. Για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα η επιλογή των θέσεων, τόσο των στόχων, όσο και των χαρακτηριστικών σημείων θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτουν αντιπροσωπευτικά όλες τις περιοχές του Θωρηκτού (πλευρές, πρύμνη και πλώρη) και θα πρέπει να μετρώνται σχεδόν ταυτόχρονα από έμπειρα συνεργεία σε όσο το δυνατόν πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Στα συνεργεία αυτά θα πρέπει να δοθούν οδηγίες για τον τρόπο μετρήσεων, διότι τα μετρημένα σημεία έχουν μικρομετακινήσεις. Με τον τρόπο αυτό μετά τις επιλύσεις και την επεξεργασία των μετρήσεων θα συνταχθούν νομογράμματα διόρθωσης, που θα χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία των δεδομένων των επίγειων σαρωτών και τη διόρθωση των θέσεων των στόχων και των χαρακτηριστικών σημείων, με πολύ μεγάλη ακρίβεια σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

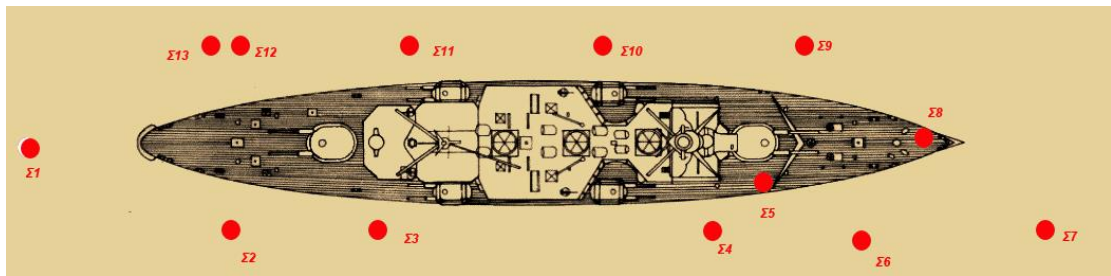
2^η Περίοδος εργασιών: Ιούνιος & Ιούλιος 2017

Την περίοδο αυτή το Θωρηκτό ήταν αγκυροβολημένο σε υδατοδεξαμενή των Ναυπηγείων Σκαρμαγκά για επισκευή. Εκεί ιδρύθηκαν δεκατρείς στάσεις.



Εικόνα 4.4 Επίγειος σαρωτής ScanStation 2 στο Ναυπηγείο Σκαρμαγκά

Σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο από τις δεκατρείς στάσεις πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με τους επίγειους σαρωτές ScanStation 2 και P30/40 της Leica και τον FocusM 70 της FARO του καταστρώματος και των λοιπών κατασκευών που υπήρχαν στο κατάστρωμα, καθώς και της αριστερής και της δεξιάς πλευράς του πλοίου. Οι μετρήσεις έγιναν σε τρεις μέρες (πέντε ώρες ανά ημέρα). Για τη συνένωση των νεφών σημείων (registration) χρησιμοποιήθηκαν ομόλογα σημεία. Η μέθοδος αυτή συνένωσης απαιτεί επάλληλες επικαλυπτόμενες σαρώσεις, πράγμα που λήφθηκε υπόψη στις διαδοχικές σαρώσεις από τις στάσεις. Οι δεκατρείς στάσεις από τις οποίες η Σ5 και Σ8 βρίσκονται πάνω στο πλοίο και οι υπόλοιπες στο περιβάλλοντα χώρο φαίνονται στις εικόνες 4.5 και 4.6.



Εικόνα 4.5 Οι δεκατρείς στάσεις σάρωσης με επίγειο σαρωτή την 2η Περίοδο εργασιών τον Ιούνιο & Ιούλιο του 2017

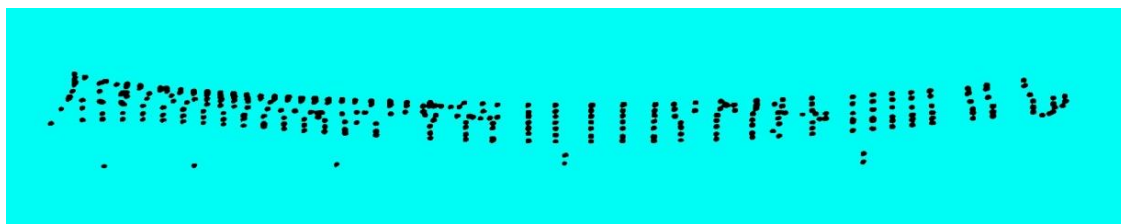


Εικόνα 4.6 Υλοποιημένες στάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του Θωρηκτού

Μετρήσεις με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR 407) της LEICA

Σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο τη 2^η περίοδο έγιναν συμπληρωματικές μετρήσεις με το γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR 407) της LEICA για περιοχές που δεν ήταν δυνατές οι μετρήσεις με laser scanner (π.χ. σημεία του κοίλου, τις χρωματισμένες καθέτους της ισάλου κλπ) και για προσδιορισμό των διαστάσεων κατασκευών (π.χ. φινιστρίνια, πυροβόλα και άλλες χαρακτηριστικές

κατασκευές) με μεγαλύτερη ακρίβεια (εικόνες 4.7 και 4.8 από Autocad),

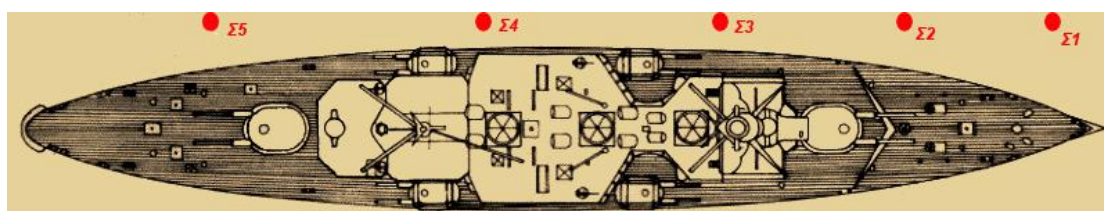


Εικόνα 4.7 Τοπογραφικές μετρήσεις αριστερής πλευράς



Εικόνα 4.8 Τοπογραφικές μετρήσεις κοίλου

όπου φαίνεται η αδυναμία λήψης μετρήσεων στο κάτω μέρος του πλοίου, λόγω της απορρόφησης των ακτίνων laser. Οι μετρήσεις έγιναν χωρίς πρίσμα (reflector less) επειδή δεν υπήρχε πρόσβαση στα σημεία των μετρήσεων και ενσωματώθηκαν στις υπόλοιπες μετρήσεις. Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκαν πέντε στάσεις στην αριστερή πλευρά του πλοίου (εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9 Οι πέντε στάσεις μετρήσεων με γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR 407) της LEICA την 2η περίοδο εργασιών τον Ιούνιο & Ιούλιο του 2017.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού TPS 400 (εικόνα 4.10) είναι τα παρακάτω:

- Βάρος: 5 κιλά
- Μεγέθυνση τηλεσκοπίου: 30X
- Μικρότερη απόσταση εστίασης: 1.7 μ.
- Ακρίβεια μέτρησης γωνιών: $\pm 7''$

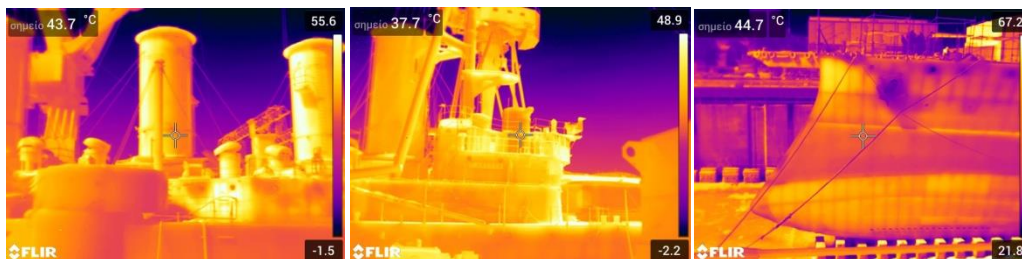
- Ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων με πρίσμα: 2mm+/-2 ppm
- Μέγιστος αριθμός αποθηκευμένων σημείων: 18000



Εικόνα 4.10 Γεωδαιτικός σταθμός TPS 400 (TCR 407) της LEICA

Μετρήσεις με θερμοκάμερα E60 της Flir

Οι μετρήσεις με θερμική κάμερα έγιναν συμπληρωματικά από την εταιρεία JGC με σκοπό πάλι, όπως και στη περίπτωση του γεωδαιτικού σταθμού, να συμπληρώσουμε τα κενά των μετρήσεων, όπου το μαύρο κυρίως χρώμα των υλικών δεν τις επέτρεπε. Έτσι λήφθηκαν επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες (εικόνα 4.11) στην αριστερή και στη δεξιά πλευρά του πλοίου, καθώς και στις υπερκατασκευές για κάλυψη των κενών μετρήσεων του επίγειου σαρωτή ScanStation 2. Οι εικόνες αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν λόγω χαμηλής ανάλυσης.



Εικόνα 4.11 Θερμικές εικόνες

Οι θερμικές κάμερες ανιχνεύουν και λαμβάνουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει ένα αντικείμενο. Στην παραγόμενη θερμική εικόνα ή θερμογράφημα, τα φωτεινά χρώματα (κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο) δείχνουν θερμές περιοχές, ενώ τα σκοτεινά χρώματα ματζέντα, σκούρο μπλε και μαύρο δείχνουν τις δροσερές περιοχές. Οι υπέρυθρες ακτίνες δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας E60 (εικόνα 4.12) είναι τα παρακάτω:

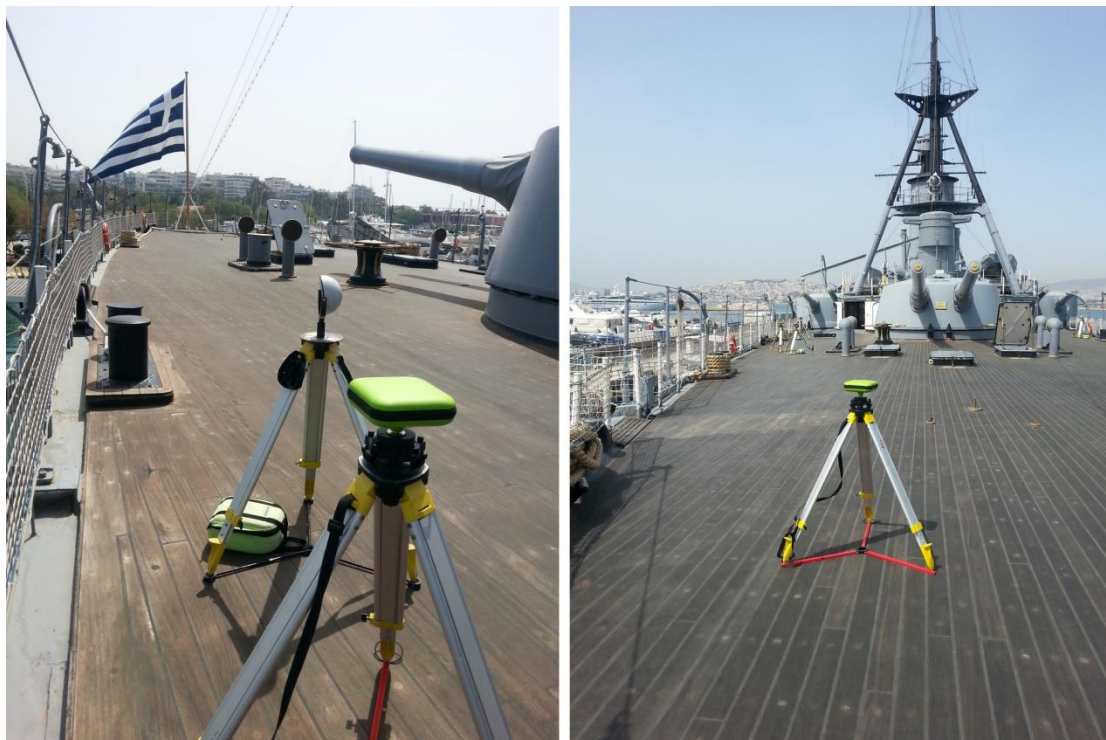
- Depth Bluetooth / WiFi
- Ανάλυση (pixels) 320x240 pixels
- Θερμική ευαισθησία 45mK
- Ψηφιακή κάμερα 3.1 Mpixels και LED φως
- Χωρική ανάλυση 1.36mrad
- ZOOM 1-4x συνεχόμενο ψηφιακό



Εικόνα 4.12 Θερμοκάμερα E60 της Flir

Μετρήσεις με GPS

Έγιναν μετρήσεις με GPS (εικόνα 4.13) για τον προσδιορισμό των μικρομετακινήσεων του πλοίου, οι οποίες τελικά δεν χρησιμοποιήθηκαν όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 4.13 Μετρήσεις GPS με το μοντέλο Triumph 1M της εταιρείας JAVAD

4.2.3 Αρχαιοθέτηση των δεδομένων μετρήσεων

Αρχειοθετούνται πάντα τα πρωτότυπα αρχεία και εφόσον χρειαστεί να κάνουμε κάποια επεξεργασία, γίνεται πάντα σε αντίγραφά τους. Τα αρχεία που προέρχονται από το όργανο μπορούν να εξαχθούν σε διάφορα μορφότυπα (formats).

Τα πιο συνηθισμένα μορφότυπα είναι (Santana-Quintero, M., et al.,2008):

- DXF: Μορφότυπο του AutoCad
- PTX: Μορφότυπο της Leica με κείμενο που περιέχει συντεταγμένες X,Y,Z, ανακλασιμότητα και τιμή χρώματος και τη θέση του laser scanner.
- PTS: Μορφότυπο της Leica με κείμενο που περιέχει συντεταγμένες X,Y,Z, ανακλασιμότητα και τιμή χρώματος
- XYZ: Μορφότυπο κειμένου που περιέχει συντεταγμένες X,Y,Z.
- XYZRGB: Μορφότυπο κειμένου που περιέχει συντεταγμένες X,Y,Z τιμές χρώματος για κάθε σημείο, στο χρωματικό μοντέλο (RGB-Red, Green, Blue)

Η ακρίβεια που γράφονται οι συντεταγμένες στα παραπάνω μορφότυπα, μπορεί να είναι απλή (32bit) ή διπλή(64bit). Το θέμα αυτό δεν έχει μεγάλη σημασία όταν οι συντεταγμένες είναι σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, αλλά κυρίως όταν είναι σε βαθμούς και αυτό γιατί μια απόκλιση 0.01 βαθμών στην γωνία δίνει ένα σφάλμα 1 εκατοστού στα 50 μέτρα, 2 εκατοστών στα 100 μέτρα κλπ.

Ακόμη είναι βασικό να διατηρείται και αρχείο μεταδεδομένων, τόσο για την παρούσα, όσο και για μελλοντικές εργασίες.

Τέτοιες πληροφορίες είναι:

4.2.4 Μεταδεδομένα αρχείων

- Όνομα πρωτότυπου αρχείου
- Ημερομηνία συλλογής
- Τύπος laser scanner
- Ανάλυση δεδομένων
- Συνολικός αριθμός σημείων

4.2.5 Μεταδεδομένα της όλης εργασίας

- Ονόματα πρωτότυπων αρχείων
- Όνομα του μνημείου
- Φορέας για τον οποίο έγινε η εργασία
- Μέθοδος συνένωσης των νεφών σημείων
- Συνολικός αριθμός σημείων
- Καιρικές συνθήκες
- Συντεταγμένες στόχων
- Μορφότυπα δεδομένων
- Μαγνητικά μέσα αποθήκευσης

4.2.6 Συνένωση νεφών σημείων και γεωαναφορά

Επειδή γενικά, όπως και στην περίπτωση του Θωρηκτού, λόγω μεγάλου μεγέθους του μνημείου που πρόκειται να αποτυπωθεί, απαιτούνται περισσότερες από μια στάσεις για τον laser scanner. Αυτό σημαίνει ότι θα παραχθούν διάφορα νέφη σημείων, ένα για κάθε στάση. Το ζητούμενο λοιπόν είναι τα νέφη αυτά των σημείων να αναφέρονται στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, για να μπορούν να συνενωθούν και να είναι συγκρίσιμα. Υπάρχουν δύο μέθοδοι συνένωσης νεφών σημείων και γεωαναφοράς, η άμεση και η έμμεση (Santana-Quintero, M., et al., 2008):

4.2.6.1 Άμεση μέθοδος

Με τη μέθοδο αυτή πρέπει να γνωρίζουμε κάθε φορά τη θέση του laser scanner σε κάθε στάση, που τοποθετείται, στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Ο συνηθέστερος τρόπος για να το επιτευχθεί είναι να τοποθετηθεί ένα GPS στο πάνω μέρος του laser scanner. Η άμεση μέθοδος μας απαλλάσσει από την υποχρέωση να έχουμε διαδοχικά επικαλυπτόμενα νέφη σημείων κατά μεγάλο ποσοστό, απλά δεν πρέπει να αφήνονται κενά μεταξύ των διαδοχικών νεφών. Επιπλέον, δεν απαιτείται η τοποθέτηση στόχων στο μνημείο.

4.2.6.2 Έμμεσες μέθοδοι

Στις έμμεσες μεθόδους χρησιμοποιούνται τεχνητοί ή φυσικοί στόχοι. Ο ασφαλέστερος τρόπος προσδιορισμού τους είναι με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (total station) και όπου απαιτηθεί χρήση όδευσης, ώστε οι συντεταγμένες του κέντρου των στόχων να αναφέρονται στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς με αυτό των νεφών των σημείων. Υπάρχουν τρεις τρόποι εφαρμογής της μεθόδου αυτής:

- **Μέθοδος τεχνητών στόχων**

Οι στόχοι που προσφέρονται σε ποικιλία μεγεθών και σχημάτων τοποθετούνται σε προσβάσιμα σημεία. Σαν στόχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και λευκά χαρτιά με τυπωμένους στόχους. Επίσης, σε περίπτωση που χρειάζονται στόχοι

σε μη προσβάσιμα σημεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακριτά χαρακτηριστικά σημεία που εντοπίζονται με μεγάλη ευκολία.

- **Μέθοδος ομόλογων σημείων**

Η μέθοδος αυτή απαιτεί τα διαδοχικά νέφη σημείων να έχουν μια επικάλυψη 40%. Στην περίπτωση αυτή η συνένωση γίνεται με ομόλογα σημεία που επιλέγονται στο επικαλυπτόμενο μέρος των διαδοχικών νεφών. Επιλέγονται τουλάχιστον τρία σημεία, αλλά το ιδανικό θα ήταν τέσσερα σημεία, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

- **Μέθοδος ομολόγων επιφανειών**

Η μέθοδος αυτή (Gruen, A. , et al.,2007) χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα (2006 και μετά) και αντί ομόλογα σημεία χρησιμοποιεί μικρές ομόλογες επιφάνειες, που υπάρχουν στο επικαλυπτόμενο τμήμα των νεφών. Με τον αλγόριθμο της μεθόδου αυτής υπολογίζονται οι Ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των ομολόγων επιφανειών και προσπαθεί να τις ελαχιστοποιήσει με την μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων. Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη ευελιξία και παρέχει στατιστικά στοιχεία για την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.

4.2.7 Επεξεργασία δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων την 1^η περίοδο των μετρήσεων (Απρίλιος 2016) πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ενώ η 2^η περίοδος (Ιούνιος και Ιούλιος 2017) των μετρήσεων και η αρχική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από κοινού με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Μετά τη συλλογή των δεδομένων έγινε η επεξεργασία τους, για να παραχθεί το τελικό μοντέλο του Θωρηκτού. Στη συνέχεια, θα περιγραφούν τα διάφορα στάδια επεξεργασίας με εξειδικευμένα λογισμικά, κατάλληλα για την επεξεργασία νεφών σημείων που λήφθηκαν με τον επίγειο σαρωτή Scanstation 2. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν το λογισμικό Cyclone της Leica για αρχική επεξεργασία και το λογισμικό Geomagic της 3D Systems για περαιτέρω επεξεργασία και παραγωγή του τελικού μοντέλου του Θωρηκτού.

4.2.4.1 Επεξεργασία δεδομένων με το λογισμικό Cyclone

Με το λογισμικό Cyclone έγινε η μεταφόρτωση των δεδομένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 στον υπολογιστή και η συνένωση των νεφών σημείων. Η συνένωση νεφών γίνεται ώστε όλα τα νέφη, που αφορούν ένα μνημείο, να μετασχηματιστούν και να μεταπέσουν σε ένα κοινό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Τα βήματα συνένωσης με το λογισμικό Cyclone είναι τα εξής:

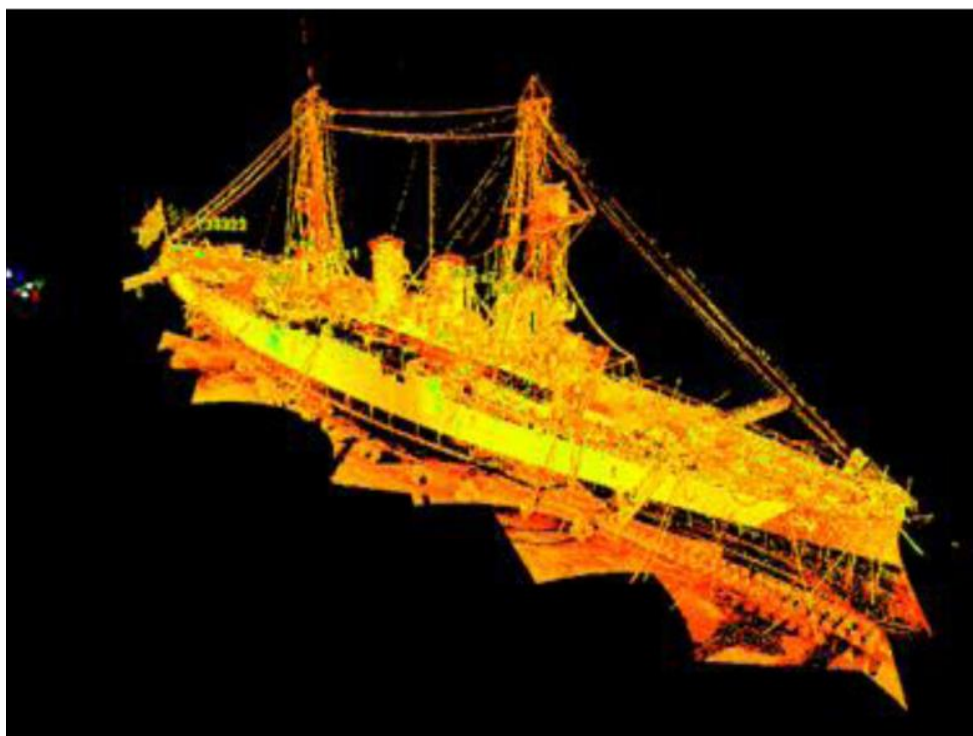
1. Δημιουργία νέου «Registration» από το παράθυρο «Navigator»
2. Διπλό κλικ στο «Registration» και επιλογή της εντολής «Add ScanWorld» από το μενού
3. «ScanWorld».
4. Επιλογή των δύο νεφών για συνένωση
5. Διευθέτηση των δύο νεφών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να επιλεγθούν τουλάχιστον τρία κοινά σημεία (τεχνητά ή φυσικά), που να απεικονίζονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των δύο νεφών.
6. Αναγνώριση και επιλογή των ομολόγων σημείων με τον κέρσορα σε κατάσταση «multi-pick».
7. Ορισμός των επαναλήψεων της διαδικασίας συνένωσης επιλέγοντας από το μενού «Edit > Preferences».
8. Εισαγωγή των επιλεγμένων σημείων στη συνένωση επιλέγοντας από το μενού «Cloud Constraint> Add Cloud Constraint» .
9. Ευθυγράμμιση των νεφών επιλέγοντας από το μενού «Cloud Constraint> Optimize Cloud Alignment» .
10. Έλεγχος του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (ΜΤΣ).
11. Επανάληψη της διαδικασίας εφόσον το ΜΤΣ δεν είναι μέσα στο όριο που έχουμε θέσει για τη συγκεκριμένη εργασία.
12. Τέλος, εφόσον το ΜΤΣ είναι ικανοποιητικό κάνουμε τη συνένωση των νεφών επιλέγοντας από το μενού «Register>Create ScanWorld/Freeze Registration» και «Register>Create and Open ModelSpace».

Όπως περιγράφεται και παραπάνω η συνένωση αυτή γίνεται ανά δύο διαδοχικά νέφη με την χρήση κοινών σημείων που υπάρχουν και στα δύο νέφη, από τα οποία υπολογίζονται οι συντελεστές μετατροπής των συστημάτων των δύο νεφών (μετακινήσεις, στροφές και κλίμακα). Τα κοινά αυτά σημεία μπορεί να είναι είτε τεχνητά, είτε φυσικά, δηλαδή χαρακτηριστικά σημεία του μνημείου, τα λεγόμενα ομόλογα σημεία.

Στην περίπτωση του Θωρηκτού η συνένωση των νεφών έγινε ως εξής:

Τα έντεκα νέφη που προέκυψαν από τις μετρήσεις της πρώτης περιόδου που το Θωρηκτό ήταν ελλιμενισμένο στην Μαρίνα Φλοίσβου συνενώθηκαν ανά ζεύγη με κοινά σημεία τους χρησιμοποιηθέντες ημισφαιρικούς στόχους. Όπου αυτό δεν ήταν δυνατόν χρησιμοποιήθηκαν κοινά ομόλογα χαρακτηριστικά σημεία, πράγμα που απαιτούσε διαδοχικά επικαλυπτόμενα νέφη. Η διαδικασία αυτή συνεχίστηκε και πάλι δημιουργώντας νέα ζεύγη νεφών μέχρι να καταλήξουμε σε ένα που είχε ενσωματώσει, όλες τις μετρήσεις της πρώτης περιόδου των μετρήσεων που έγιναν τον Απρίλιο του 2016.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η συνένωση των νεφών της δεύτερης περιόδου των μετρήσεων, που το Θωρηκτό ήταν σε υδατοδεξαμενή επισκευής των ναυπηγείων Σκαρμαγκά. Η συνένωση αυτή έγινε πάλι ανά ζεύγη, αλλά με κοινά ομόλογα σημεία, διότι δεν είχαν χρησιμοποιηθεί τεχνητοί στόχοι, και γι' αυτό είχε προβλεφθεί τα νέφη των σημείων να έχουν μια επικάλυψη 30% έως 40%. Το τελικό αποτέλεσμα (Ζορμπά Α., 2018.) φαίνεται στην εικόνα 4.14. Ο αριθμός των σημείων του τελικού σημειακού αρχείου ήταν 194.628.312 και το Μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν 1.9 mm.



Εικόνα 4.14 Τελικό νέφος σημείων που προήλθε από τη συνένωση όλων των νεφών με το λογισμικό Cyclone.

Οι τεχνητοί λευκοί ημισφαιρικοί στόχοι (εικόνα 4.15) , που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη περίοδο των μετρήσεων διευκόλυναν πάρα πολύ στην συνένωση των νεφών, ενώ αντιμετωπίστηκαν σημαντικές δυσκολίες, στη συνένωση των νεφών που βασιζόταν κυρίως στην αναγνώριση και σκόπευση των ομολόγων φυσικών και όχι τεχνητών σημείων. Επιβάλλεται λοιπόν η χρήση τεχνητών στόχων στις μετρήσεις, εκτός και αν αυτό είναι αδύνατο. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι η σωστή μελέτη και προετοιμασία στην επιλογή των στάσεων, η χωροθέτηση και τοποθέτηση τεχνητών στόχων, οι πιθανές απαιτούμενες συμπληρωματικές μετρήσεις και η επικάλυψη των νεφών παίζει σημαντικό ρόλο στη συνένωσή τους και στην επιτυχή δημιουργία του τελικού μοντέλου του μνημείου. Οι διαπιστώσεις αυτές προκύπτουν από το γεγονός ότι παρ' όλη την προσπάθεια και την εφαρμογή των τεχνικών μεθόδων, δεν κατέστη εφικτό να συνενωθούν τα νέφη της υπερκατασκευής και του καταστρώματος με το σύνολο των υπολοίπων νεφών, διότι δεν πληρούσαν τις προϋποθέσεις που έπρεπε.



Εικόνα 4.15 Λευκοί ημισφαιρικοί στόχοι.

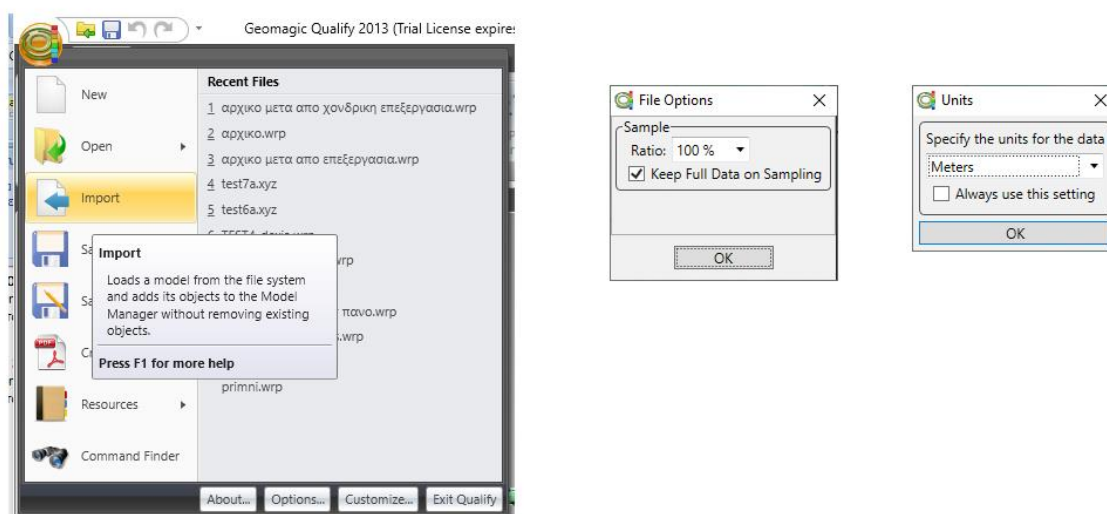
4.2.4.2 Επεξεργασία δεδομένων με το λογισμικό Geomagic

Για λειτουργικούς λόγους και για καλύτερη επεξηγηματικότητα θα παρουσιαστεί η επεξεργασία των δεδομένων σε χαρακτηριστικά τμήματα του Θωρηκτού. Η επεξεργασία με το λογισμικό Geomagic έγινε σε έξι φάσεις, εισαγωγή δεδομένων, επεξεργασία σημειακών αρχείων, μετατροπή των σημειακών αρχείων σε αρχεία πλεγμάτων τριγώνων, επεξεργασία αρχείων πλεγμάτων τριγώνων, συνένωση πλεγμάτων και τελική επεξεργασία του συνολικού μοντέλου:

Τα βήματα επεξεργασίας αρχείων που περιέχουν τα σημεία που προέκυψαν από τα διαδοχικά σκαναρίσματα είναι τα παρακάτω:

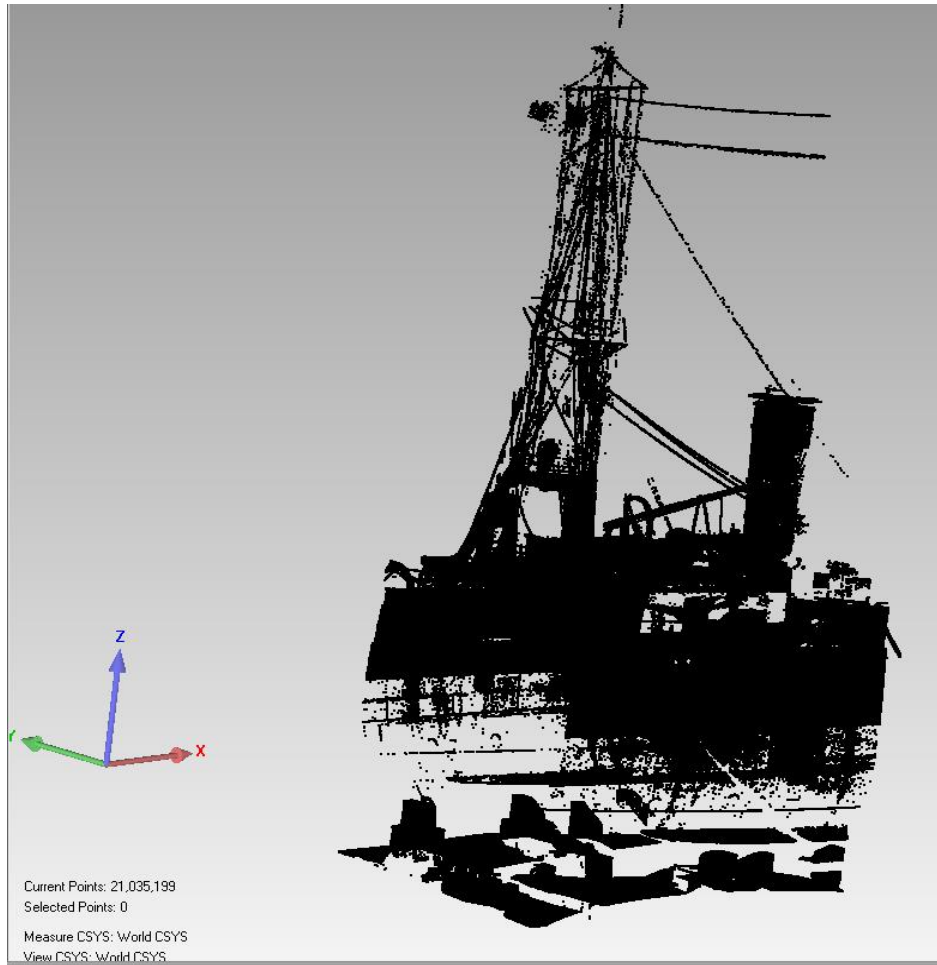
Φάση 1^η - Εισαγωγή πρωτογενών δεδομένων σε μορφή .xyz που πήραμε από το λογισμικό Cyclone.

Η εισαγωγή γίνεται με την εντολή Tasks>Import, επιλογή του αρχείου τύπου .xyz >OK. Στη συνέχεια εμφανίζονται διαδοχικά δύο παράθυρα. Το ένα ζητάει να οριστεί το ποσοστό των σημείων που πρέπει να εισαχθούν από το αρχείο. Επιλέχθηκε 100% για να είναι διαθέσιμη όλη την πληροφορία. Το δεύτερο παράθυρο ζητάει να οριστεί η μονάδα μέτρησης. Επιλέχθηκε το μέτρο έτσι ώστε να είναι συμβατό με τη μονάδα που χρησιμοποιήθηκε από τους laser scanners (βλ. εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό Geomagic

Τα εισαγόμενα δεδομένα του μέρους του Θωρηκτού εμφανίζονται στην οθόνη, όλα με μαύρο χρώμα (βλ. εικόνα 4.17). Το μέρος αυτό του Θωρηκτού έχει περίπου 21.000.000 σημεία, αλλά από αυτά δεν χρειάζονται ολόκληρες οι περιοχές και πρέπει να σβηστούν. Ο συνολικός αριθμός σημείων του μοντέλου ήταν της τάξης των 200.000.000.



Εικόνα 4.17 Εμφάνιση δεδομένων τύπου .xyz στο λογισμικό Geomagic

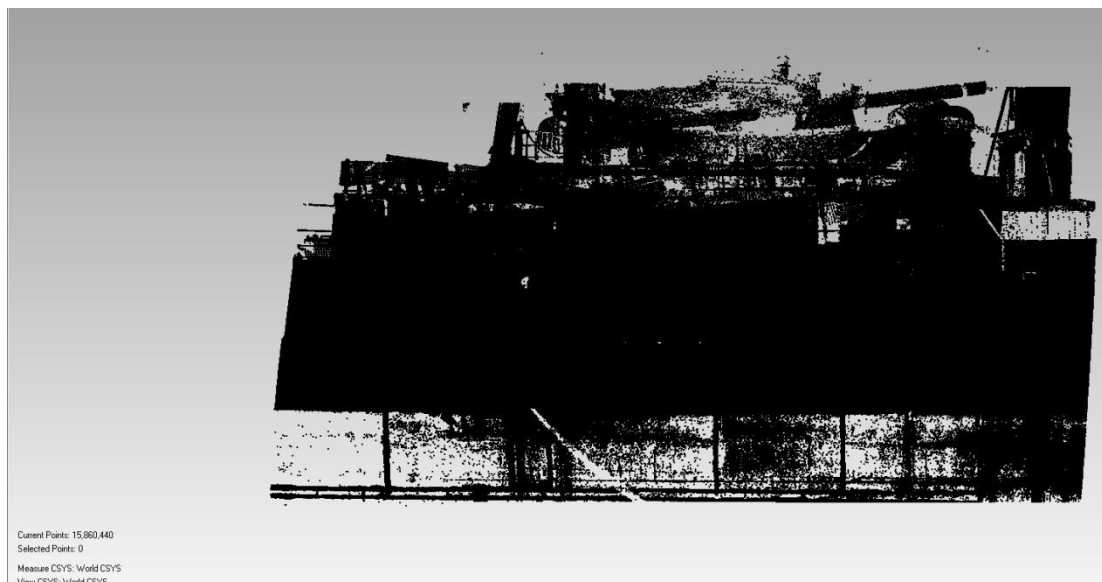
Φάση 2^η-Επεξεργασία σημειακών αρχείων

Διάσπαση του συνολικού νέφους σημείων

Το αρχικό νέφος σημείων χωρίστηκε σε μικρότερα νέφη με επιλογή του κάθε κομματιού με το κατάλληλο εργαλείο επιλογής (selection tools) του Geomagic, δεξί κλικ πάνω σε αυτό και επιλογή της εντολής create new object > from selection. Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για την πιο εύκολη και στοχευμένη επεξεργασία των τμημάτων του Θωρηκτού.

Χονδρικός καθαρισμός των δεδομένων

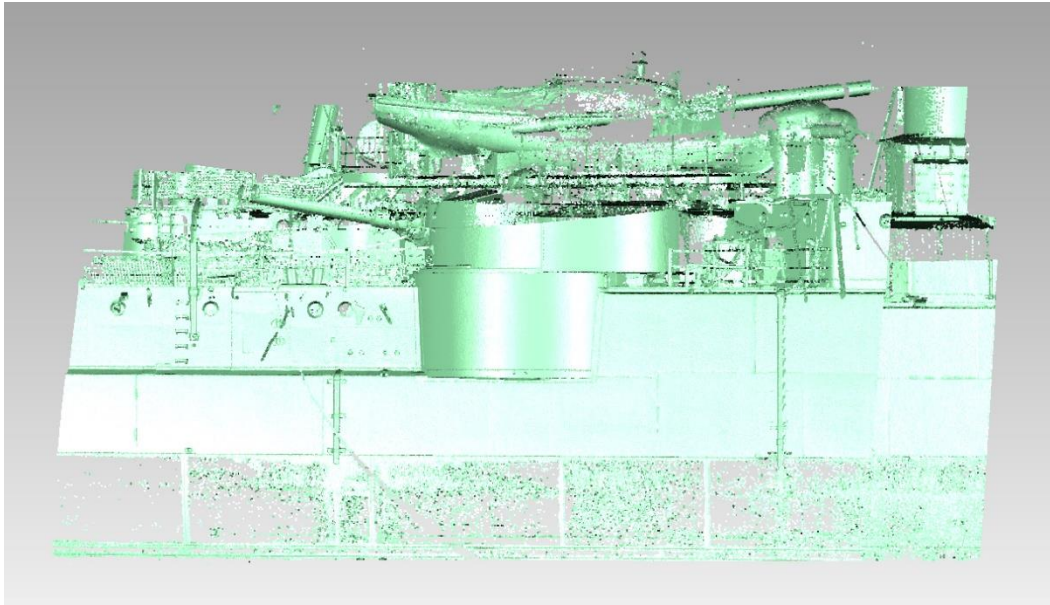
Μετά την εισαγωγή των δεδομένων έγινε χονδρικός καθαρισμός. Με τον καθαρισμό αυτό σβήνονται χειροκίνητα ολόκληρες περιοχές που έχουν σκαναριστεί, αλλά δεν χρειάζονται για την κατασκευή του μοντέλου του σκάφους, όπως μετρημένα τμήματα κάτω από τη γάστρα του Θωρηκτού, όταν ήταν αγκυροβολημένο, όπως ξύλινα δοκάρια στήριξης κλπ., κατασκευές του καταστρώματος (σχοινιά, κάγκελα κλπ). Τα περιττά αυτά αντικείμενα διαγράφονται με επιλογή με το κατάλληλο εργαλείο επιλογής από τα Selection Tools και Delete. Από το χονδρικό καθαρισμό προέκυψε η εικόνα 4.18. Μετά τον καθαρισμό τα σημεία μειώθηκαν στα 15.500.000 δηλαδή κατά το σημαντικό ποσοστό 26%.



Εικόνα 4.18 Χονδρικός καθαρισμός

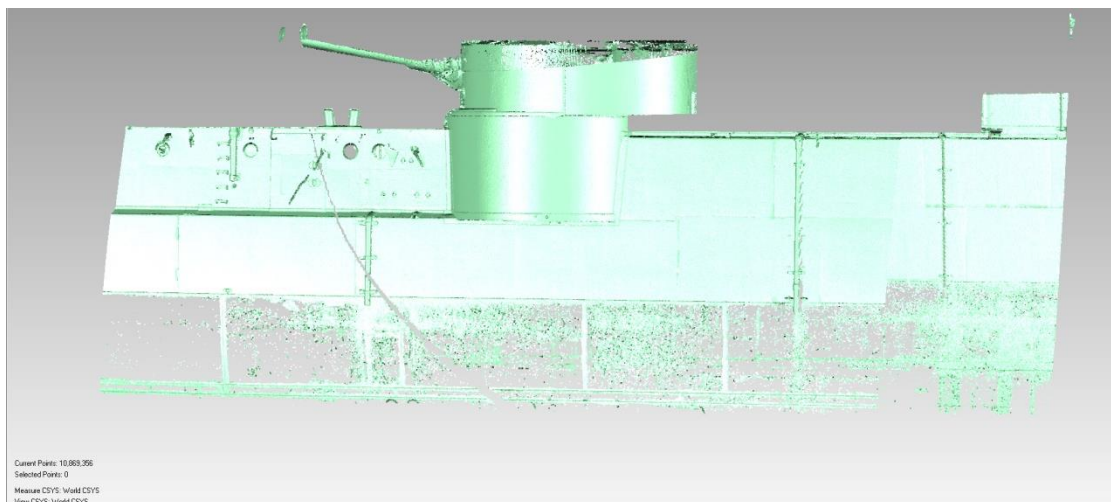
Λεπτομερέστερος καθαρισμός

Επειδή με την απεικόνιση αυτή του αρχείου δεν διακρίνονται οι λεπτομέρειες με αποτέλεσμα, εάν συνεχιστούν οι διαγραφές να παραλειφθούν και σημαντικές λεπτομέρειες, με την εντολή Points>Shade Points επισκιάστηκε το αντικείμενο, ώστε να διαγραφούν καλύτερα οι λεπτομέρειές του. Στην εικόνα 4.19 φαίνεται το αποτέλεσμα της σκίασης, όπου επιτυγχάνεται ο στόχος, αποκαλύπτοντας σημαντικές λεπτομέρειες.



Εικόνα 4.19 Σκίαση του μοντέλου

Με υπόβαθρο το σκιασμένο μοντέλο κατέστη δυνατός ο καλύτερος καθαρισμός της περιττής πληροφορίας χειροκίνητα με τα κατάλληλα εργαλεία επιλογής και τις εντολές Selection Tools και Delete. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.20.



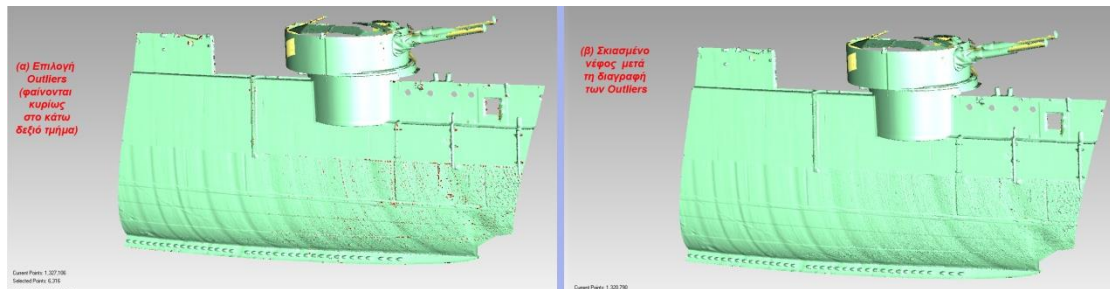
Εικόνα 4.20 Απεικόνιση του μοντέλου μετά τους διαδοχικούς καθαρισμούς

Από την μέχρι τώρα διαδικασία διαπιστώθηκε ότι η επιλογή και διαγραφή των περιττών περιοχών και λεπτομερειών, πρέπει να γίνεται με πολλή προσοχή, ώστε να μη διαγραφούν σημαντικές πληροφορίες που χρειάζονται για τη σωστή απόδοση του τρισδιάστατου μοντέλου του Θωρηκτού. Τη διαδικασία αυτή βοήθησε σημαντικά το

γεγονός ότι λήφθηκε μεγάλος αριθμός φωτογραφιών, κυρίως σε μικρές περιοχές με λεπτομέρειες που ήταν σχεδόν σίγουρο ότι θα χρειαστούν διευκρινίσεις κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς και από τα σκαριφήματα, που είχαν σχεδιαστεί κατά την περίοδο των μετρήσεων (σκαναρισμάτων).

Απομάκρυνση θορύβου

Με τη διαδικασία αυτή διαγράφηκαν περιττά σημεία (θόρυβος), που δεν προσέδιδαν κάτι στην απόδοση του μοντέλου και απλά το επιβάρυναν δημιουργώντας μεγαλύτερο όγκο αρχείων. Αυτό έγινε από το μενού Points>Repair και τη χρήση των εντολών Reduce noise και Select>Select Outliers>Delete. Στην εικόνα 4.21 έγινε επιλογή των Outliers και βελτίωση του νέφους σημείων με διαγραφή τους.

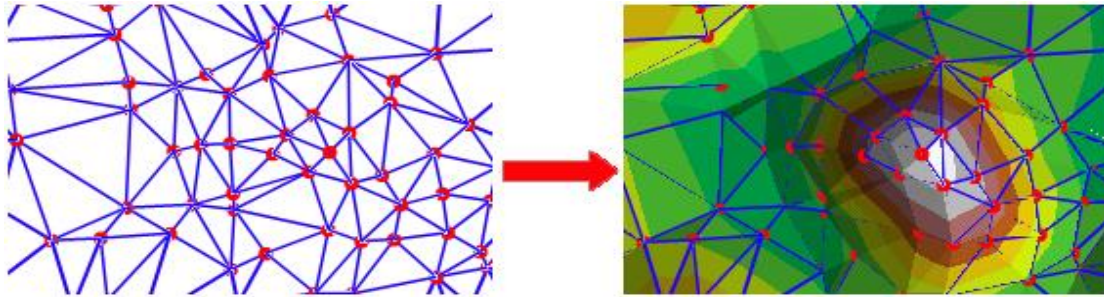


Εικόνα 4.21 Διαγραφή θορύβου

Μετά την εφαρμογή της εντολής ο αρχικός αριθμός των σημείων μειώθηκε από 1327106 σε 1320790.

Φάση 3^η - Μετατροπή των σημειακών αρχείων σε αρχεία πλεγμάτων τριγώνων.

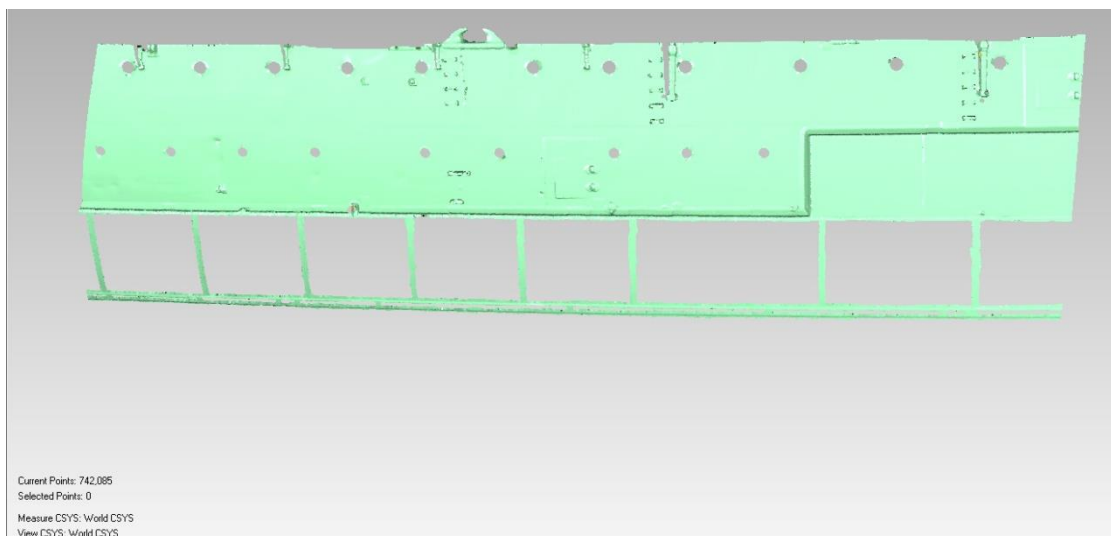
Η απεικόνιση επιφανειών με πλέγμα στοιχειωδών τριγώνων χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια (ESRI, ArcGIS Help). Οι κορυφές των τριγώνων λέγονται κόμβοι. Τα σχηματιζόμενα τρίγωνα ικανοποιούν το κριτήριο Delaunay, που εξασφαλίζει ότι μέσα στον περιμετρικό κύκλο κάθε τριγώνου, που σχηματίζεται δεν υπάρχει κανένας άλλος κόμβος (εικόνα 4.22).



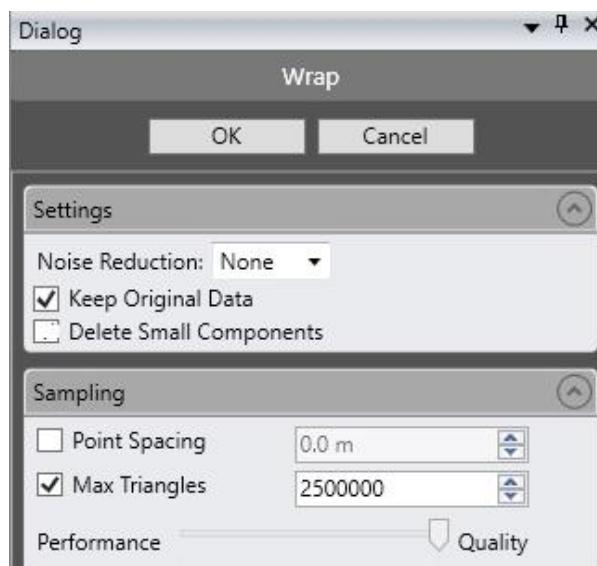
Εικόνα 4.22 Απεικόνιση επιφανειών με πλέγμα τριγώνων (ESRI, ArcGIS Help)

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι σε όλο το πλέγμα, η μικρότερη εσωτερική γωνία όλων των τριγώνων μεγιστοποιείται. Επιπλέον αποφεύγεται η δημιουργία μακρόστενων λεπτών τριγώνων, που έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη απεικόνιση των επιφανειών.

Στη φάση αυτή έγινε μετατροπή των σημειακών αρχείων σε αρχεία πλεγμάτων τριγώνων .

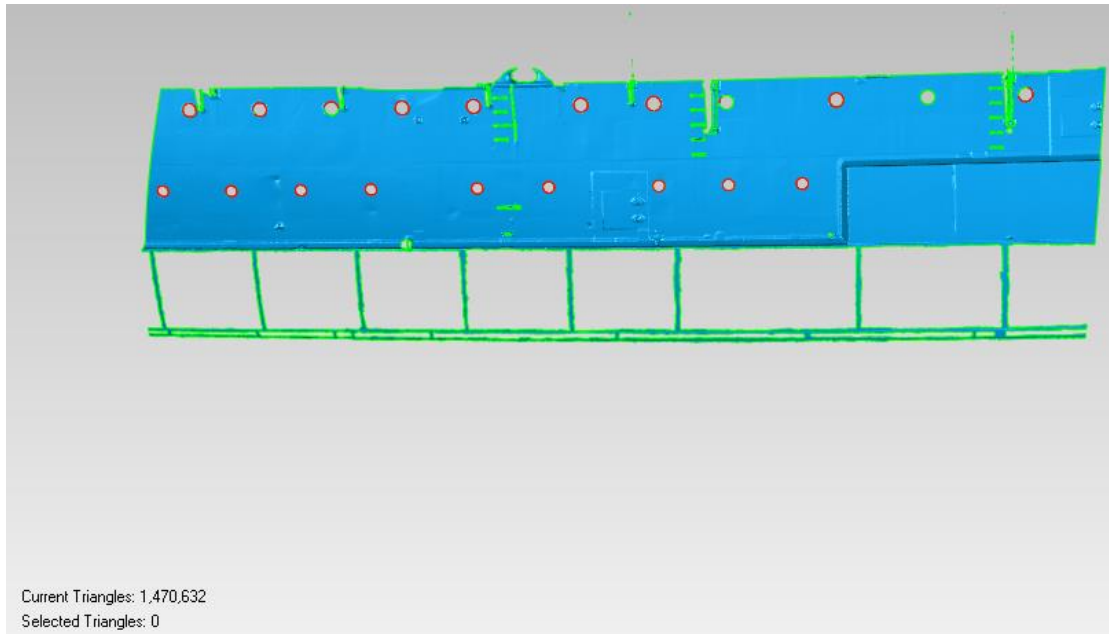


Εικόνα 4.23 Σημειακό αρχείο για μετατροπή σε αρχείο πλέγματος τριγώνων (mesh)



Εικόνα 4.24 Ρυθμίσεις εντολής για μετατροπή σε αρχείο πλέγματος τριγώνων (mesh)

Με τον τρόπο αυτό τα διάφορα αντικείμενα και επιφάνειες του Θωρηκτού απεικονίζονταν με ένα πλέγμα πολύ μικρών τριγώνων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα σημειακό αρχείο μέρους της πλευράς του Θωρηκτού (εικόνα 4.23) με 742.085 σημεία, διότι είχε λεπτομέρειες που βοηθούσαν στην επεξήγηση των εντολών της διαδικασίας καθαρισμού και διόρθωσης αρχείων πλέγματος τριγώνων. Η μετατροπή αυτή έγινε με την εντολή `Points>wrap`. Οι ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εντολή αυτή φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Στόχος μας ήταν να διατηρηθούν τα εισαγόμενα δεδομένα αναλλοίωτα. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να μη γίνει καμία μείωση των σημείων (Noise Reduction: None), να κρατηθούν τα αρχικά δεδομένα (Keep Original Data), να μη σβηστούν μικρά κομμάτια (Delete Small Components) και η ποιότητα (Quality) των δεδομένων να είναι η μέγιστη (δείκτης τέρμα δεξιά). Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε το αντίστοιχο αρχείο πλέγματος τριγώνων (εικόνα 4.25) με 1.470.632 τρίγωνα, έτοιμο για επεξεργασία με τις εντολές του μενού Polygons του Geomagic.



Εικόνα 4.25 Αρχείο πλέγματος τριγώνων

Φάση 4^η - Λεπτομερής επεξεργασία αρχείων πλεγμάτων τριγώνων.

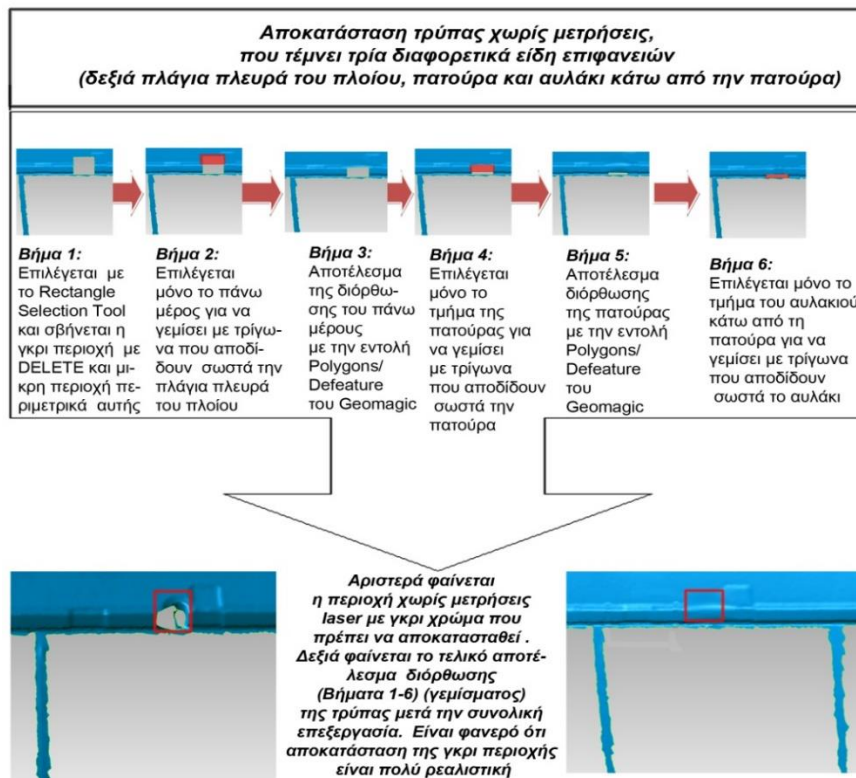
Στη φάση αυτή θα παρουσιαστεί ο τρόπος επεξεργασίας των πλεγμάτων τριγώνων προκειμένου να επιτευχθεί η ρεαλιστικότερη κατασκευή του μοντέλου.

Αποκατάσταση των τρυπών, που δεν είχαν μετρήσεις, με πλέγμα τριγώνων.

Η αποκατάσταση των τρυπών (holes), με βάση τις ιδιότητες του πλέγματος τριγώνων που τις περιβάλλει, γίνεται με διάφορους τρόπους. Εάν η τρύπα βρίσκεται σε ενιαία επιφάνεια και είναι σχετικά μικρή η αποκατάσταση γίνεται επιλέγοντας το μενού Polygons > fill holes> fill single. Εάν οι τρύπες είναι πολύ μικρές και πολλές τότε η αποκατάσταση γίνεται επιλέγοντας το μενού Polygons > fill holes> fill all. Η χρήση της εντολής αυτής πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή, διότι μπορεί να γεμίσει κάποιες τρύπες με λανθασμένο πλέγμα τριγώνων. Ωστόσο, στην επεξεργασία που έγινε διαπιστώθηκε ότι υπήρξαν πολύ καλά αποτελέσματα επιλέγοντας το μενού Polygons > Defeature.

Αποκατάσταση μικρών περιοχών, που δεν είχαν μετρήσεις, με πλέγμα τριγώνων

Όπως και στην αποκατάσταση των τρυπών, η αποκατάσταση περιοχών θεωρείται επιτυχημένη όταν το πλέγμα τριγώνων που δημιουργείται είναι προσαρμοσμένο στην επιφάνεια που το περιβάλλει. Για την αποκατάσταση της περιοχής που φαίνεται στην εικόνα 4.26 επιλέχθηκε αρχικά η περιοχή με το Rectangle Selection Tool η οποία και καθαρίστηκε από τις μετρήσεις με Delete.



4.26 Αποκατάσταση μικρών περιοχών

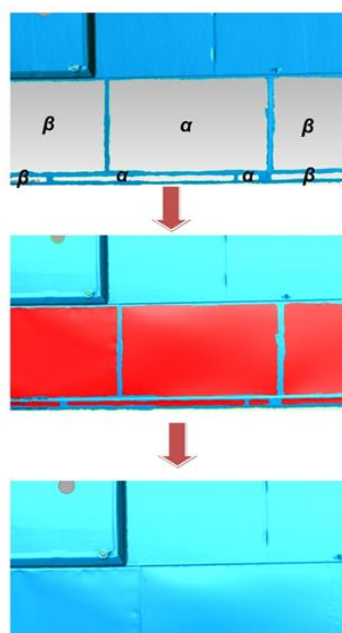
Ωστόσο, στην επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε ότι υπήρξαν εξίσου πολύ καλά αποτελέσματα επιλέγοντας το μενού Polygons > Defeature. Διαπιστώθηκε ότι η περιοχή τέμνει τρεις επιφάνειες την πλευρά του πλοίου, την πατούρα και το αυλάκι κάτω από την πατούρα. Το γέμισμα με επιλογή ολόκληρης της περιοχής με πλέγμα τριγώνων επιλέγοντας το μενού Polygons > Defeature δημιουργεί λάθος πλέγμα τριγώνων, που δεν είναι προσαρμοσμένο στην περιβάλλουσα περιοχή. Για το λόγο αυτό έγινε σταδιακή αποκατάσταση σε τρεις φάσεις με διαδοχική επιλογή και γέμισμα της υποπεριοχής που ανήκει στην πλευρά του πλοίου, μετά γέμισμα της υποπεριοχής, που ανήκει στην πατούρα και τέλος της υποπεριοχής που ανήκει στο

αυλάκι κάτω από την πατούρα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στην εικόνα 4.26 διαπιστώθηκε, ότι έγινε αποκατάσταση του πλέγματος της περιοχής που προσαρμόστηκε πολύ καλά και δεν δημιουργεί δυσαρμονία στις περιβάλλουσες επιφάνειες.

Αποκατάσταση μεγάλων ανοικτών και κλειστών περιοχών, που δεν είχαν μετρήσεις, με πλέγμα τριγώνων.

Το παρακάτω παράδειγμα (Εικ. 4.27) περιλαμβάνει ανοικτές και κλειστές περιοχές της γάστρας του πλοίου, που περιβάλλονται από ομοιόμορφες επιφάνειες. Για την αποκατάσταση των κλειστών περιοχών επιλέχθηκε από το μενού Polygons η εντολή Fill Single>Complete και για την αποκατάσταση των ανοικτών περιοχών από το ίδιο μενού επιλέχθηκε η Fill Single>Partial. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η αποκατάσταση των πλεγμάτων τριγώνων στις περιοχές αυτές είναι πολύ καλά προσαρμοσμένες στις γύρω από αυτές περιοχές.

Δημιουργία πλέγματος τριγώνων στις κλειστές (α) και ανοικτές (β) περιοχές της γάστρας που δεν έχουν μετρήσεις



Αρχική μορφή της γάστρας και του κάτω μέρους αυτής, όπου φαίνονται οι γκρι περιοχές που δεν έχουν μετρήσεις με τον Laser Scanner

Επιλέγονται (κόκκινο χρώμα) οι κλειστές περιοχές (α) με το Polygons/Fill Single/Complete και οι ανοικτές περιοχές (β) με polygons/Fill Single/Partial

Δημιουργία πλέγματος τριγώνων στις επιλεγμένες περιοχές με Polygons/Fill Single

Εικόνα 4.27 Αποκατάσταση κλειστών και ανοικτών περιοχών

Διαγραφή επικαλυπτόμενων τριγώνων

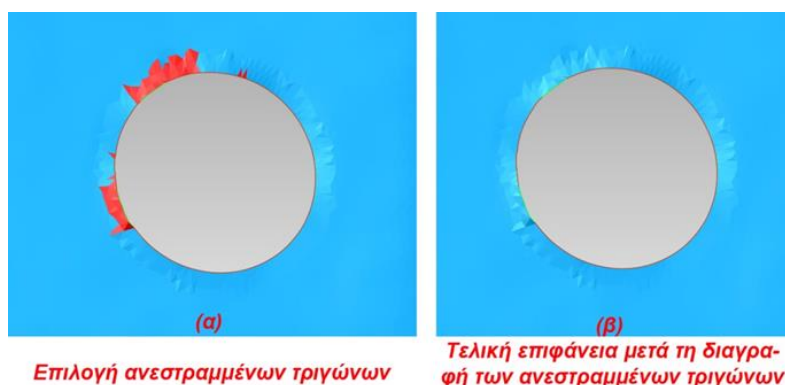
Η πληθώρα μετρήσεων, πολλές φορές επικαλυπτόμενων και τα υπάρχοντα σφάλματα, έχουν ως αποτέλεσμα ο αλγόριθμος δημιουργίας του πλέγματος τριγώνων στις συγκεκριμένες περιοχές να λειτουργεί με λάθος τρόπο και να δημιουργεί επικαλυπτόμενα τρίγωνα. Ο καθαρισμός των περιοχών αυτών γίνεται χειρωνακτικά και με πολύ προσοχή στην αναγνώριση των τριγώνων που πρέπει να διαγραφούν. Στην εικόνα 4.28(γ) φαίνεται η διορθωμένη εικόνα που είναι φανερά πιο ομαλοποιημένη από την αρχική.



Εικόνα 4.28 Διαγραφή επικαλυπτόμενων τριγώνων

Διαγραφή ανεστραμμένων τριγώνων

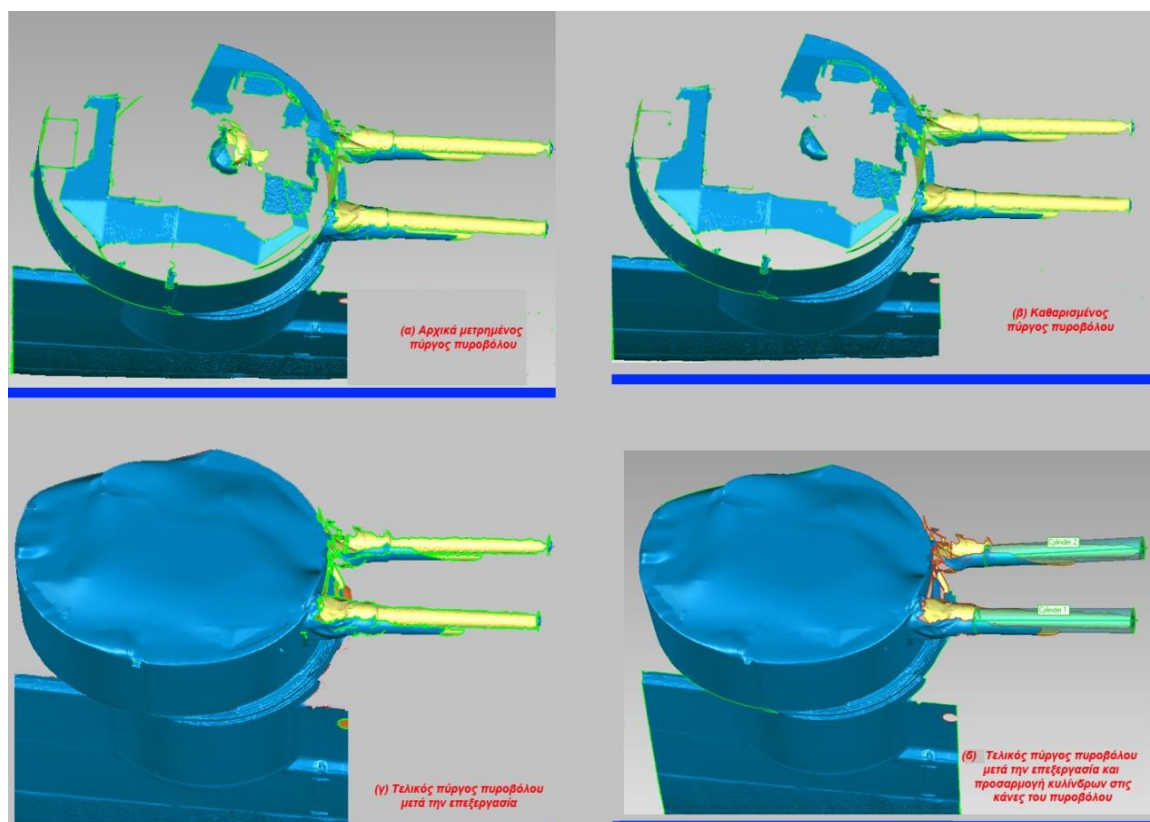
Ατέλειες ή έλλειψη των μετρήσεων σε συγκεκριμένες περιοχές του Θωρηκτού δημιουργούν ανεστραμμένα τρίγωνα, που χρωματίζονται με αντίστροφα χρώματα. Η επιλογή των ανεστραμμένων τριγώνων πρέπει γίνεται με μεγάλη προσοχή, για να μη διαγραφούν και τρίγωνα που δεν πρέπει (Εικ. 4.29).



Εικόνα 4.29 Διαγραφή ανεστραμμένων τριγώνων

Αποκατάσταση του πάνω μέρους του πύργου του πυροβόλου.

Η αποκατάσταση του πλέγματος τριγώνων στο πάνω μέρος του πύργου του πυροβόλου ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία, διότι υπήρχαν μεγάλα κενά χωρίς μετρήσεις. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ο πολύ καλός καθαρισμός (Εικ. 4.30(α)) από ανεστραμμένα και επικαλυπτόμενα τρίγωνα επιλέγοντας προσεκτικά την κάθε περιοχή με το κατάλληλο εργαλείο επιλογής και Delete.



Εικόνα 4.30 Επεξεργασία και αποκατάσταση του πάνω μέρους του πύργου του πυροβόλου και προσαρμογή γεωμετρικών σχημάτων (κυλίνδρων) στις κάννες του

Στη συνέχεια, έγινε η αποκατάσταση των κενών με τις εντολές Fill Holes>Fill single>Complete (για κλειστές περιοχές) και Partial (για ανοικτές περιοχές), χρήση της εντολής Manifold > Manifold (Open) για διαγραφή των ασύνδετων τριγώνων, χρήση της εντολής Smooth>Reduce noise για την ανίχνευση των λαθών του σαρωτή και μετακίνηση των σημείων σε σωστές θέσεις χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους, χρήση της εντολής Repair>Mesh Doctor για διόρθωση ατελειών του πλέγματος τριγώνων (Εικ. 4.30(γ)) και τέλος προσαρμόστηκαν στις κάννες του πυροβόλου κύλινδροι (γεωμετρικά σχήματα) με βάση τα σκαναρισμένα στοιχεία με την εντολή

Feature>Cylinder > Best fit (Εικ. 4.30(δ)). Η εμπειρία από την επεξεργασία αυτή είναι ότι είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, δεδομένου ότι χρειάστηκαν αρκετές εργατοώρες με αμφίβολα αποτελέσματα, διότι όπως φαίνεται και από το αποτέλεσμα το καμπύλο γεωμετρικό σχήμα του πάνω μέρους του πυροβόλου δεν αποδόθηκε σωστά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι για την ορθή απόδοση των λεπτομερειών του μοντέλου χρειάζεται πολύ καλός σχεδιασμός, ώστε να υπάρχουν σχεδόν παντού μετρήσεις με ελάχιστα κενά που η αποκατάστασή τους να μην επηρεάζει τη ρεαλιστική απόδοση του μοντέλου. Στις περιοχές που δεν είναι εφικτό να υπάρξουν μετρήσεις από επίγειο σαρωτή, πρέπει να συμπληρώνονται με ταχυμετρικές μετρήσεις.

Αποκατάσταση ανωμαλίας (εξόγκωμα) της πλευρικής επιφάνειας.

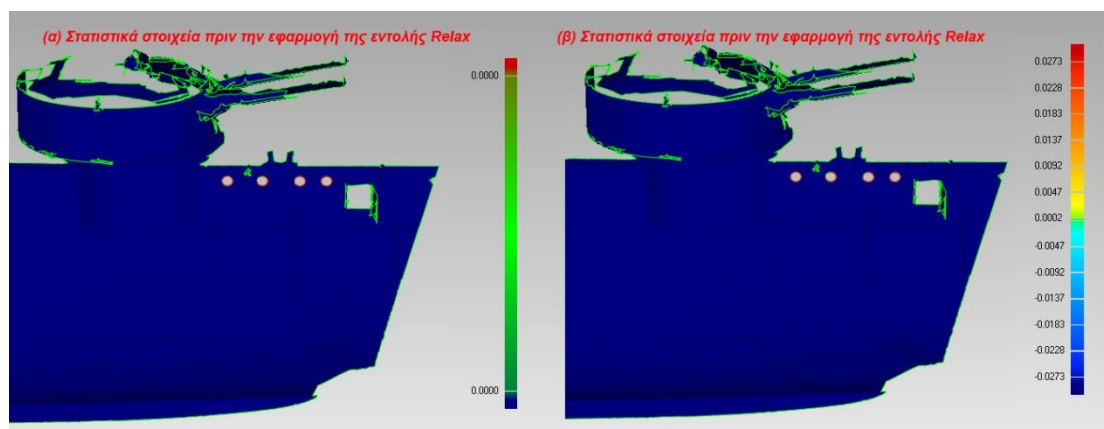
Η αποκατάσταση αυτή είναι σχετικά εύκολη διότι η υπάρχουσα ανωμαλία, είναι σχετικά μικρή (Εικ. 4.31). Γίνεται επιλογή του εξογκώματος με το Rectangle Selection Tool και καθαρίζεται με Delete. Αποκαθίσταται η τρύπα που δημιουργήθηκε, είτε επιλέγοντας το μενού Polygons > fill holes> fill single, είτε επιλέγοντας το μενού Polygons > Defeature. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο (βλ. την εικόνα 4.31).



Εικόνα 4.31 Αποκατάσταση ανωμαλίας στην επιφάνεια

Ομαλοποίηση του πλέγματος τριγώνων.

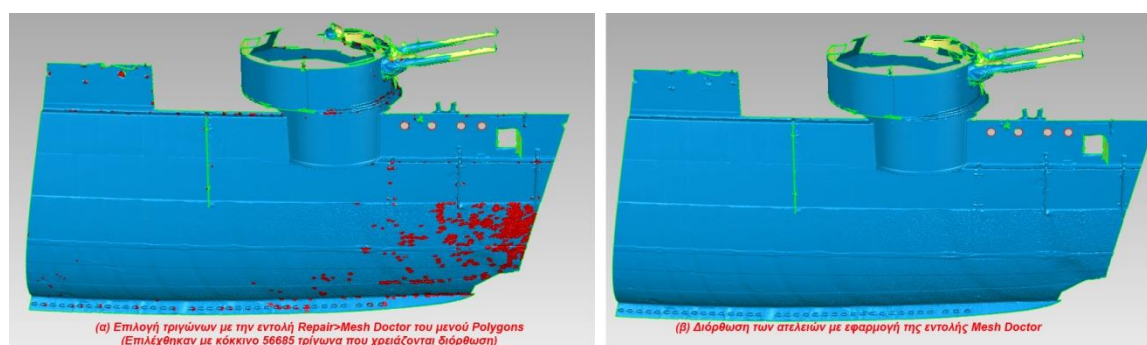
Η διαδικασία αυτή γίνεται με την εντολή Smooth>Relax του μενού Polygons ελαχιστοποιώντας τις γωνίες μεμονωμένων τριγώνων. Με την εντολή αυτή δεν διαγράφονται τρίγωνα, αλλά ομαλοποιείται το πλέγμα τριγώνων. Στην εικόνα 4.32 φαίνεται από τα στατιστικά στοιχεία η ομαλοποίηση του πλέγματος με τη χρήση της εντολής αυτής.



Εικόνα 4.32 Στατιστικά στοιχεία πριν και μετά την εφαρμογή της εντολής Relax

Διόρθωση ατελειών πλέγματος τριγώνων.

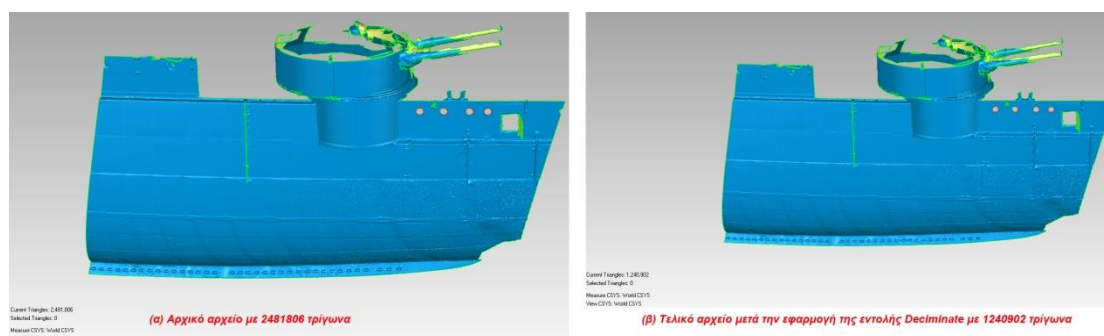
Η διαδικασία αυτή γίνεται με την εντολή Repair>Mesh Doctor του μενού Polygons. Επιλέχθηκαν και διορθώθηκαν 59685 τρίγωνα κυρίως στο κάτω δεξιό μέρος που υπήρχαν περιοχές με ατέλειες (βλ. την εικόνα 4.33).



Εικόνα 4.33 (α) Επιλογή και (β) Διόρθωση ατελειών πλέγματος τριγώνων

Μείωση αριθμού των τριγώνων

Με την εντολή αυτή μειώνεται ο αριθμός των τριγώνων, διαγράφοντας τα τρίγωνα που δεν συνεισφέρουν ή συνεισφέρουν ελάχιστα στη δημιουργία του μοντέλου και η αφαίρεσή τους δεν αφαιρεί γεωμετρικές ή χρωματικές λεπτομέρειες του μοντέλου. Στην περίπτωσή μας ο αριθμός των τριγώνων μειώθηκε σημαντικά από 2481806 σε 1240902 δηλαδή σε ποσοστό περίπου 50%. Αυτό διευκολύνει σημαντικά στην επεξεργασία, διότι το αρχείο που δημιουργείται είναι πολύ μικρότερο, χωρίς παράλληλα να χάσει τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά (Εικόνα 4.34).



Εικόνα 4.34 Μείωση του αριθμού του πλέγματος τριγώνων

Φάση 5^η - Συνένωση αρχείων πλεγμάτων

Μετά τις προαναφερόμενες διορθώσεις έγινε η συνένωση των πλεγμάτων ανά δύο, τα δημιουργούμενα νέα πλέγματα πάλι ανά δυο μέχρι να δημιουργηθεί το τελικό πλέγμα. Η συνένωση των πλεγμάτων έγινε με την χρήση των εντολών Combine και Merge του μενού Polygons. Με την εντολή Combine γίνεται συνένωση των πλεγμάτων, όμως το κάθε πλέγμα διατηρεί την αυτονομία του. Καθοριστική εντολή στη συνένωση των πλεγμάτων είναι η εντολή Merge διότι παρέχει πολύ περισσότερα εργαλεία και παραμέτρους που μπορεί να ορίσει ο χρήστης και δημιουργεί ένα νέο ενιαίο πλέγμα. Η εντολή αυτή χρησιμοποιήθηκε στη συνένωση των πλεγμάτων, διότι ελαττώνει το θόρυβο (σφάλματα), βελτιώνει την αποκατάσταση με πλέγμα τριγώνων των μικρών κενών, διορθώνει τα σχήματα των κανονικών γεωμετρικών σχημάτων, επιτρέπει να οριστεί το μέγεθος της μεγαλύτερης τρύπας με βάση τον αριθμό των τριγώνων που την περιβάλλουν και που θα αποκατασταθεί αυτόματα με πλέγμα τριγώνων, επιτρέπει να οριστεί η μέγιστη απόσταση μεταξύ των ομολόγων σημείων που βρίσκονται σε διαφορετικά πλέγματα, υπολογίζει την απαιτούμενη πυκνότητα των σημείων που

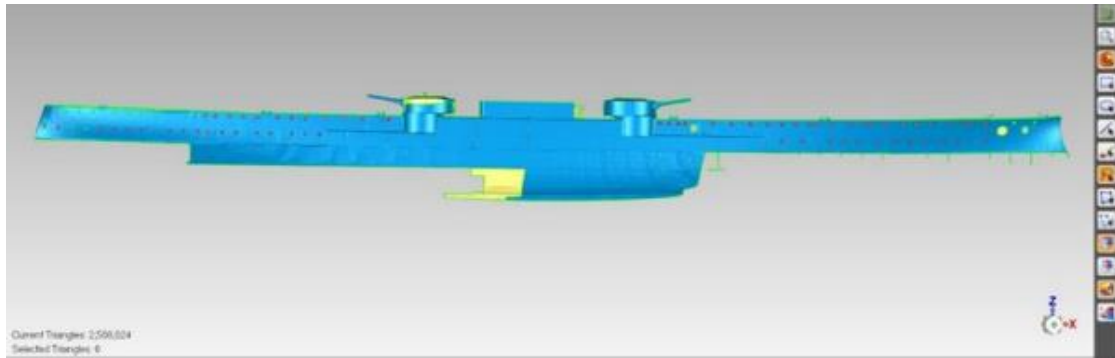
απαιτούνται στις αποκαταστάσεις πλεγμάτων τριγώνων, επιτρέπει την παράλληλη διατήρηση των επιμέρους πλεγμάτων με το τελικό πλέγμα, διορθώνει τις επικαλυπτόμενες περιοχές διαγράφοντας τα περιττά δεδομένα κλπ.

Φάση 6^η - Τελική επεξεργασία του συνολικού μοντέλου

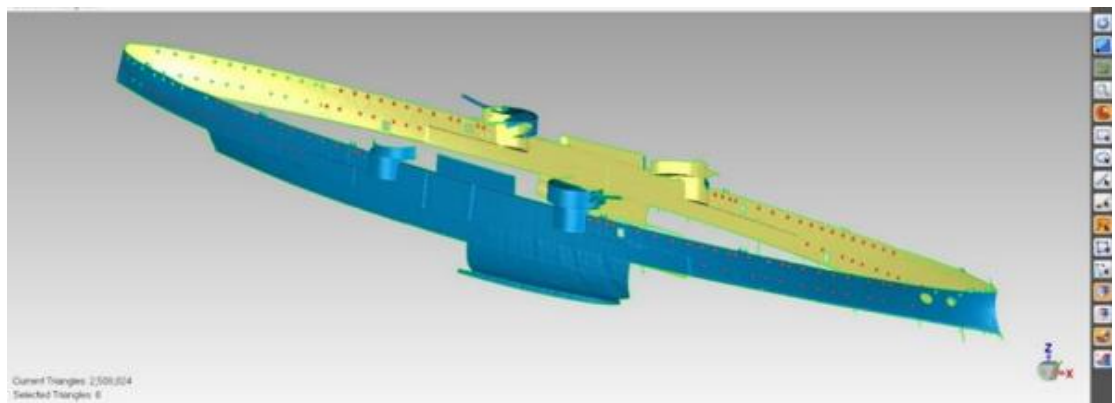
Μετά τις προαναφερόμενες διορθώσεις έγινε ο τελικός λεπτομερής έλεγχος στο πλέγμα τριγώνων του συνολικού μοντέλου που προέκυψε από την συνένωση των επιμέρους πλεγμάτων. Δηλαδή, έγινε διαγραφή των επικαλυπτόμενων και ανεστραμμένων τριγώνων, εντοπισμός και αποκατάσταση των τρυπών και των μικροπεριοχών που δεν είχαν μετρητική πληροφορία κλπ. Τέλος ομαλοποιήθηκαν τα όρια με την εντολή Smooth>Relax και διορθώθηκαν οι ατέλειες του πλέγματος με την εντολή Repair>Mesh Doctor του μενού Polygons. Η εκτέλεση της εντολής Repair>Mesh Doctor είναι πολύ σημαντική, διότι εκτελεί μια σειρά από διεργασίες με σκοπό τη βελτιστοποίηση του πλέγματος, όπως:

- Αφαίρεση σημείων με λάθος θέση, που δημιουργούν τοπικές ανωμαλίες.
- Βέλτιστη προσαρμογή του πλέγματος των τριγώνων στα σημεία που βρίσκονται κάτω από αυτά με τη χρήση πολύπλοκων αλγορίθμων.
- Τοπικός έλεγχος και διαγραφή των λάθος σχηματισμένων τριγώνων και αποκατάσταση της περιοχής αυτής με νέα κανονικά πλέγματα.
- Αποκαθιστά τυχόν κενά που υπάρχουν στο πλέγμα τριγώνων
- Εντοπίζει και διορθώνει τρίγωνα με πολύ οξείες γωνίες.
- Εντοπίζει και διαγράφει μικρές αυτόνομες ομάδες τριγώνων που αποτελούν θόρυβο.

Μετά και από αυτές τις διορθώσεις έγινε ξανά έλεγχος για διόρθωση μικροσφαλμάτων, που δεν είχαν γίνει με τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες των εντολών του Geomagic και έτσι προέκυψε το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του Θωρηκτού (εικόνα 4.35 και εικόνα 4.36).



Εικόνα 4.35 Συνολικό διορθωμένο πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»: Πλάγια δεξιά όψη (Πηγή: Ζορμπά Α., 2018.)



Εικόνα 4.36 Συνολικό διορθωμένο πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»: Πανοραμική άποψη από την δεξιά προραία πλευρά. (Πηγή: Ζορμπά Α., 2018.)

Σύγκριση πραγματικών αποστάσεων με τις αποστάσεις του παραγόμενου μοντέλου.

Προκειμένου να υπάρξει μια εικόνα για την ακρίβεια του παραγόμενου μοντέλου πλέγματος τριγώνων με την πραγματικότητα, ανιχνεύτηκαν χαρακτηριστικά σημεία του Θωρηκτού, μετρήθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ τους και συγκρίθηκαν με τις αποστάσεις πλέγματος. Τελικά, για λειτουργικούς λόγους αποφασίστηκε να συγκριθούν οι αποστάσεις μεταξύ των εξωτερικών περιμέτρων των φινιστρινιών με τις πραγματικές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.2 και έχουν Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα 0.010. Οφείλεται να τονιστεί ότι το πολύ καλό ΜΤΣ που προέκυψε είναι καθαρά ενδεικτικό, διότι για να είναι στατιστικά αξιόπιστο θα έπρεπε

να μετρηθούν αντιπροσωπευτικές αποστάσεις σε όλο το πλέγμα του μοντέλου και να συγκριθούν με τις πραγματικές, ειδικά στις περιοχές που υπάρχει αμφιβολία για την ακρίβεια του πλέγματος, όπως π.χ. σε περιοχές που δεν υπήρχαν μετρήσεις (κάτω μέρος της γάστρας κλπ.).

Απόσταση στο πλέγμα	Πραγματική απόσταση	Διαφορά
1,48	1,51	-0,03
1,501	1,482	0,019
1,464	1,491	-0,027
1,475	1,485	-0,01
1,471	1,485	-0,014
1,464	1,482	-0,018

Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα: 0.010

Πίνακας 4.2 Σύγκριση μετρημένων αποστάσεων με τις αντίστοιχες αποστάσεις του πλέγματος

Αυτό ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν εφικτό, διότι απαιτούσε πολύ χρόνο και πολλές από τις περιοχές αυτές δεν ήταν προσβάσιμες. Ακόμη, πολλά χαρακτηριστικά σημεία ήταν πολύ δύσκολο να εντοπισθούν στο τελικό μοντέλο. Εκτιμάται ότι το συνολικό ΜΤΣ που θα προέκυπτε από πολλαπλές δειγματοληπτικές μετρήσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες στο μοντέλο, ώστε να αντιπροσωπεύεται αξιόπιστα στατιστικά, θα ήταν μεγαλύτερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρείται μια αποτίμηση των ενεργειών και των προβλημάτων που προέκυψαν στο πλαίσιο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Αποτύπωση του Ιστορικού πλοίου Θ/Κ Γ. Αβέρωφ». Επίσης, θα αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο έγινε η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων και θα προταθούν εναλλακτικοί τρόποι εργασίας με στόχο την βελτιστοποίηση του τελικού αποτελέσματος. Το κεφάλαιο τέλος συμπεριλαμβάνει προτάσεις για περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου του ιστορικού πλοίου «Θ/Κ Γ.Αβέρωφ». Η γεωμετρική τεκμηρίωση του σκαριού και της επιφάνειας της γάστρας του, πραγματοποιήθηκε μέσα από συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων με γεωδαιτικές μεθόδους. Να σημειωθεί ότι ενώ ο αρχικός σκοπός της εργασίας ήταν η αποτύπωση του πλοίου ως κινούμενο αντικείμενο καθώς και η γεωμετρική τεκμηρίωση των υπερκατασκευών του, εφόσον μόνο αυτές θα ήταν διακριτές από την στιγμή που το αντικείμενο ευρίσκετο ελλιμενισμένο στη μόνιμή του θέση, στο Τροκαντερό, στη Μαρίνα Φλοίσβου. Έτσι λοιπόν, και με αυτά τα δεδομένα ολοκληρώθηκε η 1^η φάση των μετρήσεων, τον Μάρτιο - Απρίλιο του 2016, με 10 στάσεις εντός του καταστρώματος του πλοίου και 1 στάση στην αποβάθρα του. Στη συνέχεια όμως, το Θωρηκτό ήταν προγραμματισμένο να μετακινηθεί για εργασίες αναβάθμισης και συντήρησης με τη διαδικασία της ρυμούλκησης στα Ναυπηγεία του Σκαρμαγκαά. Αυτό το συμβάν ενώ στην αρχή δημιούργησε ερωτηματικά για την εξέλιξη της εργασίας, στην πορεία αποδείχθηκε πολύ ενδιαφέρον το γεγονός ότι υπήρχε η δυνατότητα να αποτυπωθεί και η γάστρα του πλοίου, πράγμα το οποίο δεν έχει ξανασυμβεί και δεν επρόκειτο να συμβεί για τα επόμενα χρόνια. Στο στάδιο αυτό λοιπόν, ολοκληρώθηκε και η 2^η φάση των μετρήσεων, τον Ιούνιο - Ιούλιο του 2017, με σαρώσεις περιμετρικά της δεξαμενής επισκευής του πλοίου σε 11 στάσεις, καθώς και πάνω στο κατάστρωμα αυτού σε 2 στάσεις οργάνου.

Η συλλογή δεδομένων έγινε με δύο επίγειους σαρωτές laser και συμπληρωματικά σύμφωνα με την τοπογραφική μέθοδο, με ένα γεωδαιτικό σταθμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλα τμήματα της επιφάνειας της γάστρας δεν αποτυπώθηκαν με τη μέθοδο του

laser scanner, διότι το μαύρο χρώμα του κοίλου του πλοίου απορροφά την ακτινοβολία laser. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να γίνει συμπληρωματικά και θερμογραφική αποτύπωση, μιας και η χρήση μόνο του επίγειου σαρωτή θεωρήθηκε ότι δεν είναι επαρκής διαδικασία. Παρ' όλα αυτά οι εικόνες αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν επειδή η ανάλυση τους ήταν χαμηλή και δεν συμβάδιζε με την ανάλυση των υπόλοιπων δεδομένων των σαρώσεων. Αποτέλεσμα της μελέτης είναι η παραγωγή ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου αποτύπωσης του Θ/Κ Γ. Αβέρωφ. Το μοντέλο αυτό μπορεί να λειτουργήσει ως αφόρμιση για την αποτύπωση ολόκληρου του θωρηκτού ή παρόμοιων πλοίων σε μελλοντικές μελέτες. Επίσης, θα ήταν χρήσιμο να ληφθούν υπόψη τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σε μελλοντικές έρευνες παρόμοιου ενδιαφέροντος.

Συμπληρωματικά από την παρούσα εργασία προκύπτουν τα εξής:

- Η αποτύπωση και η κατασκευή του μοντέλου απαιτεί μια πολύ προσεκτική και εμπειρισταωμένη μελέτη στο σχεδιασμό της, δεδομένου ότι πέρα από το τεχνικό μέρος πρέπει να εξετασθούν και άλλοι παράγοντες, όπως οι χρονικές περίοδοι προσβασιμότητας στο χώρο του Θωρηκτού, οι καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, ένταση του ανέμου κλπ), ο χρόνος διαθεσιμότητας των οργάνων μέτρησης (επίγειοι σαρωτές, ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, θερμικές κάμερες, GPS), η ασφάλεια του χώρου κλπ.
- Η συλλογή των υπαρχόντων πληροφορικών στοιχείων για το Θωρηκτό, όπως ιστορικών στοιχείων, κειμένων, σκαριφημάτων, τεχνικών σχεδίων, φωτογραφιών, υλικό προηγούμενων αποτυπώσεων και σχετική βιβλιογραφία, βοηθάει σημαντικά στην όσο το δυνατόν πιο πιστή αναπαράσταση του μοντέλου.
- Είναι απαραίτητη η λεπτομερής αυτοψία και λήψη πληθώρας φωτογραφιών, ειδικά των σημείων λεπτομερειών, διότι χρησιμοποιούνται ως οδηγοί για τη σωστή διόρθωση των νεφών και των πλεγμάτων στην επεξεργασία των νεφών των σημείων και των πλεγμάτων.

- Απαιτείται η συμπλήρωση των μετρήσεων των επίγειων σαρωτών με γεωδαιτικές μετρήσεις, τόσο των σημείων λεπτομερειών, όσο και των τεχνητών στόχων. Ακόμη πρέπει συμπληρωματικά να ληφθούν τα γεωμετρικά στοιχεία (διάμετροι ή ακτίνες, ύψη, αποστάσεις κλπ) για τις υπερκείμενες κατασκευές του καταστρώματος και όχι μόνο (πυροβόλα, φινιστρίνια κλπ), προκειμένου να συγκριθούν με τα αντίστοιχα δεδομένα των επίγειων σαρωτών και όπου πρέπει να γίνουν διορθώσεις. Να σημειωθεί πως για μια τέτοια εφαρμογή όπως η συγκεκριμένη με πολύπλοκη γεωμετρική πληροφορία όπου χρειάζονται να πραγματοποιηθούν αρκετές σαρώσεις από πολλές στάσεις οργάνου, η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και ειδικότερα η επιλογή του laser scanner είναι σημαντική εάν αυτό είναι εφικτό. Και αυτό γιατί στη συγκεκριμένη εφαρμογή λόγω των πολλαπλών επιπέδων στο κατάστρωμα του πλοίου και των εμποδίων λόγω εργασιών συντήρησης υπήρξε δυσκολία στη μετακίνηση του οργάνου διότι καταλάμβανε μεγάλος βάρος.
- Ο χρόνος των μετρήσεων αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτύπωσης με τρισδιάστατο σαρωτή laser σε σχέση με την εφαρμογή γεωδαιτικών μεθόδων.
- Για τη συνένωση των νεφών, υποθέσαμε ότι τα νέφη της 1^{ης} περιόδου (Μαρίνα Φλοίσβου) και της 2^{ης} περιόδου (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά) ήταν της ίδιας ακρίβειας. Ωστόσο με δεδομένο ότι το Θωρηκτό στην 1^η περίοδο των μετρήσεων υφίστατο μικρομετακινήσεις, λόγω ελαφρού κυματισμού, ενώ τη 2^η περίοδο ήταν σταθεροποιημένο, μας δημιούργησε ερωτηματικά. Εκτιμάται ότι την 1^η περίοδο των μετρήσεων θα έπρεπε να ιδρυθεί στο σταθερό έδαφος περίξ του πλοίου δίκτυο μικροτριγωνισμού υψηλής ακρίβειας. Με τη βοήθεια του δικτύου αυτού να εκτελούνται συνεχείς διαχρονικές μετρήσεις των τεχνητών στόχων που θα είχαν τοποθετηθεί στο Θωρηκτό σε κατάλληλες θέσεις, καθώς και χαρακτηριστικών σημείων λεπτομερειών, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ομόλογα σημεία. Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων αυτών θα προσδιορίζονταν οι θέσεις των μετρημένων σημείων συναρτήσει του χρόνου και θα συντάσσονταν τα απαραίτητα νομογράμματα, που θα βοηθούσαν στη διόρθωση των συντεταγμένων των στόχων και των χαρακτηριστικών σημείων τις χρονικές στιγμές των σαρώσεων από τους επίγειους σαρωτές.

Παρότι η διαδικασία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε, διότι απαιτούσε επιπλέον, χρόνο και κόστος, εκτιμάται ότι αποτελεί ένα ενδιαφέρον αντικείμενο περαιτέρω μελέτης και έρευνας.

- Από την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψε ότι η χρήση τεχνητών στόχων βοηθάει σημαντικά στην αποφυγή λαθών στη συνένωση των νεφών των σημείων, διότι εντοπίζονται με ακρίβεια κατά την επεξεργασία των δεδομένων και οι συντεταγμένες τους έχουν προσδιοριστεί με ακρίβεια με ταχυμετρικές μετρήσεις ή με GPS. Βασικός κανόνας χωροθέτησης των στόχων είναι να μη τοποθετούνται σε ευθείες ή σχεδόν ευθείες γραμμές, αλλά να κατανέμονται ομοιόμορφα και στις τρεις διαστάσεις. Η χρήση ομολόγων χαρακτηριστικών σημείων για τη συνένωση των νεφών θα πρέπει να περιορίζεται μόνο, όπου δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνητούς στόχους, π.χ. σε περιοχές που δεν έχουμε προσβασιμότητα ή όπου η τοποθέτηση τεχνητών στόχων θα κρύψει σημαντικές λεπτομέρειες ή θα προκαλέσει ζημιές.
- Ο ορισμός της ορθής ανάλυσης σάρωσης είναι υψίστης σημασίας. Πολύ υψηλές αναλύσεις δημιουργούν μεγάλο όγκο αρχείων δύσκολα διαχειρίσιμων από συμβατούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, πράγμα που καθιστά δύσκολη την επεξεργασία τους, χωρίς παράλληλα να αυξάνουν την ακρίβεια του μοντέλου που θα κατασκευαστεί. Αντίθετα, χαμηλές αναλύσεις δημιουργούν μεν μικρά επεξεργάσιμα αρχεία, αλλά μειώνουν την επιθυμητή ακρίβεια του μοντέλου. Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας, υπάρχουν μελέτες με πίνακες που καθορίζουν την απαιτούμενη ανάλυση σάρωσης, προκειμένου να αποδοθεί ένα αντικείμενο με συγκεκριμένη πιθανότητα επιτυχίας που φτάνει και το 95%.
- Η χωροθέτηση των στάσεων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις με τους επίγειους σαρωτές είναι καθοριστική. Πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια του πλοίου και να υπάρχει επικάλυψη των διαδοχικών νεφών τουλάχιστον κατά 30% έως 40%. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η απόσταση των σαρωτών από το Θωρηκτό, διότι οι ακτίνες laser εξασθενούν με την αύξηση της απόστασης.

- Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων laser. Πολύ οξείες γωνίες πρόσπτωσης μειώνουν την ακρίβεια σε σχέση με τις ορθές ή σχεδόν ορθές γωνίες, διότι δημιουργούν μεγαλύτερο και ακανόνιστο ίχνος.
- Η χρήση GPS και ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού για συμπληρωματικές μετρήσεις είναι σημαντική κυρίως στο προσδιορισμό των συντεταγμένων των τεχνητών στόχων και σημείων λεπτομερειών, που στην επεξεργασία των μετρήσεων θα δημιουργούσαν αμφιβολίες για την θέση τους και δεν θα ήταν εύκολα αναγνωρίσιμες.
- Γενικά οι Laser scanners αποτελούν σημαντικό και αξιόπιστο εργαλείο στην αποτύπωση μνημείων. Η δυνατότητά τους να μετρούν εκατομμύρια σημεία σε ελάχιστο χρόνο με σημαντική ακρίβεια, αποτελεί ίσως το μοναδικό εργαλείο τρισδιάστατης απεικόνισης μνημείων με την απαιτούμενη ακρίβεια. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η δημιουργία μιας πλήρους ψηφιακής βάσης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς με μεταδεδομένα. Η βελτίωση των δυνατοτήτων των Laser scanners, η βελτίωση των λογισμικών επεξεργασίας που τους υποστηρίζουν και η συσσώρευση εμπειρίας και ερευνητικών εργασιών θα βοηθήσουν σημαντικά στην κατεύθυνση αυτή. Μια τέτοια ψηφιακή βάση, που θα αποτελεί ένα πολύτιμο θησαυρό για τις επόμενες γενεές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς λόγους και να αποτελέσει τη βάση για την εκπόνηση μελετών.
- Λόγω του μεγάλου αριθμού δεδομένων που αποκτήθηκαν, δημιουργείται δυνατότητα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Στο πλαίσιο επέκτασης της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε η συγκεκριμένη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε πιθανό συνδυασμό με φωτογραμμετρικές μεθόδους να δώσει ένα πιο ολοκληρωμένο τρισδιάστατο μοντέλο, συμπεριλαμβανομένων και των υπερκατασκευών του Θωρηκτού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ε λ λ η ν ι κ ή

Αλούρδας, Π., 2014. Τα ναυπηγικά χαρακτηριστικά του «Γ. Αβέρωφ». Ημερήσια ηλεκτρονική εφημερίδα: Ελεύθερη Ζώνη, 4 Απρίλιος, Issue 2938.

Ανδρουλάκη, Θ., 2018, Χανιά, Μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο: Τρισδιάστατη μοντελοποίηση: Δυναμικό εργαλείο στην ψηφιακή αναπαράσταση για την ανάδειξη και προβολή της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η περίπτωση του καθολικού της Ενετικής Μονής του Αγ. Φραγκίσκου- Αρχαιολογικό Μουσείο Χανίων.

Ζορμπά Α., Διπλωματική Εργασία, 2018. Η ψηφιακή τρισδιάστατη τεκμηρίωση για την διατήρηση της ναυτικής κληρονομιάς: Εφαρμογή στο Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Ζωγραφάκης, Ε.Ν., Στοιχεία Ναυπηγίας, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2002

Κολλινιάτης, Ι.Ε. Ναυπηγία. Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1982

Πουλής, Α., & Χατζηκωνσταντής, Γ.Κ., Ναυπηγικό Σχέδιο, Γεωμετρία του Πλοίου. Αθήνα 2003

Χατζηκωνσταντής, Γ.Κ. Ναυπηγικό Σχέδιο. Αθήνα, 2010.

Χατζηκωνσταντής, Γ.Κ., Ναυπηγικό Σχέδιο και αρχές casd. Ενότητα 4. Γεωμετρία του Πλοίου. Έκδοση 1.0, Αθήνα, 2014.

Χριστοδούλου, Ο., Χρήση Επίγειου Σαρωτή. Γεωμετρική Τεκμηρίωση Παραδοσιακού Σκάφους, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2014

Ξενογλωσση

ArcGIS Help, Environmental Systems Research Institute (“ESRI”), 380 New York Street, Redlands, California 92373-8100 USA.

Barber, D., J. Mills, and P. Bryan. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage. In Proc. of the XXth ISPRS Congress on GeoImagery Bridging Continents, Vol XXXV, Part B5, 2003.

Balzani, M., et al. A terrestrial 3D laser scanner: Accuracy tests. In Proceedings of the 18th Int. Symp. CIPA 2001- Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites - Traditional and Modern Methods, Potsdam, Germany. 18–21 September, 2001

Boehler, W., M. Bordas, and A. Marbs. Investigating laser scanner accuracy. In Proc. CIPA XIXth Int. Symposium. Antalya, Turkey. 30 September-04 October 2003.

Clark, J. and S. Robson. Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 laser scanner against surfaces of known colour. In Proc. of XXth ISPR 2004 - Geo-Imagery Bridging Continents. Istanbul, Turkey. 12-23 July 2004

Fraccaroli, Aldo (1970). Italian Warships of World War I. London: Ian Allan. ISBN 0-7110-0105-7.

Gruen, A. and Akca, D., 2005. Least squares 3D surface and curve matching. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59(3): 151–174.

Gruen, A., 2007. Laser scanning: blackbox or braintwister? GeoInformatics, 10(7): 49–51. Ingesand, H., A. Ryf, and T. Schulz. Performances and experiences in terrestrial scanning. In Proc. 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques. Zurich, Switzerland, pp. 236-244. 22-25 September 2003

Johansson, M. Explorations into the behavior of three different high-resolution ground-based laser scanners in the built environment. In Proceedings of the CIPA WG6 Int. Workshop on scanning for cultural heritage recording, Corfu, Greece. 1-2 September, 2003.

Kern, F., Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3DLaserscannerdaten. Technischen Universität Braunschweig. 2003

Lichti, D., M. P. Stewart, M. Tsakiri and A. J. Snow. Calibration and testing of a terrestrial laser scanner. In Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 33 (B5/2), pp. 485-492. 2000.

Lichti, D., Gordon, S. J., Stewart, M. P., Franke, J. and Tsakiri, M., Comparison of digital photogrammetry and laser scanning. In Proc. of the CIPA WG6 Int. Workshop on scanning for cultural heritage recording, pp. 39 – 44. Corfu, Greece, 1-2 September, 2002.

Pfeifer, N. and C. Briese. Laser scanning – principles and applications. In GeoSiberia, European Association of Geoscientists & Engineers , Conference Proceedings, GeoSiberia , 2007

Santana-Quintero, M. et al., 2008. 3D risk mapping - theory and practice on terrestrial laser scanning - training material based on practical applications. 4 ed. s.l.:VLAAMS LEONARDO DA VINCI AGENTSCHAP v.z.w..

WWW, English_Heritage. 3D Laser Scanning for Heritage, Advice and Guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. 2007 [Cited 01/07/2008];

WWW, English_Heritage. An addendum to the metric survey specifications for english heritage – the collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods. 2006. [Cited 01/07/2008]; Available from:

M. Tsakiri, V. Pagounis, O. Arabatzi. Evaluation of a pulsed terrestrial laser scanner based on ISO standards. *Surface Topography: Metrology and Properties*, Vol. 3, No 1, 015006.

V. Pagounis, M. Tsakiri, v. Zacharis, V. Andritsanos, M. Tsiardaki. Detection of Geometric Changes for an Historic Theatre by Comparing Surveying Data of Different Chronological Periods. *Journal of Cultural Heritage*. Volume 21, September - October 2016, pp 860 – 868.

G. Hloupis, V. Pagounis, M. Tsakiri, G. Doxastakis, V. Zacharis. Low-cost warning system for the monitoring of the Corinth Canal. *Applied Geomatics*, Springer Berlin Heidelberg, DOI <https://doi.org/10.1007/s12518-017-0196-9>, pp 1-15

G.S. Vergos, V.D. Andritsanos, V.N. Grigoriadis, V. Pagounis, I.N. Tziavos. Evaluation of GOCE/GRACE GGMs over Attica and Thessaloniki, Greece, and Wo determination for height system unification. *Proceedings of the IGFS2014 Meeting of the IGFS, International Association of Geodesy Symposia Vol. 145*, Springer Berlin Heidelberg New York. doi: 10.1007/1345_2015_53.

Vassilios D. Andritsanos, Orthodoxia Arabatzi, Vassilios Pagounis, and Maria Tsakiri (2017). Quality Control of Height Benchmarks in Attica, Greece, Combining GOCE/GRACE Satellite Data, Global Geopotential Models and Detailed Terrain Information.

O. Arabatzi, V. Pagounis, M. Tsakiri (2011). Experience in recording cultural heritage using modern geodetic techniques-monument at the Acropolis of Athens. Πρακτικά στο TS06E - Laser Scanning and Photogrammetry, 4992, FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures Marrakech, Morocco, 18-22, May 2011.

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ritaKqM3V44J:geo.teicm.gr/ojs/index.php/Chorografies/article/download/32/44+&cd=1&hl=el&ct=clnk&gl=gr>

V. Pagounis, G. Hloupis, E. Vassilakis, V. Zacharis, M. Tsakiri (2016). Integrating wireless sensor networks and geodetic techniques for slope stability monitoring in the Corinth Canal.

V. Pagounis, S. Vlizon, M. Tsakiri, C. Commez, N. Demir (2018). The use of geodetic techniques in the documentation of an archaeological excavation site. Submission to FIG Congress 2018 in Instabul, Turkey, 6-11 May.

Ιστοτόποι

<http://www.hellenicnavy.gr>

<https://www.tovima.gr/2019/09/01/society/thorikto-averof-to-aittito-ploio-thrylos-tou-polemikou-naytikou/>

<https://geetha.mil.gr/>

<http://www.elzoni.gr/html/ent/789/ent.43789.asp>

<https://averof.mil.gr/istoria-pliedi/>

<https://www.laserscanning-europe.com/en/news/correct-resolution-laser-scanning>

<http://scanning.fh-mainz.de>. [Cited 20/12/2007]

<https://www.laserscanning-europe.com/en/news/correct-resolution-laser-scanning>

https://www.researchgate.net/publication/342584351_Editing_Cumulated_Landscape_s_Point_Cloud_Modeling_as_a_Method_of_Analysis_in_Landscape_Design

<https://www.laserscanning-europe.com/en/news/correct-resolution-laser-scanning>

https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=&utm_term=||&utm_content=||none&keyword=3d%20laser%20scanning&gclid=Cj0KCQiA9OiPBhCOARIsAI0y71A0nwsSFTImbA21N1NhOcSY8LEmBNhpoMNXn3ZBWoOAuhbBY_pXMncaAvSfEALw_wcB