



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**

Τομέας Τοπογραφίας

Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

---

**Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ:  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ Θ/Κ «Γ. ΑΒΕΡΩΦ»**

---

**Διπλωματική Εργασία**

της

**Άλκηστης Ζορμπά**

**Επιβλέπουσα**  
Μαρία Τσακίρη  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Οκτώβριος 2018

*Η σελίδα αυτή έχει αφεθεί σκόπιμα κενή*



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY  
OF ATHENS**

**School of Rural and Surveying Engineering**

Department of Topography

Laboratory of General Geodesy

---

**DIGITAL 3D DOCUMENTATION FOR MARITIME  
HERITAGE PRESERVATION:  
THE CASE OF B/S “G. AVEROF”**

---

**Diploma Thesis**

by

**Alkistis Zormpa**

**Supervisor**

Maria Tsakiri  
Professor N.T.U.A.

October 2018

*This page intentionally left blank*

**Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**

Τομέας Τοπογραφίας

Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας



**ΕΘΝΙΚΟ  
ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ:  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ Θ/Κ «Γ. ΑΒΕΡΩΦ»**

**Διπλωματική Εργασία  
της Άλκηστης Ζορμπά**

**Επιβλέπουσα:**

**Μαρία Τσακίρη**

**Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

Αθήνα,

Οκτώβριος 2018

.....  
© Copyright 2018

Άλκηστις Ζορμπά

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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

Η Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς απασχολεί τις τελευταίες δεκαετίες ολοένα και περισσότερο τον τομέα των αποτυπώσεων με ένα πλήθος εφαρμογών επί ιστορικών κατασκευών και χώρων μικρής ή μεγάλης κλίμακας. Από την περίπτωση των ιστορικών μνημείων δεν θα μπορούσαν να παραλειφθούν τα επιζώντα μεγάλα ιστορικά πλοία, που είτε αποτέλεσαν τεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής τους είτε διαδραμάτισαν με τον έναν ή τον άλλον τρόπο καθοριστικό ρόλο στον ρου της παγκόσμιας ή εθνικής ιστορίας μιας χώρας.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μια προσπάθεια προς την Διατήρηση της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς μέσω της εφαρμογής της ψηφιακής τρισδιάστατης τεκμηρίωσης του ιστορικού πολεμικού πλοίου Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Το «Γ. Αβέρωφ» κατασκευάστηκε το 1911 για την ενίσχυση του τότε Βασιλικού Πολεμικού Ναυτικού. Σήμερα αποτελεί το Πλωτό Ναυτικό Μουσείο Θωρηκτό «Γεώργιος Αβέρωφ» αλλά και το μοναδικό στον κόσμο δείγμα πλοίου του τύπου του που διατηρείται έως και σήμερα. Αποτελεί μια πολύπλοκη γεωμετρικά κατασκευή και για την αποτύπωσή του επιλέχθηκε η εφαρμογή της μεθόδου επίγειας σάρωσης laser με σκοπό την δημιουργία του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου επιφανείας του πλοίου μέσα από την επεξεργασία νεφών σημείων (*point clouds*).

Η διεξαγωγή των μετρήσεων για την αποτύπωση του πλοίου πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις : την πρώτη στην θέση ελλιμενισμού του στην Μαρίνα Φλοίσβου και την δεύτερη στα Ναυπηγεία Σκαραμαγκά. Στις εργασίες υπαίθρου χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τρεις επίγειοι σαρωτές laser (ScanStation 2 και P 30/40 της Leica, Focus<sup>M</sup> 70 της FARO), ενώ συμπληρωματικά εφαρμόστηκε η τοπογραφική μέθοδος με χρήση γεωδαιτικού σταθμού και πραγματοποιήθηκε η θερμογραφική αποτύπωση του πλοίου με χρήση θερμοκάμερας.

Για την επεξεργασία των δεδομένων από 23 συνολικά σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν με τον ScanStation 2 και των νεφών σημείων που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τους άλλους δύο σαρωτές, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Cyclone της Leica και Geomagic Studio της 3D Systems : το πρώτο για την συνένωση των νεφών σημείων σε ένα ενιαίο νέφος της τάξης των 200,000,000 σημείων (Μ.Τ.Σ. : 1.9 cm) και τον διαχωρισμό του σε μικρότερα τμήματα για την ευκολότερη περαιτέρω επεξεργασία τους, το δεύτερο για την μετατροπή των νεφών σε πλέγματα τριγώνων και την συνένωσή τους σε ένα ενιαίο πλέγμα.

Τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας ήταν η τρισδιάστατη απεικόνιση σε πλέγμα τριγώνων (*mesh*) του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», με σημαντική αδυναμία την απουσία γεωμετρικής πληροφορίας για το μαύρου χρώματος τμήμα του, το οποίο δεν ήταν δυνατό να αποτυπωθεί με τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Για την εκτίμηση της ακρίβειας του

τελικού πλέγματος, πραγματοποιήθηκε η σύγκρισή του με το αντίστοιχο νέφος σημείων η οποία ανέδειξε ταύτιση των δύο αρχείων στο μεγαλύτερο (μέσο) τμήμα του κοίλου με ακρίβεια  $\pm 1\text{cm}$ , ενώ η συνολική σύμπτωση των δύο αρχείων παρουσίασε Μ.Τ.Σ. της τάξης των  $41\text{cm}$ . Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε σύγκριση του πλέγματος με τα δεδομένα της τοπογραφικής μεθόδου δίνοντας τυπική απόκλιση των  $2\text{cm}$  περίπου. Από την διαδικασία μοντελοποίησης εξαιρέθηκε η απεικόνιση καταστρώματος-υπερκατασκευής εξαιτίας των προβλημάτων που παρουσίασε η επεξεργασία των σχετικών δεδομένων αλλά και των απαιτήσεων του εγχειρήματος.

Η διαδικασία μοντελοποίησης στο περιβάλλον του Geomagic, τα αποτελέσματα καθώς και τα προβλήματα που προέκυψαν από αυτήν και κατά την διάρκειά της, ανέδειξαν τις αδυναμίες των εργασιών πεδίου, την έλλειψη κατευθυντήριων γραμμών για την εφαρμογή τέτοιων εγχειρημάτων και την ανάγκη ανάπτυξης σχετικού πλαισίου για την ψηφιακή τεκμηρίωση της ναυτικής πολιτιστικής κληρονομιάς.



# Abstract

During the last decades, Cultural Heritage Preservation has increasingly become a focus point in the field of surveying, with numerous applications on historical landmarks of smaller or larger scale. As far as cultural monuments are concerned, surviving vessels of historic importance should also be included, either as examples of technological breakthrough of their time or for their role in the course of national or global history.

This study aims to upkeep the Maritime Cultural Heritage through the application of digital three-dimensional documentation on the historical armored cruiser HS “Georgios Averof”.

“Georgios Averof” was constructed in 1911 and was commissioned to reinforce the Royal Hellenic Navy. Today she serves as a floating museum and is the only surviving battleship of her class worldwide. She is a construction of high geometrical complexity which makes Terrestrial Laser Scanning the most suitable method for her surveying, in order to create a three-dimensional digital surface model of the vessel, through the processing of point cloud data.

For the purpose of the study, data acquisition was conducted in-situ of “G. Averof” in two sessions: the first took place at her berthing location at Trocadero quay, Faliro, while the second at the Hellenic Shipyards, in Skaramagas. During the field work, 3 terrestrial laser scanners were employed (Leica’s ScanStation 2 and P 30/40, and FARO’s Focus<sup>M</sup> 70), supplemented by a geodetic method with the use of a total station as well as a thermal imaging survey of the vessel with the use of a thermal camera.

Data from twenty three scans using ScanStation 2, and the point clouds from the two other scanners, were processed using Leica’s Cyclone and 3D Systems’ Geomagic Studio software. Cyclone was used for the registration of the point clouds in order to form a single cloud in the range of 200,000,000 points (R.M.S.: 1.9 cm) and the later’s segmentation to facilitate further processing. Geomagic Studio was used to convert the point clouds to meshes and to combine them into a single mesh.

The process resulted in a three-dimensional visualization of the hull of “G. Averof” through the triangulation of its surface, presenting a significant flaw: the lack of spatial information concerning the part of the hull painted in black colour. That part of the hull was impossible to survey using the equipment employed in this study. Comparison of the final mesh with the equivalent point cloud was conducted for accuracy inspection of the mesh, and showed a match of  $\pm 1$ cm accuracy between the two files/objects, as far as the middle part of the hull is concerned, while the total matching of the two showed a R.M.S. of 41 cm. Furthermore, the final mesh was compared to the data resulting from the geodetic method, showing a S.D. of 2cm. The vessel’s deck

and superstructure were excluded from the modelling process, due to issues with processing their related point cloud data, as well as the particular modelling requirements for these sections of the vessel.

The modelling process using Geomagic, its results, as well as issues related with or encountered during the process, showcased the flaws of the field work, the lack of existing guidelines for undertaking such projects, and the need to establish a framework for the digital documentation of Maritime Cultural Heritage.

# Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία συντάχθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών μου στην Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, επιτεύχθηκε με την πολύτιμη συμβολή ορισμένων ανθρώπων τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ευχαριστώ θερμά την κα Μαρία Τσακίρη, Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος αλλά και κατά την εκπόνησή του, για την επίβλεψη και διόρθωση της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την αμέριστη υποστήριξή της που με συνόδευσε από την πρώτη μέχρι την τελευταία στιγμή.

Ευχαριστώ τον Κυβερνήτη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» Πλοίαρχο Σ. Χαραλαμπόπουλο ΠΝ και το προσωπικό του πλοίου για την βοήθεια τους και την διάθεση των ναυπηγικών σχεδίων του πλοίου.

Τις ευχαριστίες μου οφείλω στην Metrica AE για την βοήθειά της και την διάθεση των γεωδαιτικών δεδομένων και την JGC AE για την βοήθειά της στο στάδιο συλλογής των δεδομένων για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης.

Ευχαριστώ επίσης, το Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Τ.Ε.Ι. Αθήνας και συγκεκριμένα, τον κο Βασίλειο Παγούνη, καθηγητή του τμήματος, για την διάθεση του χώρου και των λογισμικών επεξεργασίας.

Ακόμα, ευχαριστώ την συνάδελφο Ευσταθία για την βοήθειά της στο στάδιο εκμάθησης του οργάνου καθώς και τους συναδέλφους Ειρήνη, Βασίλη και Νίκο για την συμμετοχή και την βοήθειά τους κατά τις εργασίες πεδίου αλλά και στο στάδιο της επεξεργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και ολόψυχα την οικογένεια, τους φίλους και τον σύντροφό μου για την αγάπη, την υποστήριξη και την βοήθειά τους, πρακτική και ψυχολογική, όλα τα χρόνια που είναι κοντά μου και είμαι κοντά τους και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς και τον αδελφό μου για την φροντίδα, την στήριξη και όλα όσα μου έδωσαν και μου δίνουν απλόχερα.

Άντε...και καλή τύχη μάγκες!

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	vii
Abstract.....	ix
Ευχαριστίες.....	xi
Περιεχόμενα.....	xii
Κατάλογος Σχημάτων .....	xiv
Κατάλογος Εικόνων.....	xv
Κατάλογος Πινάκων .....	xx
<b>1 Εισαγωγή.....</b>	<b>21</b>
1.1 Πρόλογος.....	21
1.2 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας.....	23
1.3 Δομή της Εργασίας.....	24
<b>2 Η Τεκμηρίωση της Ναυτικής Κληρονομιάς.....</b>	<b>25</b>
2.1 Μέθοδοι Αποτύπωσης Μεγάλων/Ιστορικών Πλοίων.....	25
2.1.1 Η Εμπειρική Μέθοδος.....	26
2.1.2 Η Τοπογραφική Μέθοδος.....	27
2.1.2.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Τοπογραφικής Μεθόδου.....	28
2.1.3 Η Φωτογραμμετρική Μέθοδος.....	30
2.1.3.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Φωτογραμμετρικής Μεθόδου.....	31
2.1.3.2 Παραδείγματα Εφαρμογής της Φωτογραμμετρικής Μεθόδου.....	32
2.1.4 Η Μέθοδος Σάρωσης με Laser.....	34
2.1.4.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Μεθόδου Σάρωσης με Laser.....	38
2.1.4.2 Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Σάρωσης με Laser.....	41
2.1.5 Εναλλακτικές Μέθοδοι.....	43
2.2 Το Αντικείμενο Μελέτης: Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	44
2.2.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	44
2.2.2 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά & Κύρια Στοιχεία του Πλοίου.....	48
2.3 Η Μεθοδολογία Αποτύπωσης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	51
<b>3 Συλλογή Δεδομένων.....</b>	<b>54</b>
3.1 Εισαγωγή.....	54
3.2 Όργανα και Εξοπλισμός Πεδίου.....	54
3.2.1 Επίγειοι Σαρωτές Laser (Terrestrial Laser Scanners).....	54
3.2.1.1 Leica ScanStation 2.....	55
3.2.1.2 Leica ScanStation P 30/40.....	56
3.2.1.3 FARO Focus <sup>M</sup> 70.....	57
3.2.2 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station).....	58
3.2.3 Θερμοκάμερα (Infrared Camera).....	59
3.3 Εργασίες Πεδίου.....	60

3.3.1	1 <sup>η</sup> Φάση Εργασιών: Απρίλιος 2016.....	60
3.3.2	2 <sup>η</sup> Φάση Εργασιών: Ιούνιος – Ιούλιος 2017.....	61
3.3.2.1	Εργασίες με Επίγειο Σαρωτή Laser.....	62
3.3.2.2	Εργασίες με Γεωδαιτικό Σταθμό.....	67
3.3.2.3	Εργασίες με Θερμοκάμερα.....	69
3.4	Σύνοψη Συλλογής Δεδομένων.....	70
<b>4</b>	<b>Επεξεργασία Δεδομένων &amp; Αποτελέσματα.....</b>	<b>72</b>
4.1	Εισαγωγή.....	72
4.2	Επεξεργασία Νεφών Σημείων (Point Clouds).....	72
4.2.1	Λογισμικά Επεξεργασίας.....	72
4.2.1.1	Cyclone (Leica).....	72
4.2.1.2	Geomagic Studio (3D Systems).....	73
4.2.2	Περιγραφή Διαδικασίας.....	73
4.2.2.1	Επεξεργασία στο Cyclone.....	73
4.2.2.2	Επεξεργασία στο Geomagic Studio.....	78
4.2.3	Αποτελέσματα Διαδικασίας.....	105
4.3	Επεξεργασία Λοιπών Δεδομένων.....	107
4.3.1	Επεξεργασία Τοπογραφικών Μετρήσεων.....	107
4.3.2	Επεξεργασία Θερμικών Εικόνων.....	108
4.4	Εκτίμηση της Ακρίβειας του Μοντέλου.....	109
<b>5</b>	<b>Συμπεράσματα &amp; Προτάσεις.....</b>	<b>111</b>
5.1	Εισαγωγή.....	111
5.2	Συμπεράσματα.....	112
5.2.1	Συλλογή Δεδομένων.....	112
5.2.2	Επεξεργασία Δεδομένων.....	113
5.2.3	Το Παραγόμενο Μοντέλο.....	114
5.2.4	Σύνοψη.....	115
5.3	Προτάσεις.....	116
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>118</b>
	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	118
	Ελληνική Βιβλιογραφία.....	121
	Ιστότοποι.....	121

# Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 - Σχηματική απόδοση του Πρώτου Θεμελιώδους Προβλήματος της Γεωδαισίας - (α) απόδοση οριζοντιογραφίας - (β) απόδοση υψομετρίας.....	29
Σχήμα 2.2 - Η αμφίδρομη σχέση της ανάλυσης της φωτομηχανής και της ακρίβειας του φωτογραμμετρικού προϊόντος.....	31
Σχήμα 2.3 - Κατηγορίες Σαρωτών Laser (Συμεωνίδης, 2007) σύμφωνα με (Colombo & Marana, 2010) .....	35
Σχήμα 2.4 - Τεχνικοοικονομική κατηγοριοποίηση των διάφορων μεθόδων συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων (Böhler, 2006).....	52
Σχήμα 3.1 - Σκαρίφημα στάσεων σαρωτή laser κατά την 1 <sup>η</sup> φάση εργασιών, Μαρίνα Φλοίσβου - Τροκαντερό, Απρίλιος 2016 - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018).....	61
Σχήμα 3.2 - Σκαρίφημα στάσεων σαρωτή laser κατά την 2 <sup>η</sup> φάση εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος-Ιούλιος 2017 - αρίθμηση στάσεων: [ημέρα μετρήσεων.αριθμός στάσης] - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018).....	67
Σχήμα 3.3 - Σκαρίφημα στάσεων γεωδαιτικού σταθμού για την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου κατά την 2 <sup>η</sup> φάση εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017 - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018) .....	68

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 - (α) Ο αρχαιολογικός τόπος με το πέρασ της ανασκαφής του πλοίου το 2015 - (β) Η διάταξη λήψης εικόνων του ναυαγίου για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου - (γ) Το πολυεικονικό φωτογραμμετρικό μοντέλο του πλοίου (Costa, et al., 2016).....	33
Εικόνα 2.2 - (α) Ο επιζών σκελετός του πλοίου όπως ανασκάφηκε - (β) Οι θέσεις λήψης της φωτομηχανής για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου - (γ) Ο υψομετρικός χάρτης του ναυαγίου του Niantic (Jeyapalan, 1980).....	34
Εικόνα 2.3 - (α) Το πλοίο «City of Adelaide» στο έσω λιμάνι της Αδελαΐδας το 2014 (Bahudhara, 2014) - (β) Το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο του «City of Adelaide» (©Headland Archaeology) .....	41
Εικόνα 2.4 - (α) Το «USS Constellation» το 2012 (Nfutvol, 2012) - (β) Απόδοση της μηκοτομής και (γ) διατομής του «USS Constellation» μέσω του τρισδιάστατου νέφους σημείων της απεικόνισής του (Raphael, 2016) .....	42
Εικόνα 2.5 - Το νέφος σημείων της απεικόνισης του ναυαγίου του Mary Rose, όπως προέκυψε από τα δεδομένα σαρώσεων laser (ABA Surveying, 2009-2018).....	43
Εικόνα 2.6 - Σχέδιο της μηκοτομής και της κάτοψης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», περί το 1905 (Γαρδίκια-Κατσιαδάκη & Χαρωνίτης, 2002) .....	45
Εικόνα 2.7 - Η κατέλκυση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», Ναυπηγεία Ορλάντο, 12 Μαρτίου 1910 ((Photographer): Abeniacar, 1910).....	45
Εικόνα 2.8 - (α) Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με στρατιωτικό καμουφλάζ σε αποστολή προστασίας νηοπομπών, Βομβάη, 1942 (UK Royal Navy, 1942) - (β) Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» σε αποστολή προστασίας λιμένων στο Πορτ Σάιντ, 1943 (Lt. Allen, 1943)- (γ) Η άφιξη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στο λιμάνι του Πειραιά, 20 Οκτωβρίου 1944 (Lt. Oulds, 1944) .....	47
Εικόνα 2.9 - Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στην μόνιμη θέση ελλιμενισμού του στο Άλσος Ελληνικής Ναυτικής Παράδοσης, Μαρίνα Φλοίσβου - Τροκαντερό, Π. Φάληρο (Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, 2017-2018).....	48
Εικόνα 2.10 – Δεξιά όψη και κάτοψη της κλάσης πολεμικών πλοίων (α) Regina Elena (Anon., 1912) και (β) Pisa (Anon., 1923).....	49
Εικόνα 2.11 - (α) Άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την πλώρη - (β) Άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την πρύμνη (archaeology & arts, 2015).....	50

Εικόνα 2.12 - Πανοραμική άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την αριστερή πρυμναία πλευρά του – απόσπασμα εικόνας (Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, 2017-2018) .....	51
Εικόνα 3.1 - Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2 (Leica Geosystems) .....	55
Εικόνα 3.2 - Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation P 30/40 (Leica Geosystems) .....	57
Εικόνα 3.3 - Ο επίγειος σαρωτής laser Focus <sup>M</sup> 70 της FARO (IndiaMART, 1996-2018 ) .....	58
Εικόνα 3.4 - Ο γεωδαιτικός σταθμός TPS 400 (TCR407) της Leica (Koosha, 2018).....	59
Εικόνα 3.5 - Η θερμοκάμερα E60 της Flir (Instrument Hire UK, 2018) .....	60
Εικόνα 3.6 - Πανοραμική άποψη και κάτοψη του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης καταστρώματος-υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» όπως προέκυψε από τις εργασίες με τον επίγειο σαρωτή laser ScanStation P 30/40 και παρασχέθηκε από την Metrica.....	63
Εικόνα 3.7 - Πλάγια άποψη και κάτοψη του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης της δεξιάς εξωτερικής πλευράς του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» όπως προέκυψε από τις εργασίες με τον επίγειο σαρωτή laser Focus <sup>M</sup> 70 .....	63
Εικόνα 3.8 - 1η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος 2017 - Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» εντός της δεξαμενής επισκευής του – (α) άποψη από την πρύμνη - (β) άποψη από την αριστερή πρωραία πλευρά.....	64
Εικόνα 3.9 - 1η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος 2017 - Αποτύπωση της δεξιάς πρωραίας πλευράς του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	65
Εικόνα 3.10 - 2η και 3η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017 - (α), (β) Στάση του οργάνου (laser scanner ScanStation 2) στο ύψος του μέσου τμήματος της αριστερής πλευράς του πλοίου - (γ) Σάρωση της όψης της πρύμνης - (δ) Ο φορητός υπολογιστής χειρισμού του σαρωτή laser .....	66
Εικόνα 3.11 - Επάλληλες επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	69
Εικόνα 3.12 - Επάλληλες επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες της υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» .....	70
Εικόνα 4.1 - «registration2017»: νέφος σημείων απεικόνισης του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την συνένωση των σαρώσεων 2 <sup>ης</sup> και 3 <sup>ης</sup> ημέρας της 2 <sup>ης</sup> φάσης εργασιών – (α) Πλάγια (αριστερή) όψη και κάτοψη – (β) Πανοραμική άποψη από την δεξιά πρωραία πλευρά .....	75
Εικόνα 4.2 - Εντός της εντολής συνένωσης νεφών (registration) στο περιβάλλον του Cyclone - Τα δύο υπο-παράθυρα προεπισκόπησης των νεφών «registration2016_2017» (αριστερά) και «fls_Scan_037» (δεξιά) προς συνένωση για την παραγωγή του τελικού νέφους (teliko_reg) .....	77



Εικόνα 4.3 - Το τελικό νέφος σημείων απεικόνισης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α), (β) Πανοραμική άποψη από την δεξιά προωραία πλευρά - (γ) Πλάγια (δεξιά) όψη - (α), (γ) Απόδοση χρώματος στο τελικό νέφος σημείων από εικόνες που λήφθηκαν μέσω της εσωτερικής κάμερας του επίγειου σαρωτή Focus <sup>M</sup> 70.....	78
Εικόνα 4.4 - Εισαγωγή και οπτικοποίηση δεδομένων στο περιβάλλον του Geomagic Studio .....	80
Εικόνα 4.5 - Το νέφος σημείων της τμήματος της αριστερής πρυμναίας πλευράς του πλοίου στο περιβάλλον του Geomagic Studio - (α) Αρχικό νέφος σημείων - (β) Νέφος σημείων μετά τις διαδικασίες καθαρισμού και μείωσης σημείων.....	83
Εικόνα 4.6 - Το αποτέλεσμα της συνάρτησης wrap για το τμήμα της αριστερής πρυμναίας πλευράς - (α) Εξωτερική επιφάνεια - (β) Εσωτερική επιφάνεια.....	85
Εικόνα 4.7 - (α) Εξωτερική επιφάνεια (μπλε χρώμα) με ανεστραμμένα τρίγωνα (κίτρινο χρώμα) - (β) Εστίαση σε περιοχή της ίδιας επιφάνειας - (γ) Εστίαση στην ίδια περιοχή μετά την διόρθωση των ανεστραμμένων τριγώνων.....	86
Εικόνα 4.8 - (α) Περιοχή με επικαλυπτόμενα τρίγωνα (επιφάνεια επί επιφανείας) - (β) Επιλογή της λαθεμένης επιφάνειας προς διαγραφή - (γ) Η ίδια περιοχή μετά την διαγραφή της λαθεμένης επιφάνειας.....	87
Εικόνα 4.9 - Αντιμετώπιση σύνθετων τρυπών στον πλευρικό πύργο πυροβόλων - (α) Ο πύργος όπως προέκυψε από την εκτέλεση της εντολής wrap - (β) Ο ίδιος πλευρικός πύργος πυροβόλων μετά το «γέμισμα» των τρυπών.....	88
Εικόνα 4.10 - Αγνοούμενη γεωμετρική πληροφορία της γάστρας του πλοίου κατά την εκτέλεση της εντολής wrap - (α) Πριν την εκτέλεση της εντολής - (β) Μετά την εκτέλεση της εντολής....	89
Εικόνα 4.11 - Ημιτελής ή/και λαθεμένη δημιουργία πλέγματος για τα κολωνάκια επι της κουπαστής και του κοίλου του πλοίου .....	89
Εικόνα 4.12 - Διατήρηση πληροφορίας θέσης για τις σκάλες επι του κοίλου - (α) Το πλέγμα τριγώνων για τις σκάλες όπως δημιουργήθηκε με την εκτέλεση της εντολής wrap - (β) Διαγραφή της ελλιπούς γεωμετρικής πληροφορίας - (γ) Η πληροφορία θέσης για τις σκάλες επί του κοίλου όπως διατηρήθηκε.....	90
Εικόνα 4.13 - (α) Εναπομείναντας θόρυβος από παρεμβαλλόμενα αντικείμενα (σκοινιά) - (β) Αποτέλεσμα αντιμετώπισης του θορύβου στην ίδια περιοχή με διαγραφή-συμπλήρωση-ομαλοποίηση τριγώνων.....	91

Εικόνα 4.14 - (α) Εναπομείναντας θόρυβος σε τμήμα της πρυμναίας αριστερής πλευράς - (β) Παραμόρφωση της γεωμετρίας της επιφάνειας κατά την προσπάθεια αντιμετώπισης του θορύβου.....	91
Εικόνα 4.15 - Τα βήματα επεξεργασίας για τα φινιστρίνια του πλοίου .....	93
Εικόνα 4.16 - (α) Το πλέγμα της αριστερής πρωραίας πλευράς - (β) Το πλέγμα της δεξιάς πρωραίας πλευράς - (γ) Το συνενωμένο πλέγμα του πρωραίου τμήματος του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» .....	95
Εικόνα 4.17 - (α) Το πλέγμα της αριστερής πρυμναίας πλευράς - (β) Το πλέγμα της δεξιάς πρυμναίας πλευράς - (γ) Το συνενωμένο πλέγμα του πρυμναίου τμήματος του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» .....	96
Εικόνα 4.18 - Το συνολικό (διορθωμένο) πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - Πλάγια (δεξιά) όψη και πανοραμική άποψη από την δεξιά πρωραία πλευρά.....	97
Εικόνα 4.19 - Το συνολικό (διορθωμένο) πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - Πλάγια (αριστερή) όψη και πανοραμική άποψη από την αριστερή πρυμναία πλευρά.....	98
Εικόνα 4.20 - Το συνολικό πλέγμα του κοίλου και το πλέγμα καταστρώματος-υπερκατασκευής κατά την ταυτόχρονη εισαγωγή τους στο περιβάλλον του Geomagic (πλάγια και πανοραμική άποψη).....	99
Εικόνα 4.21 - Ανεπιτυχής προσπάθεια ευθυγράμμισης του συνολικού πλέγματος του κοίλου με το πλέγμα καταστρώματος-υπερκατασκευής με την εκτέλεση της συνάρτησης manual registration.....	100
Εικόνα 4.22 - Αποσπάσματα από την οπτικοποίηση του αποτελέσματος της συνάρτησης deviation για την σύγκριση πλέγματος τριγώνων και νέφους σημείων της απεικόνισης του κοίλου.....	102
Εικόνα 4.23 - Η συνολική οπτικοποίηση του αποτελέσματος της συνάρτησης deviation για την σύγκριση του πλέγματος τριγώνων με το νέφος σημείων απεικόνισης του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α) Πλάγια (αριστερή) όψη - (β) Πλάγια (δεξιά) όψη .....	103
Εικόνα 4.24 - Εικονική ευθυγράμμιση του πλέγματος τριγώνων του κοίλου με το πλέγμα τριγώνων καταστρώματος-υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» .....	106
Εικόνα 4.25 - Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των τοπογραφικών μετρήσεων με γεωδαιτικό σταθμό - Διάγραμμα των ταχυμετρικών σημείων αποτύπωσης της αριστερής πλευράς του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α) Πλάγια όψη - (β) Κάτοψη.....	108

Εικόνα 4.26 - Παράδειγμα από την επεξεργασία των θερμικών εικόνων - (α) Η αρχική θερμική εικόνα - (β) Η ίδια εικόνα μετά την επεξεργασία της στο περιβάλλον του Photoshop..... 109

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 - Λεπτομέρειες εφαρμογής της τοπογραφικής μεθόδου με γεωδαιτικό σταθμό για την αποτύπωση του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	69
Πίνακας 3.2 - Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με σκοπό την παραγωγή του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» .....	70
Πίνακας 4.1 - Οι επιμέρους συνενώσεις των δεδομένων των σαρώσεων για την παραγωγή του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».....	76
Πίνακας 4.2 - Τα αριθμητικά αποτελέσματα της συνάρτησης deviation για την διερεύνηση της σύμπτωσης του τελικού (διορθωμένου) πλέγματος του κοίλου με το αντίστοιχο νέφος σημείων .....	101
Πίνακας 4.3 - Συγκριτικές μετρήσεις χαρακτηριστικών αποστάσεων μεταξύ του πλέγματος τριγώνων του κοίλου και του αντίστοιχου νέφους σημείων .....	104
Πίνακας 4.4 - Συγκριτικές μετρήσεις και υπολογισμοί μεταξύ του τελικού πλέγματος και των ταχυμετρικών δεδομένων της τοπογραφικής μεθόδου.....	110

# Κεφάλαιο 1



## 1 Εισαγωγή

### 1.1 Πρόλογος

Η αποτύπωση του χώρου ή αντικειμένων του χώρου είναι η καταγραφή και η μεταφορά τους από την πραγματικότητα σε κάποιον καμβά ως τεκμήριο. Αποτελεί μια διαδικασία που συναντάται ήδη από τους πρώτους αιώνες της ιστορίας του ανθρώπου και η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με απλούς έως και πολυσύνθετους τρόπους, κάτι το οποίο εξαρτάται από τον σκοπό της διαδικασίας αλλά και τα διαθέσιμα μέσα για την εκτέλεσή της. Πρόκειται για μια διαδικασία τα προϊόντα της οποίας καλύπτουν τόσο πνευματικές όσο και πρακτικές ανάγκες του ανθρώπου, λειτουργώντας ως μέσο μνήμης, έκφρασης αλλά και ως εργαλείο επόμενων διαδικασιών.

Φυσικά, όπως σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ύπαρξης, έτσι και στον τομέα της αποτύπωσης του περιβάλλοντος χώρου ή/και των στοιχείων του, η εξέλιξη του ανθρώπου δημιούργησε νέες ανάγκες οι οποίες με την σειρά τους οδήγησαν σε περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας των διαθέσιμων μέσων αποτύπωσης. Φτάνοντας με ένα μεγάλο άλμα στην σημερινή εποχή συναντά κανείς ένα μεγάλο αριθμητικά πλήθος μέσων για την εφαρμογή διάφορων μεθόδων αποτύπωσης του χώρου και των στοιχείων αυτού εξυπηρετώντας κυρίως σκοπούς μελέτης ή αρχειοθέτησης προς κάποια κατεύθυνση συντήρησης, διατήρησης ή και παρέμβασης.

Στην σύγχρονη ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού οι αποτυπώσεις εξυπηρετούσαν και εξυπηρετούν διάφορους τομείς της επιστήμης: Αρχιτεκτονική, Αρχαιολογία, Γεωδαισία, Μηχανολογία, Ναυπηγική κ.α. Τα εικονιστικά προϊόντα δε της διαδικασίας επιτελούν σκοπούς όπως την μελέτη μιας υφιστάμενης κατάστασης του χώρου ή των στοιχείων του, προς την εξαγωγή συμπερασμάτων ή την παρέμβαση για την διαφοροποίησή της, την εποπτεία κατά τις εργασίες ανάπτυξης ή συντήρησης μιας κατασκευής, την αναπαραγωγή μιας προϋπάρχουσας κατασκευής (αντίστροφη μηχανική). Σε αυτούς τους σκοπούς ήρθε να προστεθεί τις τελευταίες δεκαετίες η έννοια της Διατήρησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, με ένα πλήθος εφαρμογών

αποτύπωσης ιστορικών μνημείων, από μεμονωμένες κατασκευές έως και ολόκληρους χώρους, μικρής ή μεγάλης κλίμακας.

Ως ιστορικό μνημείο ορίζεται *“ένας τύπος κατασκευής που έχει δημιουργηθεί με σκοπό να τιμηθεί η μνήμη ενός σημαντικού γεγονότος ή προσώπου. Το εν λόγω γεγονός είναι πιθανό να απέκτησε ιδιαίτερη σημασία για ένα ορισμένο κοινωνικό σύνολο είτε ως κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς αυτού του συνόλου είτε ως παράδειγμα ιστορικής αρχιτεκτονικής σημασίας. Ο όρος «μνημείο» πολύ συχνά αποδίδεται εκ των υστέρων σε κατασκευές ή κτήρια που έχουν θεωρηθεί παραδείγματα σημαντικής αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής κληρονομιάς”* (Logothetis, et al., 2015). Από αυτήν την τελευταία περίπτωση ιστορικών μνημείων δεν θα μπορούσαν να παραλειφθούν οι ναυπηγικές κατασκευές ιστορικής σημασίας: τα επιζώντα μεγάλα ιστορικά πλοία, που είτε αποτέλεσαν τεχνολογικά επιτεύγματα της εποχής τους είτε διαδραμάτισαν με τον έναν ή τον άλλον τρόπο καθοριστικό ρόλο στον ρου της παγκόσμιας ή εθνικής ιστορίας μιας χώρας.

Βέβαια, η καταγραφή και τεκμηρίωση της ναυτικής πολιτιστικής κληρονομιάς δεν είναι ακόμα τόσο συνηθής όσο, αντίθετα, στους τομείς της αρχιτεκτονικής ή της αρχαιολογίας, ωστόσο αναπτύσσεται ολοένα. Και ενώ η αποτύπωση των μεγάλων ιστορικών πλοίων παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές ή αρχαιολογικές αποτυπώσεις λόγω μεγέθους, σχήματος, παρουσίας του υγρού στοιχείου (αν το πλοίο είναι ελλιμενισμένο ή πρόκειται για ναυάγιο εντός θαλάσσης) ή άλλων παραμέτρων, οι τεχνικές που απαιτεί για την τρισδιάστατη απόδοση με την απαραίτητη λεπτομέρεια δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από εκείνες που εφαρμόζονται ήδη στους τομείς που προαναφέρθηκαν.

Η συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία των μέσων αποτύπωσης αλλά και επεξεργασίας των δεδομένων αποτύπωσης συνάδει με την ολοένα αυξανόμενη ανάπτυξη εφαρμογών διατήρησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Τα σύγχρονα μέσα επιτρέπουν ταχύτερες, τόσο χρονικά όσο και τεχνικά, διαδικασίες τρισδιάστατης αποτύπωσης, όπως επίσης παρέχουν την δυνατότητα μιας περισσότερο διαδραστικής τρισδιάστατης απεικόνισης των ιστορικών μνημείων. Μια τέτοια απεικόνιση αποτελούν τα τρισδιάστατα μοντέλα. Σύμφωνα με τον Kern (2001) τα τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιούνται στην τεκμηρίωση μιας ορισμένης κατάστασης της πραγματικότητας. Με την ανάλυση ενός μοντέλου μπορεί κανείς να εξάγει κάποια γνώση/νέα πληροφορία γύρω από το αντικείμενο (που απεικονίζεται). Στις διαδικασίες δημιουργίας ενός μοντέλου (μοντελοποίηση) διακρίνονται δύο είδη πληροφορίας. Από την μία, η γεωμετρική πληροφορία η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για την περιγραφή του αντικειμένου και αποτελεί την βάση για την απόδοση θεματικής πληροφορίας από την άλλη. Στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση, η γεωμετρική πληροφορία αποδίδεται με υψηλής ανάλυσης πλέγματα τριγώνων (*meshes*) για την

ακριβή τεκμηρίωση του αντικειμένου όπως άλλωστε επιτάσσει το πλαίσιο διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Βέβαια, παρά την ποικιλία της διαθέσιμης σύγχρονης τεχνολογίας για την συλλογή και επεξεργασία των μετρητικών δεδομένων προς της δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, δεν παύει να είναι επιτακτική η εξειδικευμένη ανθρώπινη παρέμβαση στην εξέταση και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων κάθε σταδίου της διαδικασίας.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μια προσπάθεια προς την Διατήρηση της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς μέσω της εφαρμογής της ψηφιακής τρισδιάστατης τεκμηρίωσης του ιστορικού πολεμικού πλοίου Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Το «Γ. Αβέρωφ» κατασκευάστηκε το 1911 και εντάχθηκε στο τότε Ελληνικό Βασιλικό Ναυτικό για τις ανάγκες ενίσχυσης και εκσυγχρονισμού του πολεμικού στόλου. Συμμετείχε ενεργά και καθοριστικά στον Α΄ Βαλκανικό Πόλεμο (1912 – 1913) ως ναυαρχίδα του στόλου, όπως και στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο (1939 – 1945) με το τέλος του οποίου κατέφυγε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου αναιρώντας την εντολή αυτοβύθισης λόγω παλαιότητας. Το πλοίο επέστρεψε στην Ελλάδα τον Οκτώβριο του 1944 με την μέχρι τότε εξόριστη ελληνική κυβέρνηση, και έγινε Αρχηγείο Στόλου στο Κερασίσι. Το 1951 παροπλίστηκε και το 1984 αποφασίστηκε η αποκατάστασή του και η μετατροπή του σε πλωτό μουσείο. Μέχρι και σήμερα το «Γ. Αβέρωφ» αποτελεί το ομώνυμο πλωτό ναυτικό μουσείο με έδρα το Άλσος Ελληνικής Ναυτικής Παράδοσης, στην Μαρίνα Φλοίσβου, στο Φάληρο, ενώ τον Απρίλιο του 2017 μεταφέρθηκε στα Ναυπηγεία Σκαραμαγκά για εργασίες συντήρησης και επισκευής διάρκειας τριών μηνών, με το πέρας των οποίων επέστρεψε στην έδρα του. Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αποτελεί το μοναδικό στον κόσμο δείγμα πλοίου του τύπου του που διατηρείται έως και σήμερα.

## 1.2 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Σκοπός της μελέτης ήταν η παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιφανείας του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Για την εκπόνησή του εφαρμόστηκε η μέθοδος σάρωσης με χρήση επίγειου σαρωτή laser και δύο συμπληρωματικές μέθοδοι, η τοπογραφική με χρήση γεωδαιτικού σταθμού και η θερμογραφική αποτύπωση, με χρήση θερμοκάμερας, με επιμέρους στόχους :

- την συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας (σαρώσεις laser) για το σύνολο του πλοίου
- την συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων για την γάστρα του πλοίου με επίγειες τοπογραφικές μετρήσεις και λήψη θερμικών εικόνων προς αντιμετώπιση της αδυναμίας αποτύπωσης μεγάλου τμήματός της με την χρήση του σαρωτή laser

- τον συνδυασμό των γεωδαιτικών δεδομένων των σαρώσεων με εκείνα των τοπογραφικών μετρήσεων και των θερμικών εικόνων

για την επίτευξη :

- της παραγωγής τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου επιφανείας του συνόλου του πλοίου, ακριβείας λίγων εκατοστών
- της συμμετοχής στην ενίσχυση μιας ψηφιακής βιβλιοθήκης για την Διατήρηση της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς

### 1.3 Δομή της Εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 αρχικά, αναλύονται οι μέθοδοι αποτύπωσης μεγάλων ιστορικών πλοίων με τον απαιτούμενο για αυτές εξοπλισμό και παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογών τους στο πλαίσιο της Διατήρησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Στην συνέχεια δίνεται το ιστορικό και κατασκευαστικό περίγραμμα του αντικειμένου μελέτης της παρούσας εργασίας: του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Τέλος, τεκμηριώνεται η επιλογή της μεθοδολογίας αποτύπωσης του πλοίου για τον σκοπό της απόδοσης του τρισδιάστατου μοντέλου του.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις εργασίες υπαίθρου για την αποτύπωση του πλοίου (αρχή λειτουργίας και τεχνικά χαρακτηριστικά) και στη συνέχεια παρατίθεται λεπτομερώς το ημερολόγιο των εργασιών υπαίθρου με την περιγραφή των μεθόδων που εφαρμόστηκαν επί τόπου στο πλοίο.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύονται αρχικά τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν με τους επίγειους σαρωτές και ακολούθως η διαδικασία καθ' αυτή. Στην συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα της διαδικασίας με τον σχετικό σχολιασμό. Ακόμα, περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος διαχείρισης και επεξεργασίας των υπόλοιπων δεδομένων (τοπογραφικών μετρήσεων και θερμικών εικόνων).

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την συνολική διαδικασία της τεκμηρίωσης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» και κατατίθενται προτάσεις για πιθανές μελλοντικές ενέργειες επί της τεκμηρίωσης του πλοίου αλλά και για το ζήτημα της Διατήρησης της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς.



# Κεφάλαιο 2



## 2 Η Τεκμηρίωση της Ναυτικής Κληρονομιάς

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά, αναλύονται οι μέθοδοι αποτύπωσης μεγάλων ιστορικών πλοίων με αναφορά στον απαιτούμενο για αυτές εξοπλισμό και παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογών τους στο πλαίσιο της διατήρησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Στην συνέχεια, δίνεται το ιστορικό και κατασκευαστικό περίγραμμα του αντικειμένου μελέτης της παρούσας εργασίας: του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Τέλος, τεκμηριώνεται η επιλογή της μεθοδολογίας αποτύπωσης του πλοίου για τον σκοπό της απόδοσης ενός τρισδιάστατου μοντέλου αυτού.

### 2.1 Μέθοδοι Αποτύπωσης Μεγάλων/Ιστορικών Πλοίων

Η εξέλιξη της τεχνολογίας ή ακόμα και η σύζευξη παλαιάς και νέας, έχουν επιφέρει ένα πλήθος μεμονωμένων αλλά και συνδυαστικών μεθόδων αποτύπωσης του χώρου ή αντικειμένων στον χώρο. Αυτές είναι δυνατόν να συνοψιστούν στις εξής 5 βασικές κατηγορίες (ΙΠΕΤ, 2006-2018):

- εμπειρική μέθοδος
- τοπογραφική μέθοδος
- φωτογραμμετρική μέθοδος
- μέθοδος σάρωσης με laser
- εναλλακτικές μέθοδοι

Οι παραπάνω κατηγορίες αναλύονται σε υποκατηγορίες σύμφωνα με τον τρόπο εφαρμογής της καθεμιάς και τον απαραίτητο για αυτήν εξοπλισμό. Ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες της διαδικασίας αποτύπωσης επιστρατεύεται η κατάλληλη υποκατηγορία/μέθοδος, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψιν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει.

Το μέγεθος και το σχήμα του χώρου ή των αντικειμένων προς αποτύπωση, η φύση τους, ο σκοπός της αποτύπωσης και συνεπώς, το είδος του προϊόντος της αποτύπωσης/τεκμηρίωσης, οι απαιτήσεις ως προς την ακρίβεια του προϊόντος – αποτελέσματος αλλά και τον βαθμό απόδοσης λεπτομερειών, διάφοροι τεχνικοοικονομικοί παράγοντες, η εμπειρία του/-ων υπεύθυνου/-ων εκτέλεσης και περαίωσης της διαδικασίας αλλά και το πλήθος του διαθέσιμου δυναμικού αποτελούν ίσως τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης προς εφαρμογή μεθόδου.

Αμέσως παρακάτω αναλύονται οι προαναφερθείσες μέθοδοι, στο πλαίσιο της διαδικασίας καταγραφής και τεκμηρίωσης μεγάλων ιστορικών πλοίων ως μνημείων Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

### 2.1.1 Η Εμπειρική Μέθοδος

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις παραδοσιακές τεχνικές που εφαρμόζονταν ή εξακολουθούν να εφαρμόζονται κατά περιπτώσεις, για την εξαγωγή σχεδίου κάποιας κατασκευής. Κατά αντιστοιχία των τοπομετρικών μεθόδων της ειδικότητας των Αρχιτεκτόνων, στην ειδικότητα των Ναυπηγών αναφέρεται η ναυπηγική μέθοδος. Αυτή χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των κύριων ναυπηγικών γραμμών ενός σκάφους, οι οποίες προκύπτουν από την τομή του περιβλήματος του σκάφους με επίπεδα παράλληλα προς τα τρία επίπεδα προβολής, δηλαδή τα διαμήκη, τα εγκάρσια και τα οριζόντια παράλληλα προβολικά επίπεδα (Γρηγορόπουλος, 2000).

Χαρακτηριστικό της εμπειρικής μεθόδου και εν προκειμένω της ναυπηγικής, είναι ο απλός εξοπλισμός, ο οποίος συνίσταται κυρίως από νήμα της στάθμης, μετροταινία, αλφαδολάστιχο ή και πιο σύγχρονα απλά ηλεκτρονικά μέσα για μετρήσεις αποστάσεων ή γωνιών κλίσης. Η λιτότητα του εξοπλισμού συνεπάγεται και το χαμηλό κόστος της μεθόδου. Όπως γίνεται σαφές, η μεθοδολογία περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο χειρωνακτική εργασία τόσο για την διαδικασία των μετρήσεων όσο και για την καταγραφή τους, άπτεται της υποκειμενικής σχέσης παρατηρητή – αντικείμενου ενώ δεν υφίσταται επιστημονική μεθοδολογία ελέγχου των δεδομένων παρατήρησης, συνεπώς, υστερεί σε ακρίβεια και το πιο σημαντικό, απαιτεί άμεση προσπελασιμότητα προς το αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εμπειρική μέθοδος δεν ενδείκνυται σε περιπτώσεις μεγάλων πλοίων, λόγω μεγέθους του αντικείμενου ενδιαφέροντος και της πρόσβασης προς αυτό, ούτε και σε περιπτώσεις μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, λόγω της αμφίβολης ακρίβειας των αποτελεσμάτων και της αδυναμίας απόδοσης της απαιτούμενης γεωμετρικής λεπτομέρειας. Συνεπώς, δεν γίνεται εδώ περαιτέρω ανάλυση της μεθόδου μιας και κρίνεται ακατάλληλη.

Για περισσότερες πληροφορίες που αφορούν την Εμπειρική Μέθοδο μπορεί να ανατρέξει κανείς στον ιστότοπο του Ινστιτούτου Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (ΙΠΕΤ, 2006-2018), ενώ ειδικά για την Ναυπηγική Μέθοδο στην διπλωματική εργασία του Χριστοδούλου (2014), αλλά και στις εκεί προτεινόμενες βιβλιογραφίες.

### 2.1.2 Η Τοπογραφική Μέθοδος

Πρόκειται για την κατεξοχήν επιστημονική μέθοδο των αποτυπώσεων. Η επιστήμη της Τοπογραφίας εξελίσσεται από την αρχαιότητα πάνω στο πλαίσιο της απεικόνισης της γήινης επιφάνειας και των φυσικών ή τεχνητών στοιχείων επ' αυτής. Η βασική αρχή των αποτυπώσεων στην Τοπογραφία συνοψίζεται στην απόδοση τρισδιάστατων συντεταγμένων σε επιλεγμένα σημεία, σε ένα ορισμένο ή αυθαίρετο, σύστημα αναφοράς τρισσορθογώνιων συντεταγμένων, μέσω των μετρήσεων συγκεκριμένων μεγεθών (γωνιών διεύθυνσης, γωνιών κλίσης και αποστάσεων) από σημεία σαφώς και πλήρως τεκμηριωμένα στο ορισμένο σύστημα αναφοράς, προς τα επιλεγμένα σημεία προς αποτύπωση.

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι Γεωδαιτικοί Σταθμοί (*Total Stations*) με τα παρελκόμενά τους. Τα όργανα αυτά αποτελούν μετεξέλιξη των παλαιών οπτικών μέσων, αλλά και συνδυασμό των ίδιων παραδοσιακών οπτικών διατάξεων μέτρησης γωνιών (θεοδόλιχο) με τα σύγχρονα αποστασιόμετρα ηλεκτρονικής τεχνολογίας. Παρέχουν την δυνατότητα ορισμού ενός τρισδιάστατου συστήματος συντεταγμένων το οποίο αποτελεί το σύστημα αναφοράς όλων των σημείων προς τα οποία λαμβάνονται οι παρατηρήσεις ενώ η τεχνολογία τους διασφαλίζει πολύ σημαντική ακρίβεια των αποτελεσμάτων των παρατηρήσεων αυτών. Το κόστος των γεωδαιτικών σταθμών συνάδει με την υψηλή ακρίβεια που παρέχουν ενώ ο χειρισμός τους απαιτεί κάποια εμπειρία ή/και ειδικευση.

Για την περίπτωση των αποτυπώσεων στο πλαίσιο της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που δίνουν οι γεωδαιτικοί σταθμοί και το επίπεδο λεπτομέρειας που μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση τους, καθιστούν την τοπογραφική μέθοδο μία από τις πρώτες επιλογές προς εφαρμογή. Ταυτόχρονα όμως πρόκειται για μία χρονοβόρα διαδικασία, δεδομένης της απαίτησής της σε χειρωνακτική εργασία, αφού η χρήση των γεωδαιτικών σταθμών σε εφαρμογές αποτύπωσης δεν επιδέχεται αυτοματοποίηση. Κάθε σκόπευση αντιστοιχεί στην παρατήρηση ενός σημείου, συνεπώς, η μέθοδος απαιτεί μια προεργασία επιλογής των σημείων προς παρατήρηση/αποτύπωση, πεπερασμένου πλήθους. Αυτό συνεπάγεται και την υποκειμενικότητα της αποτύπωσης, αφού η επιλογή των σημείων και η σκόπευσή τους εξαρτώνται από τον εκάστοτε παρατηρητή. Επίσης, παρά το γεγονός ότι οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί παρέχουν την δυνατότητα υπολογισμού των τρισδιάστατων συντεταγμένων των παρατηρούμενων σημείων, η μετεπεξεργασία των δεδομένων για την

παραγωγή τρισδιάστατων προϊόντων (π.χ. ενός μοντέλου) απαιτεί χρόνο και άπτεται, μεταξύ άλλων, της εμπειρίας του χειριστή του λογισμικού επεξεργασίας.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές αφενός ότι η μεμονωμένη εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου για τον σκοπό της αποτύπωσης μεγάλων ιστορικών πλοίων θα ήταν ελλιπής αφετέρου ότι θα ήταν δυνατό να εφαρμοστεί συμπληρωματικά κάποιας άλλης μεθόδου είτε για την περίπτωση τεκμηρίωσης απαιτητικών σημείων λεπτομερειών είτε ως μεθοδολογία ελέγχου. Αντιθέτως, η τοπογραφική μέθοδος καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη στην ναυπηγική τεκμηρίωση ως μέθοδος εξαγωγής των νομέων των πλοίων όπως περιγράφεται στην διπλωματική εργασία του Χριστοδούλου (2014).

### 2.1.2.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Τοπογραφικής Μεθόδου

Η εφαρμογή της μεθόδου για την καταγραφή και τεκμηρίωση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς απαιτεί κατά κύριο λόγο την χρήση ενός ή περισσότερων γεωδαιτικών σταθμών (*total stations*) και των παρελκόμενων τους. Το πλήθος των γεωδαιτικών σταθμών προφανώς εξαρτάται από το μέγεθος του προς αποτύπωση αντικειμένου σε συνάρτηση με το πλήθος των διαθέσιμων χειριστών. Στα παρελκόμενα του οργάνου περιλαμβάνεται ο τρίποδας στον οποίο στήνεται αυτό και κάποιο πρίσμα/κατάφωτο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οργάνου (π.χ. οι *reflectorless* γεωδαιτικοί σταθμοί λειτουργούν άνευ πρίσματος) για την διεξαγωγή των μετρήσεων προς κάθε ένα από τα σημεία που έχουν επιλεγεί να καταγραφούν.

Η μία μέτρηση πραγματοποιείται από ένα ή περισσότερα σημεία γνωστών συντεταγμένων ή που είναι δυνατόν να προσδιοριστούν σαφώς και πλήρως στο επιλεγθέν σύστημα αναφοράς. Τα σημεία αυτά καλούνται στάσεις του οργάνου. Με την κέντρωση και οριζοντίωση του οργάνου επί αυτών των σημείων ορίζεται ένα τοπικό σύστημα αναφοράς τρισσορθογώνιων συντεταγμένων, με κέντρο/αρχή των αξόνων την στάση του οργάνου όπως αυτή προβάλλεται στο οπτικό κέντρο του. Από κάθε στάση σκοπεύονται και παρατηρούνται τα σημεία ενδιαφέροντος. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται προς αυτά είναι:

- Με την οπτική – μηχανική διάταξη του γεωδαιτικού σταθμού:
  - γωνία διεύθυνσης ( $\alpha$ ) – οριζόντια γωνία (Hz)
  - κατακόρυφη γωνία ( $z$ )σε grads (g) με ακρίβεια ορισμένων cc
- Με την ηλεκτρομαγνητική διάταξη του γεωδαιτικού σταθμού:
  - απόσταση (D)σε μέτρα (m) με ακρίβεια ορισμένων χιλιοστών (mm)

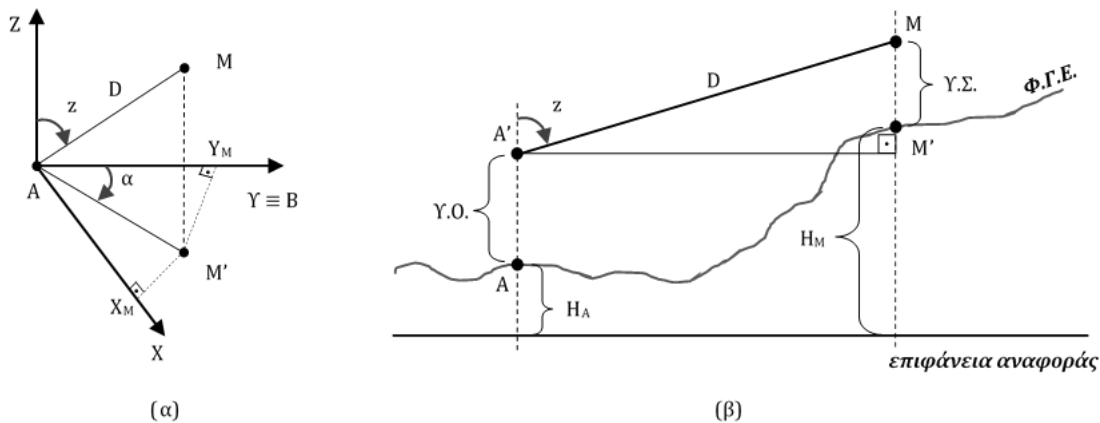
Στις μετρήσεις πεδίου συμπεριλαμβάνεται συνήθως και εκείνη του ύψους του οργάνου (Υ.Ο.) από το έδαφος είτε με χρήση μετροταινίας είτε με κάποια ηλεκτρονική διάταξη που τυχόν φέρει ο σταθμός. Επίσης συχνά και με χρήση μετροταινίας μετράται και το ύψος στόχου (Υ.Σ.) όπου χρειάζεται. Τα ύψη οργάνου και στόχου είναι χρήσιμα σε υπολογισμούς αναγωγής ορισμένων μεγεθών, όπως αποστάσεων ή υψομέτρων.

Ακολούθως, υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων που έχουν παρατηρηθεί, εφόσον τα δεδομένα έχουν μεταφερθεί σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα. Η πιο συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό είναι εκείνη των Πολικών Συντεταγμένων με την εφαρμογή του Πρώτου Θεμελιώδους Προβλήματος της Γεωδαισίας (ή της Τοπογραφίας) και της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, οι συντεταγμένες ενός σημείου M ( $X_M, Y_M, H_M$ ) που έχει παρατηρηθεί από ένα γνωστό σημείο A ( $X_A, Y_A, H_A$ ) υπολογίζονται μέσω των Εξισώσεων 2.1.

$$X_M = X_A + (D_{A \rightarrow M} \cdot \sin z_{A \rightarrow M}) \cdot \sin \alpha_{A \rightarrow M} = X_A + (D_{A \rightarrow M} \cdot \sin z_{A \rightarrow M}) \cdot \sin H z_{A \rightarrow M}$$

$$Y_M = Y_A + (D_{A \rightarrow M} \cdot \sin z_{A \rightarrow M}) \cdot \cos \alpha_{A \rightarrow M} = Y_A + (D_{A \rightarrow M} \cdot \sin z_{A \rightarrow M}) \cdot \cos H z_{A \rightarrow M} \quad (2.1)$$

$$H_M = H_A + D_{A \rightarrow M} \cdot \cos z_{A \rightarrow M} + Y.O. - Y.Σ.$$



**Σχήμα 2.1 - Σχηματική απόδοση του Πρώτου Θεμελιώδους Προβλήματος της Γεωδαισίας - (α) απόδοση οριζοντιογραφίας - (β) απόδοση υψομετρίας**

Όσον αφορά την εφαρμογή της μεθόδου στο πεδίο, η συνήθης μεθοδολογία περιλαμβάνει κατ' αρχάς, την ίδρυση ενός δικτύου γύρω από το αντικείμενο ενδιαφέροντος, εξαρτημένου από γνωστά τριγωνομετρικά σημεία ή αυθαιρέτου. Τα σημεία του δικτύου αποτελούν τις στάσεις του οργάνου και συνεπώς, πλήρως τεκμηριωμένα σημεία. Από τις στάσεις λαμβάνονται οι μετρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως προς τα επιλεγμένα σημεία λεπτομερειών του αντικειμένου, είτε ταχυμετρικά είτε εν είδει διατομών ή με άλλη διάταξη που κρίνεται κατάλληλη σύμφωνα με τις ανάγκες της αποτύπωσης. Σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας στο πεδίο

είναι η τήρηση κροκί (σκαριφήματος) των αποτυπούμενων σημείων λεπτομερειών, με τρόπο σαφή ώστε να είναι αναγνώσιμο μετέπειτα, κατά την διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων.

Τα χαρακτηριστικά της τοπογραφικής μεθόδου ταυτόχρονα με την ύπαρξη άλλων μεθόδων, που αναλύονται αμέσως μετά, καθιστούν την αποκλειστική εφαρμογή της σε εργασίες καταγραφής μεγάλων ιστορικών πλοίων ασύμφορη χρονικά και οικονομικά. Επομένως, σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατό να απαντηθεί ως συμπληρωματική ή επιστημονική μεθοδολογία ελέγχου στην εφαρμογή άλλης μεθόδου.

### 2.1.3 Η Φωτογραμμετρική Μέθοδος

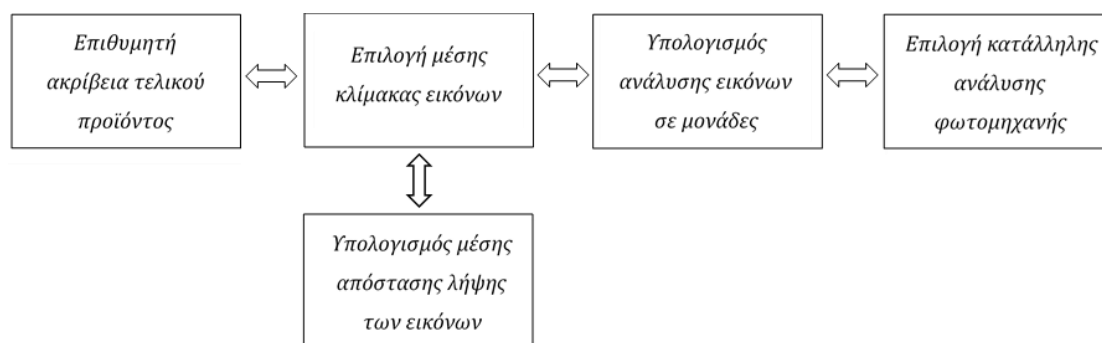
Η φωτογραμμετρική μέθοδος βασίζεται στην τεχνική της έμμεσης εξαγωγής μετρητικής πληροφορίας για ένα τμήμα ή/και κάποιο στοιχείο ενδιαφέροντος του φυσικού ή/και του τεχνητού περιβάλλοντος. Το μέσο της τεχνικής αποτελεί η εικόνα, η οποία είναι δυνατόν να συλλέγεται είτε μέσω φωτομηχανών είτε μέσω ειδικών ηλεκτρομαγνητικών διατάξεων (π.χ. διατάξεις laser, υπέρυθρης ακτινοβολίας κλπ). Η μετρητική πληροφορία εξάγεται μέσα από διαδικασίες ερμηνείας και μετρήσεων επί των συλλεγμένων εικόνων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ειδικών λογισμικών που καλούνται Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί. Σε αυτούς είναι δυνατόν να παραχθεί ένα πλήθος εικονιστικών προϊόντων με μετρητική πληροφορία όπως χάρτες (ορθοφωτοχάρτες), τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους, τρισδιάστατα μοντέλα κτηρίων ή άλλων στοιχείων του τεχνητού περιβάλλοντος κ.α.

Η φωτογραμμετρική μέθοδος μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξ αποστάσεως εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου, αφού η παρατήρηση των σημείων λεπτομερειών δεν πραγματοποιείται στο πεδίο, επί τόπου του αντικειμένου ενδιαφέροντος, αλλά στο γραφείο, επί των εικόνων που έχουν ληφθεί. Ταυτόχρονα, το αποτέλεσμα της φωτογραμμετρικής και της τοπογραφικής μεθόδου παραμένει κοινό, τόσο σε σκοπό (απόδοση συντεταγμένων σε ορισμένο σύστημα αναφοράς στα σημεία ενδιαφέροντος) όσο και σε επίπεδο ακρίβειας, το οποίο, και στις δύο περιπτώσεις μεθόδων, εξαρτάται από το μέσο συλλογής των δεδομένων (όργανο, εξοπλισμός) αλλά και από την εμπειρία του εκάστοτε παρατηρητή. Το μεγάλο πλεονέκτημα της φωτογραμμετρικής μεθόδου έναντι της τοπογραφικής και ειδικά για εφαρμογές που αφορούν την πολιτιστική κληρονομιά, είναι η συνέχεια των παρατηρηθέντων σημείων ενδιαφέροντος, καθώς στην δεύτερη κρίνεται απαραίτητη η αφαιρετική επιλογή ενός αριθμού διακριτών σημείων προς αποτύπωση. Επιπλέον, μπορεί κανείς να προσδιορίσει πιο εύκολα, να ερμηνεύσει και να αναλύσει εικόνες έτσι ώστε είναι δυνατόν να εξάγει περαιτέρω πληροφορίες όπως την υφή του αντικειμένου ενδιαφέροντος (το υλικό του) ή να αντιληφθεί την γεωμετρία περιοχών που βρίσκονταν στην σκιά του αντικειμένου κατά την στιγμή της λήψης της εικόνας (Kern, 2001). Τέλος, με τις συλλεγόμενες απεικονίσεις δίνεται η δυνατότητα απόδοσης ενός φωτορεαλιστικού

αποτελέσματος με την επίθεσή τους στο παραγόμενο γεωμετρικό προϊόν (απόδοση υφής – *texture mapping*).

### 2.1.3.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Φωτογραμμετρικής Μεθόδου

Για τις εφαρμογές αποτυπώσεων στο πλαίσιο της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς εφαρμόζεται η καλούμενη Φωτογραμμετρία Κοντινής Εμβέλειας (*Close-Range Photogrammetry*). Την βάση του εξοπλισμού της μεθόδου αποτελεί η (ψηφιακή) φωτομηχανή (συνήθως προτιμώνται οι *dSLR*). Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντική και άμεσα συνδεδεμένη με την ακρίβεια του τελικού προϊόντος η επιλογή της ανάλυσης της φωτομηχανής, που για την μεν αναλογική εκφράζεται με το μέγεθος του φορμάτ, δηλαδή τις διαστάσεις του αρνητικού (*film*) ή του διαθετικού (*slide*), για την δε ψηφιακή με την ανάλυση του ψηφιακού αισθητήρα. Η σύνδεση με την ακρίβεια του τελικού φωτογραμμετρικού προϊόντος αποδίδεται παρακάτω, στο Σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2 - Η αμφίδρομη σχέση της ανάλυσης της φωτομηχανής και της ακρίβειας του φωτογραμμετρικού προϊόντος**

Εφόσον καθοριστούν τα μεγέθη του Σχήματος 2.2, μπορούν να ξεκινήσουν οι εργασίες πεδίου: η λήψη εικόνων του προς αποτύπωση αντικειμένου. Αυτή γίνεται ως επί το πλείστον επίγεια, ωστόσο, αν το απαιτεί η φύση του αντικειμένου, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν και εναέριες λήψεις από πολύ μικρό ύψος πτήσης (στην σύγχρονη εποχή, κάτι τέτοιο είναι πολύ εύκολα εφικτό με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών – *drones*). Η λήψη των εικόνων γίνεται σε μία ή περισσότερες λωρίδες λήψης, ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου ενδιαφέροντος και είναι απαραίτητο να λαμβάνονται με μια μεταξύ τους επικάλυψη τόσο κατά μήκος (μεταξύ εικόνων της ίδιας λωρίδας) όσο και κατά πλάτος (μεταξύ των λωρίδων λήψης). Μια ακόμα σημαντική εργασία στο πεδίο είναι η ίδρυση των φωτοσταθερών σημείων. Πρόκειται για σημεία που ανήκουν στο αντικείμενο (ή την περιοχή) ενδιαφέροντος, το πλήθος τους εξαρτάται από το πλήθος των στερεοζευγών (ζεύγη

επικαλυπτόμενων εικόνων), η επιλογή τους γίνεται έτσι ώστε αυτά να είναι ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη την έκταση του αντικειμένου και χρησιμεύουν ως σημεία ελέγχου κατά την φωτογραμμετρική διαδικασία. Η μέτρησή τους γίνεται σύμφωνα με την τοπογραφική μέθοδο (βλ. Ενότητα 2.1.2) με χρήση γεωδαιτικού σταθμού, καθώς είναι απαραίτητο οι συντεταγμένες τους να προσδιοριστούν με μεγάλη ακρίβεια.

Ακολούθως πραγματοποιείται η επεξεργασία των συλλεγμένων (πρωτογενώς ψηφιακών ή ψηφιοποιημένων αναλογικών) εικόνων, συνήθως στο περιβάλλον κάποιου ψηφιακού φωτογραμμετρικού σταθμού. Εκεί συντελείται το μεγαλύτερο μέρος της φωτογραμμετρικής διαδικασίας (προσανατολισμοί εικόνων, στρεβλοσκοπική παρατήρηση) με βασικό αποτέλεσμα την απόδοση επίγειων συντεταγμένων σε κάθε ένα από τα σημεία που απαρτίζουν το αντικείμενο ενδιαφέροντος και σύμφωνα με την Συνθήκη Συγγραμμικότητας. Μέσω αυτής επιτυγχάνεται η σύνδεση των τριών συστημάτων συντεταγμένων που εμπλέκονται στην εν λόγω μέθοδο:

- το σύστημα συν/ων της φωτομηχανής (η εσωτερική γεωμετρία της μηχανής,  $[c, x_0, y_0]$ )
- το σύστημα συν/ων του φωτογραφικού επιπέδου/ της εικόνας (εικονοσυντεταγμένες – όπως υλοποιείται από τα εικονοσήματα,  $[x, y]$ )
- το επίγειο σύστημα συν/ων (αυθαίρετο ή υπάρχον γεωδαιτικό,  $[X, Y, Z]$ )

και περιγράφεται από τις Εξισώσεις 2.2.

$$\boxed{x = x_0 - c \cdot \frac{(X-X_0) \cdot R_{11} + (Y-Y_0) \cdot R_{12} + (Z-Z_0) \cdot R_{13}}{(X-X_0) \cdot R_{31} + (Y-Y_0) \cdot R_{32} + (Z-Z_0) \cdot R_{33}}} \quad \boxed{y = y_0 - c \cdot \frac{(X-X_0) \cdot R_{21} + (Y-Y_0) \cdot R_{22} + (Z-Z_0) \cdot R_{23}}{(X-X_0) \cdot R_{31} + (Y-Y_0) \cdot R_{32} + (Z-Z_0) \cdot R_{33}}} \quad (2.2)$$

όπου  $R_{ij}$  τα στοιχεία του πίνακα των στροφών μεταξύ του επίγειου συστήματος και του συστήματος της φωτομηχανής.

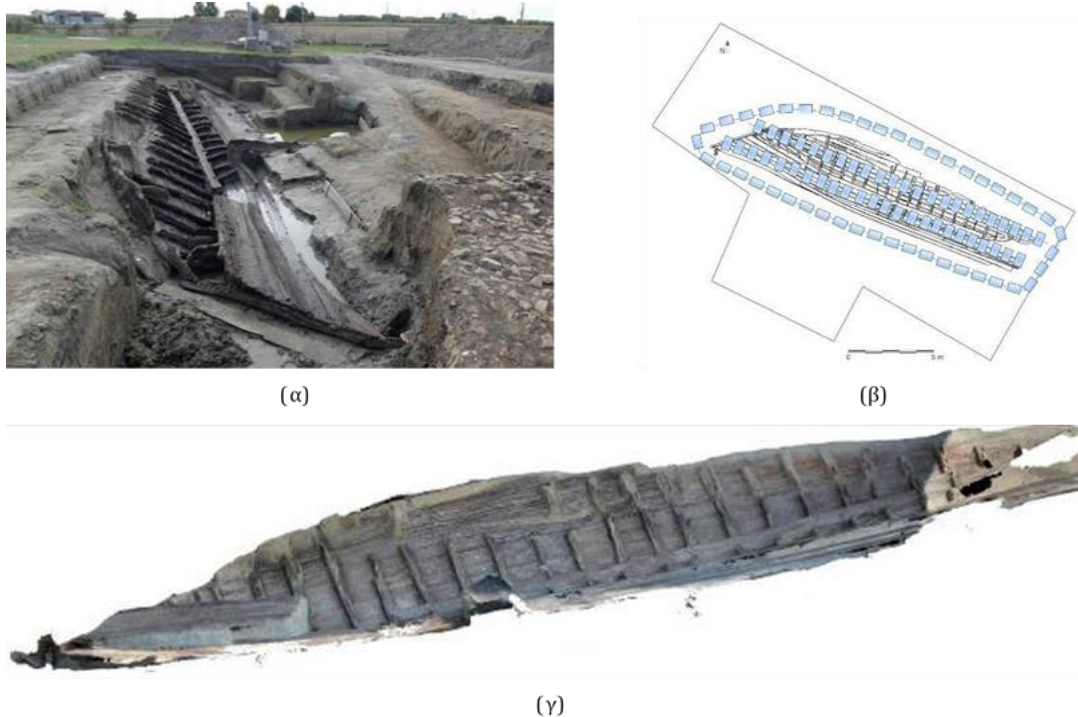
Στο περιβάλλον ενός ΨΦΣ επίσης παράγονται και εξάγονται τα πρώτα φωτογραμμετρικά προϊόντα (ορθοφωτοχάρτες, ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους ή κτηρίων). Αυτά είναι δυνατό να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία σε ένα περιβάλλον ψηφιακής σχεδίασης (CAD) για την παραγωγή τρισδιάστατων εικονιστικών προϊόντων (μοντέλων) και μάλιστα με την δυνατότητα απόδοσης υψής σε αυτά μέσω των εικόνων που έχουν ήδη συλλεχθεί στο πεδίο.

### 2.1.3.2 Παραδείγματα Εφαρμογής της Φωτογραμμετρικής Μεθόδου

Στην βιβλιογραφία συναντάται η εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου πιο συχνά σε μικρού μεγέθους πλοία (Χριστοδούλου, 2014) ή σε αρχαιολογικά ευρήματα τμημάτων πλοίων. Στην δεύτερη περίπτωση, συνήθως το εύρημα πρόκειται για τμήμα του κοίλου του πλοίου και η αποτύπωσή του γίνεται με σκοπό την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου για την ψηφιακή ανακατασκευή όλου του πλοίου. Παρατίθενται εδώ δύο παραδείγματα αυτής της περίπτωσης.



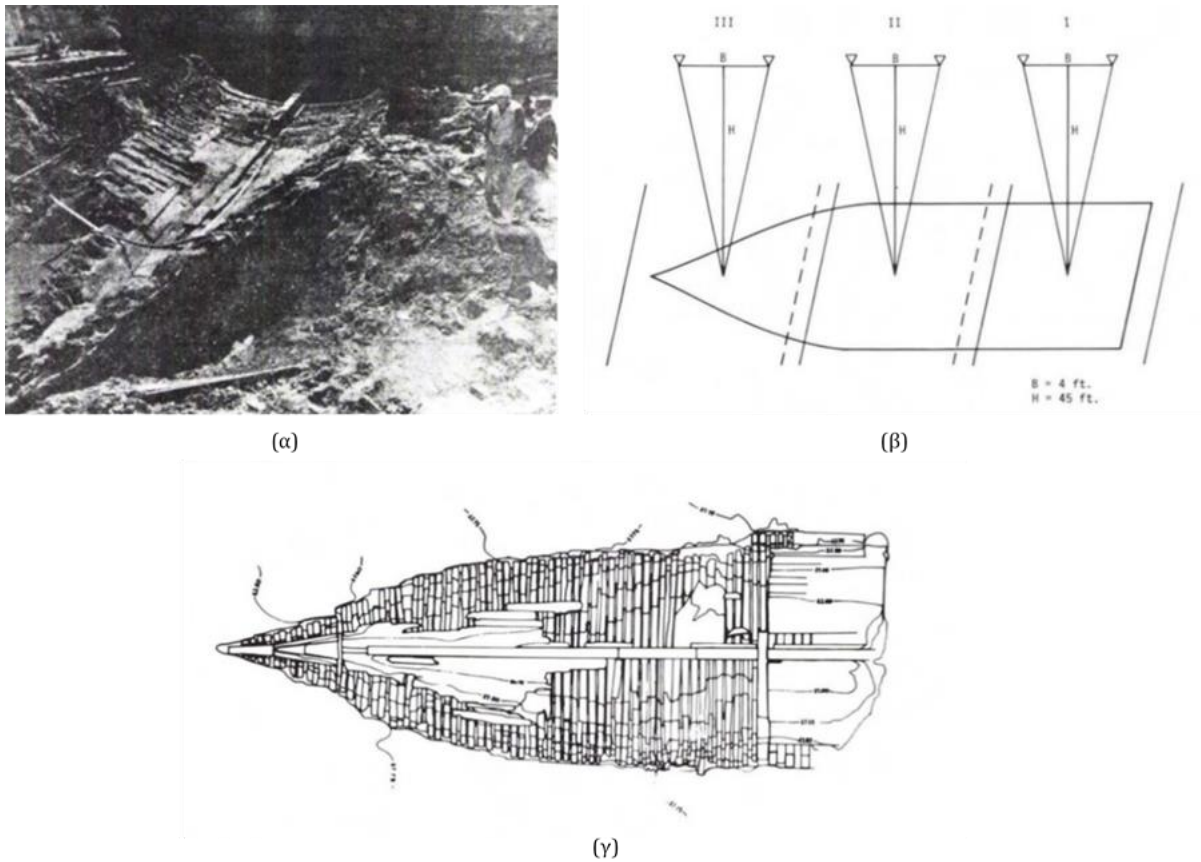
Το πρώτο παράδειγμα αφορά το ναυάγιο ενός ξύλινου πλοίου το οποίο βρέθηκε το 2008, κατά την διάρκεια ανασκαφών δίπλα στα ερείπια εκκλησιαστικού κτηρίου του 6<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα, σε έναν παραπόταμο του αρχαίου ποταμού Πάδου, κοντά στην πόλη Φερράρα της βορείου Ιταλίας. Η αποτύπωση του ναυαγίου έγινε στις δύο φάσεις ανασκαφής του, το 2014 και το 2015, με την εφαρμογή της πολυεικονικής φωτογραμμετρίας αλλά και την χρήση επίγειου σαρωτή laser. Τα νέφη σημείων που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, και αμφότερα χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών του ναυαγίου αλλά και τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου αυτού (Costa, et al., 2016).



**Εικόνα 2.1 - (α) Ο αρχαιολογικός τόπος με το πέρας της ανασκαφής του πλοίου το 2015 - (β) Η διάταξη λήψης εικόνων του ναυαγίου για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου - (γ) Το πολυεικονικό φωτογραμμετρικό μοντέλο του πλοίου (Costa, et al., 2016)**

Το δεύτερο παράδειγμα αφορά την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου πριν την ψηφιακή εποχή, για την αποτύπωση του ναυαγίου του πλοίου Niantic (Jeyapalan, 1980). Το πλοίο επρόκειτο για ένα φαλαινοθηρικό που εγκαταλείφθηκε στην πόλη του Σαν Φρανσίσκο το 1849, κατά την διάρκεια της περιόδου χρυσοθηρίας (*gold rush*) στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών. Με την εγκατάλειψή του το πλοίο ανελκύστηκε, διαμορφώθηκε και λειτουργούσε ως ξενοδοχείο και αποθήκη μέχρι το 1851 οπότε καταστράφηκε από μία πυρκαγιά μέχρι το ύψος που ήταν προφυλαγμένο από τα αναχώματα. Τα ερείπια του πλοίου ανασκάφηκαν το 1978 κατά τις εκσκαφές που γίνονταν στην περιοχή για την ανέγερση κτηρίων. Για την αποτύπωσή του, την ίδια περίοδο, εφαρμόστηκε η μέθοδος της φωτογραμμετρίας κοντινής εμβέλειας με εικόνες που

λήφθηκαν κατακόρυφα. Το τελικό προϊόν της αποτύπωσης ήταν το σχέδιο της κάτοψης του ναυαγίου, η μηκοτομή του και ένα πλήθος διατομών του, μέσα από την επεξεργασία του στερεομοντέλου με τα αναλογικά μέσα της εποχής.



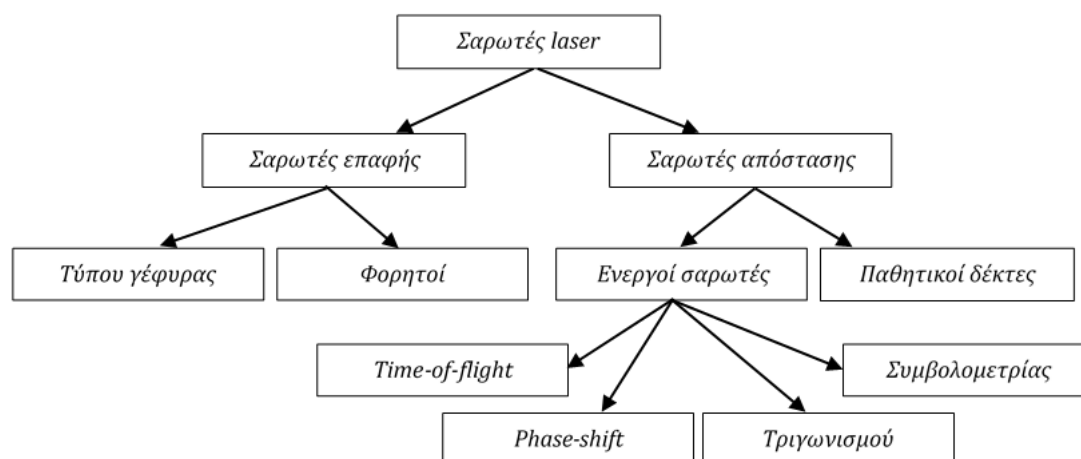
**Εικόνα 2.2 - (α) Ο επιζών σκελετός του πλοίου όπως ανασκάφηκε - (β) Οι θέσεις λήψης της φωτομηχανής για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου - (γ) Ο υψομετρικός χάρτης του ναυαγίου του Niantic (Jeyaralan, 1980)**

#### 2.1.4 Η Μέθοδος Σάρωσης με Laser

Πρόκειται για την πιο πρόσφατα ανεπτυγμένη μέθοδο, σε σύγκριση με τις προαναφερθείσες, και συνεχώς εξελισσόμενη, αφού εξυπηρετεί πλήθος εφαρμογών, τοπογραφικών και μη. Πυρήνα της μεθόδου αποτελεί η λήψη τρισδιάστατης πληροφορίας για το αντικείμενο ή την περιοχή ενδιαφέροντος, σε πολύ σύντομο χρόνο και με υψηλή ακρίβεια (Bernat, et al., 2014), καθώς και ότι, σε γενικές γραμμές, είναι εφικτή η καταγραφή και αποτύπωση της γεωμετρίας σχεδόν οποιουδήποτε αντικειμένου (Kern, 2001).

Η εφαρμογή της μεθόδου στηρίζεται στην χρήση των λεγόμενων σαρωτών laser. Οι σαρωτές laser αναπτύχθηκαν αρχικά από τα αντίστοιχα αερομεταφερόμενα συστήματα τα οποία είχαν σκοπό να διαπερνούν το νερό ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση του βυθού λιμανιών, λιμνών

κλπ. Με την απλούστευσή τους (αφαίρεση των αδρανειακών και γυροσκοπικών συστημάτων και των συστημάτων παγκόσμιου εντοπισμού (*GPS*)) και την υιοθέτηση ενός λιγότερο ισχυρού laser, προέκυψαν αργότερα τα επίγεια συστήματα (*terrestrial laser scanners*), καθιστώντας πλέον τους laser σαρωτές όργανα συμβατά για πλήθος εφαρμογών σε διαφορετικούς τομείς (Συμεωνίδης, 2007). Στο Σχήμα 2.3 παρατίθεται μια κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών laser σύμφωνα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, ωστόσο, στην ενότητα αυτή το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στους **ενεργούς laser σαρωτές απόστασης**, τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα όργανα, ειδικά σε τοπογραφικές εφαρμογές. Ο Lemmens (2007b) για τα συστήματα επίγειων σαρωτών laser, αναφερόμενος στους ενεργούς σαρωτές laser απόστασης, επισημαίνει ότι μαζί με τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (*total stations*) και τους δέκτες του παγκόσμιου συστήματος δορυφορικού εντοπισμού (*Global Navigation Satellite System – GNSS*), αποτελούν τον βασικό τοπογραφικό εξοπλισμό.



Σχήμα 2.3 – Κατηγορίες Σαρωτών Laser (Συμεωνίδης, 2007) σύμφωνα με (Colombo & Marana, 2010)

Οι ενεργοί σαρωτές laser διαθέτουν αισθητήρες, οι οποίοι εκπέμπουν οι ίδιοι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, της τεχνολογίας **LiDAR** (*Light Detection And Ranging*). Όλοι οι σαρωτές αυτής της τεχνολογίας μετρούν το εύρος και την ένταση της ακτινοβολίας (Lemmens, 2011). Με τον όρο «εύρος» νοείται η απόσταση που διανύει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μέχρι την πρώτη επιφάνεια που θα συναντήσει στο προς αποτύπωση αντικείμενο ή περιοχή. Η ένταση της ανακλώμενης (από την επιφάνεια) ακτινοβολίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα της ακρίβειας της μέτρησης του εύρους (της απόστασης) (Fröhlich & Mettenleiter, 2004) ως συνάρτηση άλλων παραγόντων όπως είναι η απώλεια τμήματος της ακτινοβολίας λόγω του φαινομένου της διάχυσης, η τραχύτητα της επιφάνειας του αποτυπούμενου αντικειμένου και η γωνία της ακτίνας laser με

την επιφάνεια αυτή και, συνεπώς, η ανακλαστικότητα του αντικειμένου, καθώς και οι αποσβέσεις της ακτινοβολίας λόγω της ατμόσφαιρας (Pfeifer & Briese, 2007).

Οι αισθητήρες laser που διαθέτουν οι σαρωτές είναι δυνατόν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με την αρχή του συστήματος μέτρησης αποστάσεων που χρησιμοποιούν, το οποίο μάλιστα σχετίζεται άμεσα με το εύρος και την ακρίβεια του αποτελέσματος που παρέχει (Fröhlich & Mettenleiter, 2004). Σύμφωνα με τους Colombo και Marana (2010), οι μετρήσεις με σαρωτές laser μπορεί να στηρίζονται στις εξής τέσσερις βασικές αρχές:

- αρχή μέτρησης του χρόνου πτήσης ενός παλμού (***time-of-flight ή pulse-round-trip-time***):  
Οι σαρωτές αυτής της τεχνολογίας παρέχουν την δυνατότητα μέτρησης σε μεγάλες αποστάσεις (τάξης έως λίγων km) και μεγάλου εύρους του οπτικού τους πεδίου (κίνηση της κεφαλής του οργάνου – κατεύθυνση της δέσμης laser μέσω ενσωματωμένων κατόπτρων) (Συμεωνίδης, 2007). Εκπέμποντας έναν παλμό στην διεύθυνση του προς αποτύπωση αντικειμένου, μετράται ο χρόνος που χρειάζεται ο παλμός να ανακλαστεί πίσω στο όργανο. Η απόσταση (για ένα σημείο κάθε φορά) υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον μετρούμενο χρόνο με την ταχύτητα του φωτός και το αποτέλεσμα αυτό διά του δύο. (Lemmens, 2011) Οι σαρωτές αυτοί παρέχουν ακρίβεια της τάξης μερικών mm.
- αρχή μετατόπισης φάσης του παλμού (***phase-shift***):  
Στην περίπτωση των σαρωτών αυτής της τεχνολογίας εκπέμπονται συνεχόμενα παλμοί laser διαμορφωμένοι σε ημιτονοειδή κύματα. Η φάση του ανακλώμενου κύματος μετράται και συγκρίνεται με την φάση του εκπεμπόμενου κύματος. Η απόσταση υπολογίζεται ως διαφορά στην φάση του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου κύματος. (Lemmens, 2011) Οι μετρήσεις με phase-shift σαρωτές περιορίζονται στο εύρος λίγων εκατοντάδων μέτρων, ενώ επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης των λίγων mm (Fröhlich & Mettenleiter, 2004). Οι σαρωτές αυτοί ενδείκνυνται για εξωτερικές εφαρμογές αποτυπώσεων όπου εντοπίζεται μεγάλο πλήθος αντικειμένων που περιορίζουν το οπτικό πεδίο (π.χ. συστήματα σωληνώσεων, τμήματα του αστικού ιστού) (Pfeifer & Briese, 2007).
- αρχή του τριγωνισμού (***optical triangulation***):  
Οι σαρωτές τριγωνισμού έχουν μικρή ακτίνα εφαρμογής, της τάξης των μερικών μέτρων. Χρησιμοποιούν την ακτίνα laser για να φωτίσουν σημεία πάνω στο αντικείμενο και μία κάμερα για να εντοπίσουν τα σημεία που φωτίζει κάθε φορά η ακτίνα. Το

αντικείμενο σαρώνεται από μία γραμμή laser και όχι με μία κουκίδα (όπως συμβαίνει με τους σαρωτές άλλων τεχνολογιών), δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα από άποψη ταχύτητας. (Συμεωνίδης, 2007) Στην περίπτωση των σαρωτών αυτών, η απόσταση υπολογίζεται μέσω της επίλυσης του τριγώνου που σχηματίζεται από το σύστημα εκτροπής της ακτίνας laser, το σημείο ανάκλασης της ακτίνας επί της επιφάνειας του αντικειμένου και το προβολικό κέντρο της κάμερας η οποία είναι τοποθετημένη σε ορισμένη απόσταση από το σύστημα εκτροπής της ακτίνας (Boehler, et al., 2003). Οι σαρωτές τριγωνισμού χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αποτύπωσης μικρών αντικειμένων, κυρίως εξυπηρετώντας σκοπούς αντίστροφης μηχανικής (*reverse engineering*) (Fröhlich & Mettenleiter, 2004), δίνοντας ακρίβεια της τάξης των μερικών μm.

- Συμβολομετρία (*interferometry*):

Οι σαρωτές αυτοί δίνουν την δυνατότητα μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται κυρίως στην βιομηχανική μετρολογία.

Σύμφωνα με τον Lemmens (2004), στα συστήματα επίγειων σαρωτών laser για εξωτερικές εφαρμογές αποτυπώσεων χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον οι αρχές time-of-flight και phase-shift. Οι βασικές διαφορές των δύο αυτών τεχνολογιών έγκεινται στο μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων που παρέχει η time-of-flight και την καλύτερη ακρίβεια που δίνει η phase-shift. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι με έναν phase-shift σαρωτή μετράται πάντα μόνο μία επιστροφή ενός παλμού, σε αντίθεση με έναν time-of-flight σαρωτή, όπου για κάθε σημείο μετρώνται πολλαπλές επιστροφές παλμών. Αυτό για την time-of-flight τεχνολογία σημαίνει ότι αν ένας παλμός συναντά στην ίδια διεύθυνση δύο διαφορετικά αντικείμενα, το επιστρεφόμενο σήμα θα αποτελεί υπέρθεση των δύο αντηχήσεων του παλμού, συνεπώς, η τελική ανάγνωση της απόστασης θα είναι μια τιμή μεταξύ εκείνων των αποστάσεων του πλησιέστερου και του μακρινότερου αντικειμένου. (Pfeifer & Briese, 2007). Ενώ για την phase-shift τεχνολογία, αυτό σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα μετρήσεων.

Από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες σαρωτών laser, καθεμιά εξυπηρετεί διαφορετικές απαιτήσεις. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να κριθεί κάποια από αυτές ως η πιο κατάλληλη για οποιαδήποτε εφαρμογή αποτύπωσης, αλλά ότι σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής επιλέγεται η πιο κατάλληλη (μία ή περισσότερες). Γενικά όμως, οι σαρωτές laser στο σύνολό τους αποτελούν πολύ καλή επιλογή σε περιπτώσεις αποτύπωσης: γεωμετρικά πολύπλοκων κατασκευών, περιοχών με γενικά καθαρό οπτικό πεδίο, περιοχών που απαιτούν μεγάλη λεπτομέρεια αποτύπωσης, περιοχών με δύσκολη πρόσβαση, «ενεργών» περιοχών που



λαμβάνουν χώρα εργασίες ή ανθρώπινες δραστηριότητες, ευαίσθητων περιοχών (ατυχημάτων, καταστροφών, υψηλής πολιτιστικής αξίας) (Συμεωνίδης, 2007).

#### **2.1.4.1 Εξοπλισμός και Μεθοδολογία Εφαρμογής της Μεθόδου Σάρωσης με Laser**

Ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται για την εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει τον επίγειο σαρωτή laser με τα παρελκόμενά του. Σε αυτά συγκαταλέγονται ο τρίποδας στήριξης του οργάνου, η μπαταρία του οργάνου ή ένα καλώδιο παροχής ρεύματος και, ανάλογα με το μοντέλο του σαρωτή, ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής για τον χειρισμό του. Στο πλαίσιο εφαρμογών διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, και ειδικά σε εξωτερικό περιβάλλον, ως πιο κατάλληλοι κρίνονται οι σαρωτές της τεχνολογίας time-of-flight ή phase-shift, ή και σαρωτές που φέρουν τον συνδυασμό των δύο τεχνολογιών (τεχνολογία *full waveform*), ενώ η πολυπλοκότητα ή/και το μέγεθος του αντικειμένου ενδιαφέροντος είναι πιθανό να απαιτεί την χρήση περισσότερων του ενός οργάνων.

Όπως και στην περίπτωση της τοπογραφικής μεθόδου με την χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, η διαδικασία αποτύπωσης στο πεδίο περιλαμβάνει το στήσιμο του οργάνου πάνω από ένα πλήθος σημείων-στάσεων περιμετρικά ή εντός και εκτός του προς αποτύπωση αντικειμένου, ανάλογα με την γεωμετρία του. Οι στάσεις του οργάνου επιλέγονται έτσι ώστε η καταγραφή του αντικειμένου ενδιαφέροντος να πραγματοποιηθεί από διαφορετικές γωνίες και όψεις προκειμένου να δημιουργηθεί μια σωστή απεικόνιση. Το πλήθος των στάσεων είναι ανάλογο της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας του προς αποτύπωση αντικειμένου και του περιβάλλοντός του, λαμβάνοντας υπόψιν τις εξής δύο παραμέτρους:

- ελαχιστοποίηση των σκιών/νεκρών πεδίων στην απεικόνιση του αντικειμένου ή της περιοχής ενδιαφέροντος, δηλαδή των περιοχών της απεικόνισης όπου απουσιάζει η μετρητική πληροφορία λόγω της ύπαρξης εμποδίων
- ελαχιστοποίηση των χρόνων σάρωσης, με την επιλογή πολλών μικρότερων πεδίων σάρωσης του αντικειμένου στον βαθμό λεπτομέρειας που απαιτείται στο πλαίσιο καταγραφής της πολιτιστικής κληρονομιάς (η μέτρηση του συνολικού πεδίου σάρωσης με μια λογική πυκνότητα σάρωσης απαιτεί αρκετό σχετικά χρόνο) (Fröhlich & Mettenleiter, 2004)

Για την μέθοδο με χρήση επίγειου σαρωτή laser δεν κρίνεται απαραίτητη η οριζοντίωση του οργάνου πάνω από το εκάστοτε σημείο-στάση. Για τις ανάγκες προσανατολισμού του αποτυπούμενου αντικειμένου ή περιοχής (δηλαδή της απεικόνισής τους), συχνά

χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αποτυπώσεων τεχνητοί στόχοι (σφαιρικοί ή ημισφαιρικοί υλικού έντονης φωτεινότητας, κυλινδρικοί ανακλαστικού υλικού ή και ασπρόμαυροι επίπεδοι στόχοι) ή φυσικοί, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν είναι δυνατή η πρόσβαση στο αντικείμενο ή που η τοποθέτηση τεχνητών στόχων μπορεί να καταστεί χρονοβόρα (Pfeifer & Briese, 2007). Οι στόχοι αυτοί, τεχνητοί ή φυσικοί, καταγράφονται και προσδιορίζονται γεωδαιτικά, εφόσον απαιτείται, με την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου και χρησιμοποιούνται ως σημεία ελέγχου, όπως τα φωτοσταθερά σημεία στην φωτογραμμετρική μέθοδο.

Το πεδίο σάρωσης από κάθε στάση (παράθυρο σάρωσης), είναι απαραίτητο να παρουσιάζει ορισμένη επικάλυψη με το προηγούμενο, και εφόσον χρησιμοποιούνται στόχοι, φυσικοί ή τεχνητοί, θα πρέπει ένα πλήθος τους να εμφανίζεται από κοινού σε δύο τουλάχιστον διαδοχικές επικαλυπτόμενες σαρώσεις. Η επικάλυψη των σαρώσεων είναι απαραίτητη για την μετέπειτα σύνδεση των σαρώσεων, στο στάδιο της επεξεργασίας.

Προϊόν κάθε σάρωσης είναι μια τρισδιάστατη οπτικοποίηση του αντικειμένου ή της περιοχής που έχει σαρωθεί. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα νέφος πολύ πυκνών διακριτών σημείων (**point cloud**)  $n$ -παρατηρήσεων,  $(x_i, y_i, z_i)_{i=1, \dots, n}$ , που αντιπροσωπεύουν την τρισδιάστατη θέση κάθε σημείου σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με κέντρο τον αισθητήρα του. Επίσης, καταγράφεται για κάθε σημείο μια μη-βαθμονομημένη τιμή της έντασης του επιστρεφόμενου φωτός (ακτινοβολίας). Ο μηχανισμός του σαρωτή θεωρείται ότι λειτουργεί με ένα σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων και σε κάθε ανίχνευση του επιστρεφόμενου σήματος που ανακλάται σε μια επιφάνεια καταγράφει τις δύο γωνίες διεύθυνσης, την οριζόντια γωνία  $\theta$  και την κατακόρυφη γωνία  $\varphi$ , και μετράει το εύρος (την απόσταση)  $\rho$  από την επιφάνεια του αντικειμένου που σαρώνεται. Κέντρο του σφαιρικού συστήματος αποτελεί ο ίδιος ο αισθητήρας του σαρωτή ( $\theta=0, \varphi=0$ ). Οι σφαιρικές συντεταγμένες  $(\theta, \varphi, \rho)$  μετασχηματίζονται σε καρτεσιανές  $(x, y, z)$  σύμφωνα με την Εξίσωση 2.3 (Soudarissanane, et al., 2009).

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix}_{i=1 \dots n} = \begin{pmatrix} \rho_i \cos \varphi_i \cos \theta_i \\ \rho_i \cos \varphi_i \sin \theta_i \\ \rho_i \sin \varphi_i \end{pmatrix}_{i=1 \dots n} \quad (2.3)$$

Οι παρατηρήσεις που αφορούν την ένταση της (επιστρεφόμενης) ακτινοβολίας συνήθως, αξιοποιούνται μόνο για σκοπούς οπτικοποίησης των σαρωμένων αντικειμένων (Pfeifer & Briese, 2007).

Με την σάρωση του αντικειμένου ή της περιοχής ενδιαφέροντος ολοκληρώνεται το στάδιο εργασιών πεδίου της μεθόδου και ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας των συλλεγμένων νεφών σημείων. Στο πρώτο τμήμα του σταδίου τα νέφη σημείων καθαρίζονται από τον θόρυβο (**noises**) και πραγματοποιείται η συνένωσή τους (**registration**), στο περιβάλλον ειδικών

λογισμικών. Ο θόρυβος αποτελεί επιπλέον σημεία, αποκομμένα από το υπόλοιπο νέφος, τα οποία είναι απαραίτητο να απομακρύνονται, καθώς επηρεάζουν την ακρίβεια του προϊόντος (Pawłowicz, 2014). Με την συνένωση των νεφών προκύπτει το τελικό νέφος σημείων με την συνολική απεικόνιση του αντικειμένου ή της περιοχής ενδιαφέροντος και επιτυγχάνεται ουσιαστικά ο σχετικός προσανατολισμός των σαρώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί από διαφορετικές στάσεις του οργάνου. Η συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων πραγματοποιείται με την αξιοποίηση είτε των τεχνητών ή φυσικών στόχων που έχουν σαρωθεί και μετρηθεί στο πεδίο ή μέσω διακεκριμένων σαρωμένων σημείων που εμφανίζονται από κοινού στις προς συνένωση σαρώσεις. Μέσω της στόχευσης (ψηφιακά, στο περιβάλλον του χρησιμοποιούμενου λογισμικού) τουλάχιστον τριών τέτοιων σημείων σύνδεσης υπολογίζονται οι παράμετροι μετασχηματισμού του συστήματος της μίας στάσης σε εκείνο μίας άλλης. Αν το προς αποτύπωση αντικείμενο χρειάζεται να ενταχθεί σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς, τότε για το τελικό νέφος σημείων, απαιτείται ο προσδιορισμός του απόλυτου προσανατολισμού. Αν το σύστημα αυτό αποτελεί κάποιο υπάρχον γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, τότε ακολουθείται η διαδικασία της γεωαναφοράς (*georeference*) (Pfeifer & Briese, 2007).

Το τελικό νέφος σημείων αποτελεί ουσιαστικά ένα πρωτόλειο τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο σε κλίμακα 1:1 (Kern, 2001) του αντικειμένου ή της περιοχής που έχει σαρωθεί. Ωστόσο, σημαντικά χαρακτηριστικά σημεία τους, όπως κορυφές γωνιών ή εξωτερικά ακραία όρια, δεν καταγράφονται άμεσα κατά την διάρκεια των σαρώσεων στο πεδίο. Έτσι απαιτείται να μοντελοποιηθούν μέσω του νέφους στο επόμενο τμήμα του σταδίου της επεξεργασίας (Boehler, et al., 2003). Στο στάδιο αυτό το τελικό νέφος σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή στοιχείων CAD (δηλαδή γεωμετρικών διανυσματικών στοιχείων) με την εφαρμογή επιπέδων ή κυλινδρικών, σφαιρικών και άλλων στοιχείων, δημιουργώντας μοντέλα αναπαράστασης ορίων (*B-Rep models*). Ακόμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων επιφανείας μέσω της διαδικασίας πολυγωνικής σύνδεσης των σημείων του νέφους (*triangulation/mesh generation*) (Boehler, et al., 2005; Lingua & Rinaudo, 2001; Kern, 2001; Haddad & Akasheh, 2005; Pfeifer & Briese, 2007) ή την δημιουργία όψεων ή διατομών με χρήση κατάλληλων λογισμικών. Επιπλέον, το νέφος σημείων έχει το χαρακτηριστικό πλεονέκτημα ότι τα αντικείμενα που έχουν σαρωθεί είναι εύκολο να αναγνωριστούν (Lemmens, 2011). Έτσι, δίνεται η δυνατότητα διεξαγωγής μετρήσεων επί του νέφους αλλά και η περαιτέρω ανάλυση των αντικειμένων που έχουν σαρωθεί ή τμημάτων τους (Bernat, et al., 2014).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το στάδιο αυτό της μετεπεξεργασίας του νέφους σημείων και της δημιουργίας προϊόντων όπως αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποτελεί σχεδόν αναπόσπαστο κομμάτι της μεθοδολογίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε νέφος σημείων

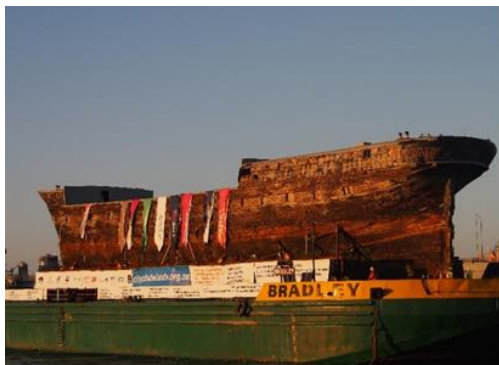


που παράγεται από έναν σαρωτή laser περιλαμβάνει ένα αξιοσημείωτο πλήθος μεικτών σφαλμάτων, έτσι ώστε δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί η ποιότητα του νέφους ως τελικού προϊόντος της μεθόδου, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα άλλων οργάνων/μεθόδων (Boehler, et al., 2003). Με άλλα λόγια, η ποιότητα κάθε σάρωσης δεν είναι δυνατό να κριθεί από την κάθε μία μέτρηση ξεχωριστά (δηλαδή από καθένα σημείο του νέφους), αλλά εστιάζοντας σε εξαγόμενα από το νέφος στοιχεία (σφαίρες, κυλίνδρους κ.α.) (Fröhlich & Mettenleiter, 2004).

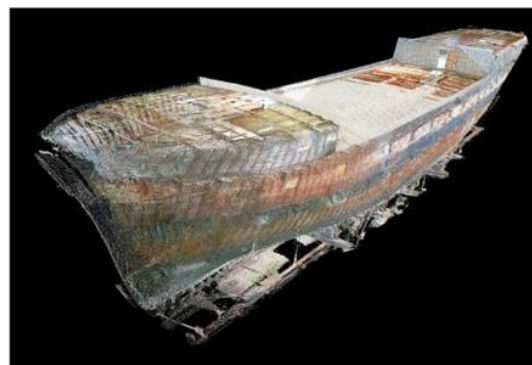
#### 2.1.4.2 Παραδείγματα Εφαρμογής της Μεθόδου Σάρωσης με Laser

Η μέθοδος σάρωσης με laser συναντάται πολύ συχνά στην πρόσφατη βιβλιογραφία, και ιδιαίτερα σε εφαρμογές καταγραφής της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παρατίθενται εδώ τρία παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου σε περιπτώσεις καταγραφής της ναυτικής πολιτιστικής κληρονομιάς.

Το πρώτο παράδειγμα αφορά το πλοίο «City of Adelaide» (ScARF, 2012-2018). Πρόκειται για ένα πλοίο τύπου clipper (τύπος ταχέως ιστιοπλοϊκού), το οποίο κατελκύστηκε το 1864 και αποτελεί ένα εκ των δύο παλαιότερων πλοίων του τύπου του. Μέχρι το 1887 πραγματοποιούσε δρομολόγια μεταξύ Βρετανίας και Αυστραλίας μεταφέροντας επιβάτες και προϊόντα ενώ από το 1923 και έως το 1948 περιήλθε στην υπηρεσία του Βασιλικού Ναυτικού του Ηνωμένου Βασιλείου με το όνομα HMS Carrick. Στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα χαρακτηρίστηκε ως ιστορικό πλοίο και το Σκωτσέζικο Ναυτικό Μουσείο ανέλαβε την συντήρησή του μέχρι το 2010 οπότε αποφασίστηκε η μεταφορά του στο λιμάνι της Αδελαΐδας στην Αυστραλία και η λειτουργία του εκεί ως μουσείου. Πριν την μεταφορά του και με το ενδεχόμενο της αποικοδόμησής του, πραγματοποιήθηκαν εργασίες για την ψηφιακή καταγραφή του πλοίου. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος σάρωσης με laser και αποτέλεσμα των εργασιών ήταν το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο του πλοίου με την επίθεση φωτογραφιών επί αυτού και κατατοπιστικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου.



(α)



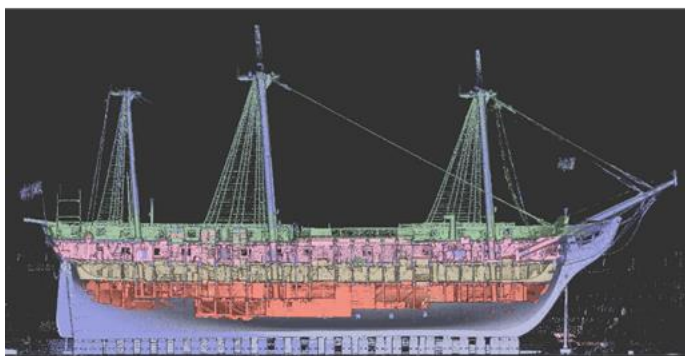
(β)

Εικόνα 2.3 - (α) Το πλοίο «City of Adelaide» στο έσω λιμάνι της Αδελαΐδας το 2014 (Bahudhara, 2014) - (β) Το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο του «City of Adelaide» (©Headland Archaeology)

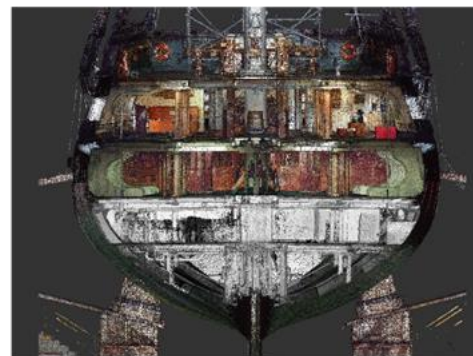
Το δεύτερο παράδειγμα αφορά το πλοίο «USS Constellation», ιστορική φρεγάτα του Ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών, ως το πρώτο πλοίο που περιήλθε στις υπηρεσίες του τελευταίου και το πρώτο που γνώρισε νίκη ενάντια σε εχθρικό πλοίο. Κατασκευάστηκε το 1797, αποσύρθηκε το 1853 και το 1854 ανακατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου. Σήμερα, βρίσκεται ελλιμενισμένο στο εσωτερικό λιμάνι της Βαλτιμόρης, του Μέριλαντ των Ηνωμένων Πολιτειών εξυπηρετώντας εκπαιδευτικούς και τουριστικούς σκοπούς. Το 2011 και το 2015 πραγματοποιήθηκαν δύο κύκλοι αποτύπωσης των καταστρωμάτων και των ανοιχτών χώρων του πλοίου με την εφαρμογή της μεθόδου σάρωσης με laser με την χρήση επίγειων σαρωτών laser και ενός σαρωτή laser χειρός. Προϊόν των εργασιών ήταν η απεικόνιση του πλοίου σε ένα ενιαίο νέφος σημείων με χρωματική πληροφορία, όπως λήφθηκε μέσω των επίγειων σαρωτών στον δεύτερο κύκλο των εργασιών πεδίου. Το τελικό νέφος παρέχει την δυνατότητα εξαγωγής μετρητικής πληροφορίας και αποτελεί εν δυνάμει αντικείμενο μελέτης (Raphael, 2016).



(α)



(β)

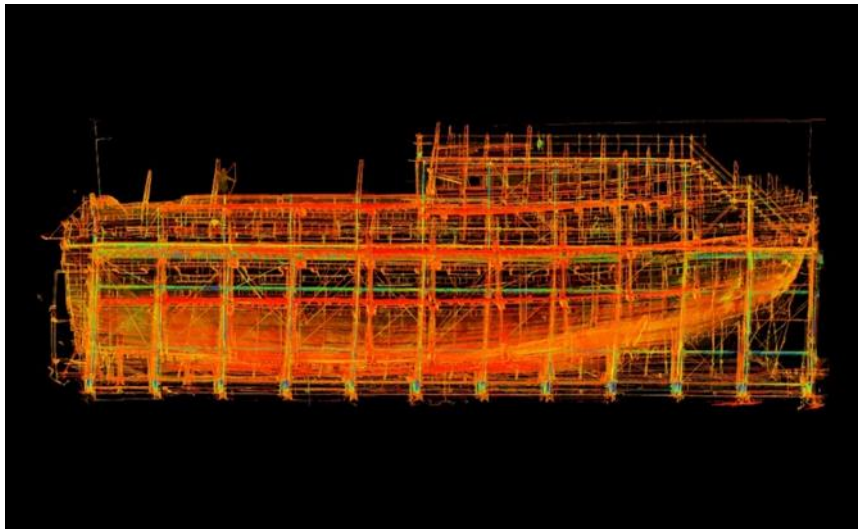


(γ)

**Εικόνα 2.4 - (α) Το «USS Constellation» το 2012 (Nfutvol, 2012) - (β) Απόδοση της μηκοτομής και (γ) διατομής του «USS Constellation» μέσω του τρισδιάστατου νέφους σημείων της απεικόνισής του (Raphael, 2016)**

Το τρίτο παράδειγμα αφορά το ιστορικό βρετανικό πλοίο «Mary Rose». Κατασκευάστηκε το 1511 για την επάνδρωση του βασιλικού στόλου του Ερρίκου VIII. Παρέμεινε στις υπηρεσίες του στόλου για 34 χρόνια, καθ' όλη σχεδόν την διάρκεια της βασιλείας του Ερρίκου VIII μέχρι το 1545

οπότε βυθίστηκε για άγνωστους λόγους κατά την διάρκεια της μάχης με τον γαλλικό στόλο στην τοποθεσία Solent της περιοχής του Πόρτσμουθ. Το ναυάγιο ανελκύστηκε το 1982 και μέχρι σήμερα εντοπίζεται στο Πόρτσμουθ όπου μέχρι το 2013 βρισκόταν υπό τις εργασίες χημικής συντήρησης. Το 2009 πραγματοποιήθηκε η πλήρης σάρωση του ναυαγίου, που μέχρι τότε είχε πραγματοποιηθεί μόνο περιμετρικά αυτού. Με την χρήση σαρωτών laser, προσαρμοσμένων σε ρομποτικό χέρι και ελεγχόμενων μέσω ασύρματου δικτύου, πραγματοποιήθηκαν 110 σαρώσεις καλύπτοντας κάθε περιοχή του ναυαγίου. Από τα δεδομένα των σαρώσεων προέκυψε το νέφος σημείων της απεικόνισης του ναυαγίου και παράχθηκε το σχετικό πλέγμα τριγώνων, δηλαδή το μοντέλο επιφανείας του (ABA Surveying, 2009-2018; The Mary Rose Trust, 2018).



**Εικόνα 2.5 - Το νέφος σημείων της απεικόνισης του ναυαγίου του Mary Rose, όπως προέκυψε από τα δεδομένα σαρώσεων laser (ABA Surveying, 2009-2018)**

### 2.1.5 Εναλλακτικές Μέθοδοι

Το πλήθος και τα πλεονεκτήματα των διαθέσιμων τεχνολογιών που αφορούν τον τομέα των αποτυπώσεων, καθώς και η διαφορετικότητα των απαιτήσεων κάθε εφαρμογής αποτύπωσης, συχνά οδηγούν στην ανάπτυξη υβριδικών μεθόδων για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, με την έννοια της συλλογής των κατάλληλων δεδομένων για την εξαγωγή της απαραίτητης πληροφορίας που θα οδηγήσει τελικά στην παραγωγή του ζητούμενου προϊόντος.

Είναι σαφές σε αυτό το πλαίσιο ότι κάθε τέτοια υβριδική μέθοδος προκύπτει από υπάρχουσες οι οποίες λειτουργούν συμπληρωματικά η μία προς την άλλη, συνδυάζοντας τους διαφορετικούς τύπους δεδομένων που συλλέγονται με την απομονωμένη εφαρμογή καθεμιάς.

Εφόσον γίνεται λόγος για εφαρμογές αποτύπωσης, μία τουλάχιστον εκ των συνιστωσών μεθόδων επιλέγεται για την απόδοση χωρικής και γεωμετρικής πληροφορίας. Η

συμπληρωματική ή οι συμπληρωματικές μέθοδοι ενισχύουν την πρώτη είτε με επιπλέον γεωμετρική πληροφορία είτε και με άλλη, μετρητική ή/και εικονιστική.

Ειδικά στο πλαίσιο διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, συναντάται πολύ συχνά ο συνδυασμός της φωτογραμμετρικής μεθόδου με εκείνη της σάρωσης laser ([Abmayr, et al., 2005](#); [Chee Wei, et al., 2010](#); [Menna, et al., 2011](#)). Επίσης, και σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, καθεμιά από αυτές συχνά εφαρμόζεται συνδυαστικά με την τοπογραφική μέθοδο. Ακόμα, το ενδιαφέρον συγκεντρώνουν οι θερμικές απεικονίσεις, οι οποίες φαίνεται να αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο ([Rangel, et al., 2014](#)), ειδικά στον τομέα της αρχαιολογίας ή της αρχιτεκτονικής ([Cabrelles, et al., 2009](#); [Vidas, et al., 2013](#); [Ham & Golparvar-Fard, 2012](#); [Lagüela, et al., 2012](#); [Iwaszczuk, et al., 2011](#)), με σημαντικό πλεονέκτημα την δυνατότητα εξαγωγής εικονιστικής πληροφορίας ([Optris, 2015-2018](#)) που δεν είναι δυνατόν να γίνει αντιληπτή με άλλες μεθόδους (π.χ. γειτονικά χαρακτηριστικά ίδιου χρώματος και διαφορετικού υλικού που συνθέτουν το αντικείμενο ή την περιοχή ενδιαφέροντος).

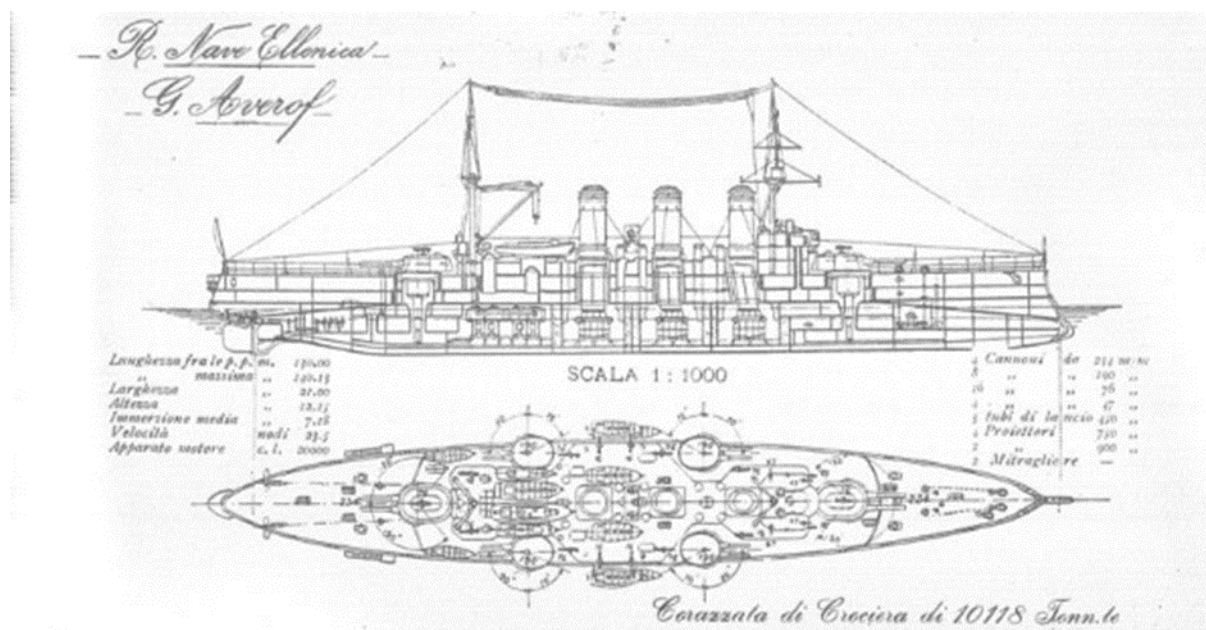
Ταυτόχρονα με την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, για την ανάπτυξη και την εφαρμογή μιας υβριδικής μεθόδου αποτύπωσης λαμβάνονται υπόψιν ως σημαντικοί κατευθυντήριοι άξονες η ταχύτητα συλλογής των δεδομένων και, ιδιαίτερα στην σύγχρονη ψηφιακή εποχή, η δυνατότητα αυτοματισμού της μεθόδου ή/και η διάθεση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (*real-time*). Χαρακτηριστικά παραδείγματα υβριδικών μεθόδων προς αυτές τις κατευθύνσεις αναφέρονται στην ηλεκτρονική σελίδα του Ινστιτούτου Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας ([ΙΠΕΤ, 2006-2018](#)).

## 2.2 Το Αντικείμενο Μελέτης: Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

### 2.2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Το «Γεώργιος Αβέρωφ» αποτελεί πολεμικό πλοίο και συγκεκριμένα, θωρακισμένο καταδρομικό (ακριβέστερα, θωρακισμένο εύδρομο), κλάσης Pisa (*Pisa-class armored cruiser*). Ναυπηγήθηκε την περίοδο 1907 – 1911 στα Ναυπηγεία Ορλάντο, στο Λιβόρνο της Ιταλίας, με βάση το σχέδιο του ναυπηγού Ιωσήφ Ορλάντο και ακολουθώντας τη ναυπήγηση των αδελφών του πλοίων Pisa και Amalfi ([Wikipedia contributors, 2018](#)). Εντάχθηκε στο τότε Ελληνικό Βασιλικό Ναυτικό στο πλαίσιο των αναγκών ενίσχυσης και εκσυγχρονισμού του πολεμικού στόλου.





Εικόνα 2.6 - Σχέδιο της μηκτομής και της κάτοψης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», περί το 1905 (Γαρδίκια-Κατσιαδάκη & Χαρωνίτης, 2002)

Το πλοίο φέρει το όνομα του Έλληνα επιχειρηματία και ενός από τους μεγαλύτερους εθνικούς ευεργέτες, Γεωργίου Αβέρωφ, σύμφωνα με την διαθήκη του. Μέσω αυτής διέθετε το 20% της περιουσίας του για την ναυπήγηση πολεμικού πλοίου, επονομαζόμενου από τον ίδιο, που θα επιτελούσε επίσης εκπαιδευτικό σκοπό. Έτσι, από το ποσό που δαπανήθηκε για την απόκτηση του πλοίου, το 1/3 καλύφθηκε από την εισφορά του Γ. Αβέρωφ και το υπόλοιπο από το Ταμείο Εθνικού Στόλου (Συντάκτες της Βικιπαίδειας, 2018; Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, 2017-2018).



Εικόνα 2.7 - Η καθέλκυση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», Ναυπηγεία Ορλάντο, 12 Μαρτίου 1910 ((Photographer): Abeniagar, 1910)

Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» καθελκύστηκε τον Μάρτιο του 1910, παραλήφθηκε τον Μάιο του 1911 και απέπλευσε για την Βρετανία όπου συμμετείχε στις τελετές στέψης του Βασιλιά Γεωργίου Ε'. Τον Σεπτέμβριο του ίδιου χρόνου κατέπλευσε στην Ελλάδα και συγκεκριμένα, στο Φάληρο, σε ένα εορταστικό κλίμα για την άφιξή του.

Κατά τον Α' Βαλκανικό Πόλεμο (1912 - 1913) το πλοίο τέθηκε ναυαρχίδα του Στόλου, συμμετείχε στις επιχειρήσεις απελευθέρωσης των νησιών του Ανατολικού Αιγαίου ενώ καθοριστικός ήταν ο ρόλος του στις ναυμαχίες της Έλλης (3 Δεκεμβρίου 1912) και της Λήμνου (5 Ιανουαρίου 1913) ενάντια στον Οθωμανικό Στόλο.

Στην διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου (1914 - 1918) δεν σημείωσε ιδιαίτερα ενεργό δράση λόγω της αρχικά ουδέτερης στάσης της Ελλάδας. Μάλιστα, έπειτα από τα «Νοεμβριανά» το 1916 κατασχέθηκε από την Γαλλία προκειμένου να προληφθεί οποιαδήποτε δράση του ενάντια στην Αντάντ.

Στον Ελληνοτουρκικό Πόλεμο (1919 - 1922) που ακολούθησε, η συμμετοχή του πλοίου ήταν επικουρική των πολεμικών επιχειρήσεων με την μεταφορά ελληνικών στρατευμάτων στην Ιωνία της Μικράς Ασίας. Με την Καταστροφή του 1922, που σήμανε το τέλος του πολέμου, το πλοίο βοήθησε στην μεταφορά των στρατευμάτων και των προσφύγων στην Ελλάδα και την Ανατολική Θράκη.

Την περίοδο 1925 - 1928 το «Γ. Αβέρωφ» βρέθηκε στην Γαλλία, στα Ναυπηγεία Forges et Chantiers για την επισκευή και αναβάθμισή του. Το 1937 απέπλευσε για την Βρετανία όπου συμμετείχε στις τελετές στέψης του Βασιλιά Γεωργίου ΙΣΤ' αυτή τη φορά.

Κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (1939 - 1945) το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αρχικά τέθηκε ξανά ως ναυαρχίδα του Στόλου μέχρι τον Απρίλιο του 1941 οπότε, με την εισβολή και ραγδαία προέλαση των γερμανικών στρατευμάτων στην Ελλάδα και ταυτόχρονα λόγω της παλαιότητας του πλοίου, δόθηκε διαταγή από το Υπουργείο Ναυτικών για την αυτοβύθισή του. Όμως, με πρωτοβουλία των πληρωμάτων, το πλοίο κατέφυγε στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου μαζί με τα εναπομείναντα του Ελληνικού Στόλου. Από εκεί κατευθύνθηκε στη Βομβάη της Ινδίας για γενική επισκευή και επιθεώρηση και μέχρι το 1942 δραστηριοποιήθηκε στον Ινδικό Ωκεανό, με αποστολή την προστασία νηοπομπών κατευθυνόμενων από την Βομβάη στο Άντεν. Στη συνέχεια κατέπλευσε στο Πορτ Σάιντ της Αιγύπτου συμμετέχοντας σε αποστολές προστασίας λιμένων. Τον Οκτώβριο του 1944 το «Γ. Αβέρωφ» επέστρεψε στην Ελλάδα μεταφέροντας την μέχρι τότε εξόριστη ελληνική κυβέρνηση πίσω στην χώρα.



(α)



(β)



(γ)

**Εικόνα 2.8 - (α) Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με στρατιωτικό καμουφλάζ σε αποστολή προστασίας νηοπομπών, Βομβάη, 1942 (UK Royal Navy, 1942) - (β) Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» σε αποστολή προστασίας λιμένων στο Πορτ Σάιντ, 1943 (Lt. Allen, 1943)- (γ) Η άφιξη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στο λιμάνι του Πειραιά, 20 Οκτωβρίου 1944 (Lt. Oulds, 1944)**

Την περίοδο 1947 – 1949 το πλοίο έγινε Αρχηγείο Στόλου στο Κερατσίνι και το 1952 διατάχθηκε ο παροπλισμός του λόγω της παλαιότητάς του. Στο διάστημα 1957 – 1983 βρισκόταν ελλιμενισμένο στον Πόρο. Το 1984 το Πολεμικό Ναυτικό αποφάσισε την αποκατάσταση, την μεταφορά του στο Φάληρο και την μετατροπή του σε πλωτό μουσείο. Μέχρι και σήμερα το πλοίο αποτελεί το Πλωτό Ναυτικό Μουσείο Θωρηκτό «Γεώργιος Αβέρωφ», με έδρα το Άλσος Ελληνικής Ναυτικής Παράδοσης στην τοποθεσία Τροκαντερό της Μαρίνας Φλοίσβου στο Φάληρο.

Τον Απρίλιο του 2017 απέπλευσε από το Φάληρο για την επισκευαστική των Ναυπηγείων Σκαραμαγκά με σκοπό την διεξαγωγή εργασιών συντήρησης και επισκευής του που διήρκησαν τρεις μήνες, οπότε και επέστρεψε στο Τροκαντερό. Τον Οκτώβριο του ίδιου χρόνου κατέπλευσε ρυμουλκούμενο στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης μέσα από ένα ταξίδι 60 ωρών περίπου, με αφορμή τις εορταστικές εκδηλώσεις της 28<sup>ης</sup> Οκτωβρίου. Δύο μήνες αργότερα επέστρεψε στην μόνιμη θέση ελλιμενισμού του, στο Φάληρο.

Το πλοίο έχει βραβευθεί δύο φορές, την πρώτη φορά, το 2003, με το χρυσό μετάλλιο της Ακαδημίας Αθηνών για τις υπηρεσίες που προσέφερε και την δεύτερη φορά, στην ετήσια τελετή απονομής των Ελληνικών Ναυτιλιακών Βραβείων 2017, όπου του απονεμήθηκε το βραβείο «Πλοίο του έτους 2017» ([Maritime intelligence - informa, 2017-2018](#)).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» αποτελεί το μοναδικό στον κόσμο δείγμα πλοίου του τύπου του (θωρακισμένου καταδρομικού ή εύδρομου) που διατηρείται έως και σήμερα ([Συντάκτες της Βικιπαίδειας, 2018](#)).



**Εικόνα 2.9 - Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στην μόνιμη θέση ελλιμενισμού του στο Άλσος Ελληνικής Ναυτικής Παράδοσης, Μαρίνα Φλοίσβου - Τροκαντερό, Π. Φάληρο (Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, 2017-2018)**

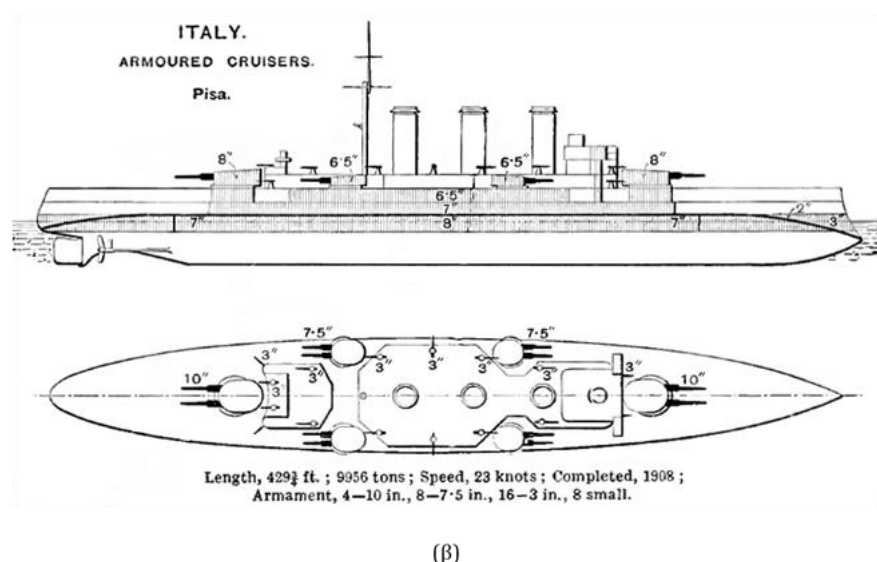
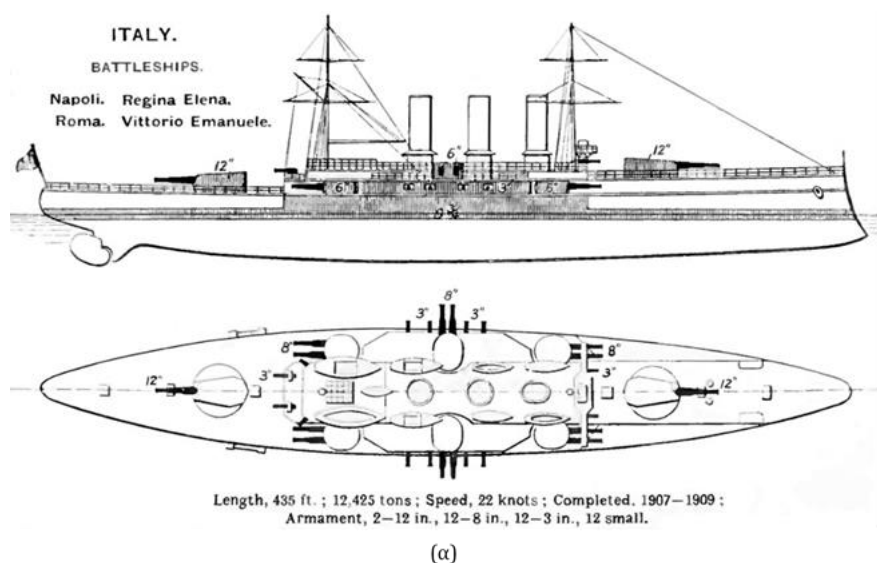
### **2.2.2 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά & Κύρια Στοιχεία του Πλοίου**

Το πλοίο «Γ. Αβέρωφ», που συνήθως αναφέρεται και είναι γνωστό ως θωρηκτό, ανήκει στην κατηγορία των θωρακισμένων καταδρομικών (ή εύδρομων). Με τα αδελφά του πλοία Pisa και



Amalfi, τα οποία ήταν αντίστοιχα ενταγμένα στο Ιταλικό Βασιλικό Ναυτικό (*Regia Marina*), είναι της κλάσης Pisa (*Pisa class*) (Wikipedia contributors, 2018).

Η κλάση Pisa σχεδιάστηκε το 1904 από τον Ιταλό ναυπηγό Ιωσήφ Ορλάντο. Η σχεδίαση πολεμικών πλοίων στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποτελούσε, όπως και σήμερα, μια επαναληπτική διαδικασία που βασιζόταν σε κάποια προγενέστερη επιτυχημένη σχεδίαση. Σημείο εκκίνησης της σχεδίασης ήταν ο οπλισμός του νέου πλοίου ο οποίος αντιστοιχούσε και σε συγκεκριμένο βάρος. Έτσι η κλάση Pisa αποτελεί μια αναπαραγωγή σε μικρότερη κλίμακα του εξοπλισμού, του οπλισμού και της θωράκισης της ήδη υπάρχουσας κλάσης πολεμικών πλοίων Regina Elena (Αλούδρας, 2014).



Εικόνα 2.10 – Δεξιά όψη και κάτοψη της κλάσης πολεμικών πλοίων (α) Regina Elena (Anon., 1912) και (β) Pisa (Anon., 1923)

Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» έχει, σύμφωνα με την κλάση του, συνολικό μήκος 140.5m, πλάτος 21m και βύθισμα (ύψος υφάλων, μέχρι την ίσαλο γραμμή) 7.1m. Το εκτόπισμά του ανέρχεται στους 10,118 τόνους. Το σχήμα του πλοίου είναι χαρακτηριστικό της εποχής σχεδιάσής του. Διαθέτει εμβολοφόρο πλώρη, πρύμνη καταδρομικού και ελαφρά ελάττωση του πλάτους άνω της ισάλου γραμμής.



(α)



(β)

**Εικόνα 2.11 - (α) Άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την πλώρη - (β) Άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την πρύμνη (archaeology & arts, 2015)**

Το πλοίο είναι κατασκευασμένο από κοινό ναυπηγικό χάλυβα, εκτός από την θωράκισή του που είναι από χάλυβα Kgurp, δύο φορές πιο αποτελεσματικό από τον κοινό.

Διαθέτει τρία συνεχή καταστρώματα: το άνω ή εξωτερικό κατάστρωμα, το κύριο ή κατάστρωμα μάχης και το κάτω κατάστρωμα που αποτελεί την οροφή του μηχανοστασίου και των λεβητοστασίων.

Στα κύρια στοιχεία της υπερκατασκευής του «Γ. Αβέρωφ» περιλαμβάνονται η γέφυρα, το πρόστεγο και το επίστεγο (αποθηκευτικοί χώροι επί του κυρίου καταστρώματος), το πρωραίο και το πρυμναίο κατάρτι και οι καπνοδόχοι (φουγάρα), τρεις στον αριθμό. Ενώ τα κύρια σημεία του εμφανούς οπλισμού του, τα οποία διατηρούνται μέχρι σήμερα, είναι τέσσερα πυροβόλα (23.4cm) σε δύο δίδυμους πύργους κατά μήκος και ανά ένας σε πλώρη και πρύμνη, μπροστά από το πρόστεγο και το επίστεγο αντίστοιχα, και οκτώ πυροβόλα (19.5cm) σε τέσσερις δίδυμους πύργους ανά δύο εκατέρωθεν των πλευρών της υπερκατασκευής και στο ύψος της μέσης.

Πέρα από τις αναβαθμίσεις και επισκευές του κατά τα ενεργά έτη του, από το 1985 και έπειτα, το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» εξακολουθεί να υφίσταται εργασίες συντήρησης ή και στοχευμένων αναβαθμίσεων στην προσπάθεια να διατηρηθεί ο ρόλος του ως πλωτού μνημείου της ναυτικής ιστορίας της Ελλάδας (HuffPost Greece, 2017).

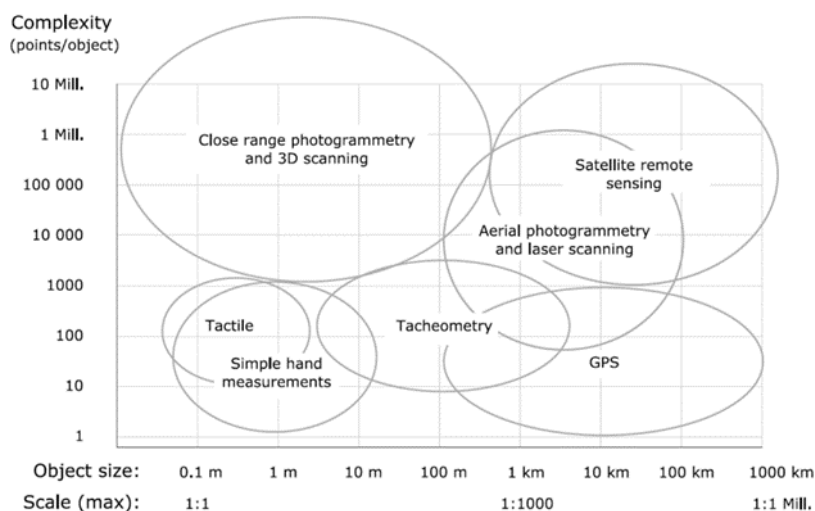


Εικόνα 2.12 - Πανοραμική άποψη του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την αριστερή πρυμναία πλευρά του - απόσπασμα εικόνας (Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, 2017-2018)

### 2.3 Η Μεθοδολογία Αποτύπωσης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

Σύμφωνα και με όσα έχουν αναφερθεί στην παρούσα ενότητα, υπάρχουν αρκετές και διαφορετικές τεχνολογίες που υποστηρίζουν την ψηφιακή καταγραφή και αποτύπωση αντικειμένων και περιοχών. Κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, συνοδεύεται από συγκεκριμένους περιορισμούς και βρίσκει εφαρμογή σε συγκεκριμένα πεδία. Στο διάγραμμα του (Böhler, 2006) στο Σχήμα 2.4, αποδίδεται η ποικιλία αυτή των μεθόδων και το εύρος καθεμιάς όσον αφορά την εφαρμογή τους σε ένα τεχνικοοικονομικό πλαίσιο. Όπως φαίνεται, σε κάθε μέγεθος αντικειμένου/περιοχής αντιστοιχούν παραπάνω της μίας μέθοδοι αποτύπωσης, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο άξονας της πολυπλοκότητας «complexity» δεν αναφέρεται στην πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του προς αποτύπωση αντικειμένου (ή περιοχής), αλλά στην επίτευξη ορισμένης πυκνότητας πληροφορίας με την χρήση της εκάστοτε μεθόδου/τεχνολογίας. Βέβαια, όπως αναφέρεται και

από τον (Hyttel, 2011), οι μέθοδοι και η επιλογή της κατάλληλης για κάθε εφαρμογή δεν περιορίζεται μόνο στις δύο κατευθύνσεις του διαγράμματος αυτού.



**Σχήμα 2.4 - Τεχνικοοικονομική κατηγοριοποίηση των διάφορων μεθόδων συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων (Böhler, 2006)**

Στην παρούσα εφαρμογή, το αντικείμενο αποτελεί ένα μεγάλων διαστάσεων και πολύπλοκης γεωμετρίας μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς, καθ' αυτό και ανεξάρτητα από την τοποθεσία του. Πρόκειται για πλοίο, συνεπώς, είτε αυτό είναι ελλιμενισμένο είτε εκτός του υγρού στοιχείου, τίθενται περιορισμοί στην προσβασιμότητά του. Το πλεονέκτημα της παραμονής του εκτός νερού (βλ. Ενότητα 3.3.2), είναι η αποτύπωση του συνόλου του με δυνατότητα χρήσης μίας μεθόδου. Σκοπός της αποτύπωσης στην παρούσα μελέτη είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του πλοίου στο πλαίσιο διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς και, συνεπώς, στον βαθμό λεπτομέρειας που αυτό απαιτεί.

Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα του Böhler παραπάνω, για το μέγεθος του αντικειμένου μελέτης και την πυκνότητα της λεπτομέρειας που απαιτεί η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, ως πλέον κατάλληλες μέθοδοι αποτύπωσης κρίνονται από κοινού η φωτογραμμετρική (*close-range photogrammetry*) και εκείνη της σάρωσης με laser (*3D scanning*). Οι δύο μέθοδοι χαρακτηρίζονται από πλεονεκτήματα που τις καθιστούν αμφίδρομα συμπληρωματικές. Ωστόσο, η από κοινού εφαρμογή τους δεν κρίνεται τεχνικοοικονομικά κατάλληλη, καθώς απαιτεί μεγαλύτερη επένδυση σε εξοπλισμό (όργανα και λογισμικά επεξεργασίας) και χρόνο (εργασιών πεδίου και επεξεργασίας δεδομένων).

Για την περίπτωση της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιφανείας κρίνεται ως πιο άμεση η μέθοδος της τρισδιάστατης αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή laser έναντι της φωτογραμμετρικής, καθώς η πρώτη καταγράφει σε πραγματικό χρόνο πληροφορία στις τρεις

διαστάσεις ενώ η δεύτερη απαιτεί την εξαγωγή τρισδιάστατης πληροφορίας μέσα από την επεξεργασία της δισδιάστατης πληροφορίας των εικόνων που λαμβάνονται στο πεδίο.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε λοιπόν για την αποτύπωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είναι εκείνη της σάρωσης με την χρήση επίγειου σαρωτή laser και την δημιουργία του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου επιφανείας του πλοίου μέσα από την επεξεργασία νεφών σημείων.

Όπως εξηγείται στο επόμενο κεφάλαιο (βλ. *Κεφάλαιο 3*), η φύση του αντικειμένου αποτύπωσης δημιούργησε στο πεδίο περιορισμούς στην εφαρμογή της επιλεγείσας μεθόδου. Συμπληρωματικά λοιπόν επιλέχθηκε να εφαρμοστούν η τοπογραφική μέθοδος, με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού για την καταγραφή επιλεγμένων σημείων λεπτομερειών, και η θερμογραφική αποτύπωση, με χρήση θερμικής κάμερας για την ανάδειξη χαρακτηριστικών του αντικειμένου που στάθηκε αδύνατο να καταγραφούν ευδιάκριτα (έως και εξ ολοκλήρου) με την κύρια μέθοδο.

# Κεφάλαιο 3



## 3 Συλλογή Δεδομένων

### 3.1 Εισαγωγή

Τα απαραίτητα δεδομένα για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» συλλέχθηκαν κυρίως μέσω εργασιών υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν επί τόπου στο πλοίο, ενώ χρήσιμη γεωμετρική πληροφορία εξήχθη από τα ναυπηγικά σχέδια του πλοίου που μας παρήχθησαν από το Μουσείο Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Για την καταγραφή και αποτύπωση της απαραίτητης πληροφορίας στο πεδίο εφαρμόστηκε κυρίως η τρισδιάστατη σάρωση laser με την χρήση επίγειων σαρωτών laser (*terrestrial laser scanners*), ενώ συμπληρωματικά εφαρμόστηκε η τοπογραφική μέθοδος με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού (*total station*) καθώς και η θερμογραφική αποτύπωση με την χρήση θερμοκάμερας (*infrared camera*).

Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στις εργασίες υπαίθρου για την αποτύπωση του πλοίου (αρχή λειτουργίας και τεχνικά χαρακτηριστικά) και στη συνέχεια παρατίθεται λεπτομερώς το ημερολόγιο των εργασιών υπαίθρου με την περιγραφή των μεθόδων που εφαρμόστηκαν επί τόπου στο πλοίο.

### 3.2 Όργανα και Εξοπλισμός Πεδίου

#### 3.2.1 Επίγειοι Σαρωτές Laser (Terrestrial Laser Scanners)

Τρεις επίγειοι σαρωτές laser χρησιμοποιήθηκαν στις εργασίες υπαίθρου για την εφαρμογή της κατεξοχήν μεθόδου αποτύπωσης, της σάρωσης laser: ο ScanStation 2 της Leica, ο οποίος ανήκει στη ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, ο Focus<sup>M</sup> 70 της FARO και ο ScanStation P30/40 της Leica.

### 3.2.1.1 Leica ScanStation 2

Ο σαρωτής ScanStation 2 (Εικόνα 3.1) της Leica Geosystems ([Leica Geosystems](#)) έχει λειτουργία που στηρίζεται στην αρχή «Time-of-flight» (βλ. Ενότητα 2.1.4) και τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- δυνατότητα καταγραφής έως και 50,000 σημείων το δευτερόλεπτο
- εμβέλεια έως και 300m (για επιφάνειες που παρουσιάζουν τουλάχιστον 90% ανακλαστικότητα)
- ακρίβεια θέσης/απόστασης/γωνιακή (κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση) στα 6mm, 4mm, 60μrad, αντίστοιχα, για μετρήσεις σε απόσταση έως 50m
- διάμετρος ακτίνας laser 4-6mm σε απόσταση έως 50m
- ελάχιστο βήμα σάρωσης 1mm
- λειτουργία dual-axis compensator για την διόρθωση της οριζόντιας γωνίας όταν ο σαρωτής δεν είναι απόλυτα οριζοντιωμένος
- δυνατότητα πανοραμικής σάρωσης με μέγιστο παράθυρο σάρωσης 360° κατά την οριζόντια και 270° κατά την κατακόρυφη διεύθυνση



Εικόνα 3.1 - Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2 (Leica Geosystems)

Ο εν λόγω σαρωτής έχει διαστάσεις 265 x 370 x 510 mm και βάρος 18.5kg (χωρίς μπαταρία). Λειτουργεί είτε με ρεύμα είτε με μπαταρία και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από 0°C έως 40°C. Διαθέτει ενσωματωμένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, η οποία χρησιμοποιείται για την φωτογράφιση του προς αποτύπωση αντικειμένου και την επιλογή από τον χρήστη του παραθύρου σάρωσης. Ο σαρωτής ScanStation 2 έχει την δυνατότητα να αναγνωρίζει τους ειδικούς στόχους (σφαιρικούς, ημισφαιρικούς ή επίπεδους) που συχνά χρησιμοποιούνται στις σαρώσεις. Παρέχει την δυνατότητα κέντρωσης και οριζοντίωσης επάνω από συγκεκριμένο σημείο μέσω του τρικόχλιου αλλά και της σφαιρικής αεροστάθμης που διαθέτει. Για την



οριζοντίωση του σαρωτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η ψηφιακή αεροστάθμη στο πρόγραμμα Cyclone της Leica. Ο χειρισμός του ScanStation 2 γίνεται μέσω φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή, όπου και αποθηκεύονται κατ' ευθείαν τα δεδομένα των σαρώσεων, με την βοήθεια του προγράμματος Cyclone της Leica. Η σύνδεση του σαρωτή με το ηλεκτρονικό μέσο γίνεται μέσω καλωδίου Ethernet.

Κατά την διάρκεια των εργασιών στο πεδίο χρησιμοποιήθηκαν ο ειδικός τρίποδας που συνοδεύει τον σαρωτή, τρεις ειδικοί ημισφαιρικοί στόχοι με τους αντίστοιχους τρίποδες και ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής για τον χειρισμό του σαρωτή. Επίσης, χρειάστηκαν δύο καρούλια καλωδίων για την παροχή ρεύματος τόσο στον υπολογιστή όσο και στον σαρωτή (η μπαταρία του οργάνου δεν αξιοποιήθηκε για την αποφυγή τυχούσας διακοπής των μετρήσεων).

### 3.2.1.2 Leica ScanStation P 30/40

Ο σαρωτής ScanStation P30/40 (Εικόνα 3.2) της Leica Geosystems ([Leica Geosystems](#)) χρησιμοποιήθηκε στις εργασίες αποτύπωσης που πραγματοποιήθηκαν από την εταιρεία Metrica. Πρόκειται για μοντέλο σαρωτών της Leica μεταγενέστερο του ScanStation 2. Η αρχή λειτουργίας του είναι η «Time-of-flight» ενισχυμένη με την τεχνολογία WFD (*Waveform Digitising*). Αυτό πρακτικά σημαίνει τον συνδυασμό της «Time-of-flight» με την «Phase-shift» αρχή λειτουργίας (βλ. Ενότητα 2.1.4), προσδίδοντας στον συγκεκριμένο σαρωτή μεγάλη εμβέλεια όσο και ταχύτητα σάρωσης. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ScanStation P 30/40 είναι:

- δυνατότητα καταγραφής έως και 1,000,000 σημείων το δευτερόλεπτο
- εμβέλεια έως και 270m (στην P 40 αναβάθμιση και για επιφάνειες που παρουσιάζουν τουλάχιστον 34% ανακλαστικότητα)
- ακρίβεια θέσης/απόστασης/γωνιακή (κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση) κατά αντιστοιχία στα 3mm σε απόσταση 50m και στα 6mm σε απόσταση 100m, στα 1.2mm+10ppm επί της μέγιστης εμβέλειας, στα 39μrad
- διάμετρος ακτίνας laser  $\leq 3.5\text{mm}$
- λειτουργία dual-axis compensator για την διόρθωση της οριζόντιας γωνίας όταν ο σαρωτής δεν είναι απόλυτα οριζοντιωμένος
- δυνατότητα πανοραμικής σάρωσης με μέγιστο παράθυρο 360° κατά την οριζόντια και 270° κατά την κατακόρυφη διεύθυνση





**Εικόνα 3.2 - Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation P 30/40 (Leica Geosystems)**

Ο συγκεκριμένος σαρωτής είναι μικρότερος και ελαφρύτερος από τον ScanStation 2, με διαστάσεις 238 x 358 x 395 mm και βάρος 12.25kg (χωρίς μπαταρία). Λειτουργεί επίσης είτε με ρεύμα είτε με μπαταρία αλλά σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών περιβάλλοντος, από -20°C έως +50°C. Διαθέτει εσωτερική ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με δυνατότητα λήψης βίντεο μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να ορίσει το παράθυρο σάρωσης, ενώ υποστηρίζει και εξωτερική φωτογραφική μηχανή. Όμοια με τον ScanStation 2, έχει την δυνατότητα αναγνώρισης ειδικών στόχων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμβατικός γεωδαιτικός σταθμός. Η κέντρωση του ScanStation P 30/40 επάνω από συγκεκριμένο σημείο πραγματοποιείται με την λειτουργία της κατακόρυφης ακτίνας laser που διαθέτει το όργανο. Η οριζοντίωσή του επιτυγχάνεται μέσω του τρικόχλιου, με την βοήθεια της σφαιρικής αεροστάθμης. Ο χειρισμός του σαρωτή μπορεί να γίνει είτε μέσω της οθόνης αφής που διαθέτει είτε με τηλεχειριστήριο, ηλεκτρονικό υπολογιστή ή smartphone μέσω ασύρματης σύνδεσης σε τοπικό δίκτυο. Τα δεδομένα των σαρώσεων αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη που διαθέτει ο σαρωτής και μπορούν να μεταφερθούν μέσω ασύρματης σύνδεσης σε τοπικό δίκτυο ή συσκευής ενιαίου σειριακού διαύλου (USB).

Κατά την διάρκεια των εργασιών στο πεδίο χρησιμοποιήθηκε μαζί με τον σαρωτή ο ειδικός τρίποδας που τον συνοδεύει.

### **3.2.1.3 FARO Focus<sup>M</sup> 70**

Ο σαρωτής Focus<sup>M</sup> 70 (Εικόνα 3.3) της Faro Technologies (FARO) χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο από την εταιρεία JGC, η οποία συμμετείχε στις εργασίες αποτύπωσης. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αρχή «Phase-shift» και τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- δυνατότητα καταγραφής έως και 488,000 σημείων το δευτερόλεπτο
- εμβέλεια έως και 70m (για επιφάνειες με ελάχιστη ανακλαστικότητα 10%)

- ακρίβεια απόστασης στα 3mm για μετρήσεις σε αποστάσεις από 10m έως 25m
- διάμετρος ακτίνας laser (στην έξοδο της ακτίνας)  $\approx 2.12\text{mm}$
- λειτουργία dual-axis compensator για την διόρθωση της οριζόντιας γωνίας όταν ο σαρωτής δεν είναι απόλυτα οριζοντιωμένος
- δυνατότητα πανοραμικής σάρωσης με μέγιστο παράθυρο σάρωσης  $360^\circ$  κατά την οριζόντια και  $300^\circ$  κατά την κατακόρυφη διεύθυνση



**Εικόνα 3.3 - Ο επίγειος σαρωτής laser Focus<sup>M</sup> 70 της FARO (IndiaMART, 1996-2018 )**

Ο συγκεκριμένος σαρωτής είναι εξαιρετικά μικρός και ελαφρύς, με διαστάσεις 230 x 183 x 103 mm και βάρος 4.2kg (συμπεριλαμβανομένης της μπαταρίας). Λειτουργεί είτε με ρεύμα είτε με μπαταρία και, όμοια με τον ScanStation P30/40 της Leica, σε εκτεταμένο εύρος θερμοκρασιών, από  $-20^\circ\text{C}$  έως  $+50^\circ\text{C}$ . Διαθέτει εσωτερική ψηφιακή φωτογραφική μηχανή η οποία δίνει την δυνατότητα απόδοσης εικόνων με την τεχνική HDR (*High Dynamic Range*), για μεγαλύτερο εύρος τιμών φωτεινότητας, πιο κοντά στην αντίληψη του ανθρώπινου ματιού. Ο χειρισμός του Focus<sup>M</sup> 70 γίνεται μέσω της οθόνης αφής που διαθέτει. Τα δεδομένα των σαρώσεων αποθηκεύονται στην κάρτα μνήμης του οργάνου και μέσω αυτής μπορούν να μεταφερθούν σε κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Κατά την διάρκεια των εργασιών στο πεδίο χρησιμοποιήθηκε μαζί με τον σαρωτή ο ειδικός τρίποδας που τον συνοδεύει.

### **3.2.2 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station)**

Για την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου στις εργασίες αποτύπωσης χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός της Leica TPS 400 (TCR407) (Εικόνα 3.4). Πρόκειται για έναν

ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό αποτύπωσης και χάραξης σημείων με τα εξής χαρακτηριστικά:

- ακρίβεια μέτρησης διευθύνσεων στα  $\pm 7''$
- εμβέλεια μέτρησης αποστάσεων με χρήση πρίσματος στα 5,000m με μέγιστη ακρίβεια στα  $2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$  και σε λιγότερο από 1sec
- δυνατότητα καταγραφής σημείων χωρίς την χρήση πρίσματος στα 100m με μέγιστη ακρίβεια  $2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ , σε λιγότερο από 3sec
- κέντρωση μέσω laser με ακρίβεια  $\pm 1.5\text{mm}$  για ύψος οργάνου 1.5m
- δυνατότητα καταγραφής 18,000 σημείων

Τα δεδομένα των μετρήσεων αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη του οργάνου και μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την επίλυσή τους μέσω της σειριακής εξόδου RS 232 (Χριστοδούλου, 2014).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο με τον γεωδαιτικό σταθμό περιλάμβανε τον τρίποδα του οργάνου και το πρίσμα MiniPrism της Leica μαζί με τους στυλιούς του.



Εικόνα 3.4 - Ο γεωδαιτικός σταθμός TPS 400 (TCR407) της Leica (Koosha, 2018)

### 3.2.3 Θερμοκάμερα (Infrared Camera)

Στην θερμογραφική αποτύπωση, που εφαρμόστηκε από την εταιρεία JGC, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκάμερα E60 (Εικόνα 3.5) της Flir (FLIR®). Πρόκειται για την πιο ισχυρή μεταξύ των τριών θερμοκαμερών της ίδιας σειράς και τα βασικά της χαρακτηριστικά είναι:

- θερμική εμβέλεια από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $650^{\circ}\text{C}$
- θερμική ευαισθησία  $< 0.05^{\circ}\text{C}$  (στους  $30^{\circ}\text{C}$ )
- διαστάσεις αισθητήρων  $320 \times 240$  pixels

- ρυθμός ανανέωσης εικόνας 60Hz
- δυνατότητα ταυτόχρονης λήψης θερμικών και φωτεινών εικόνων
- έγχρωμη LCD οθόνη, 3.5"
- δυνατότητα μεγέθυνσης έως 4 φορές

Η E60 είναι μια εξαιρετικά ακριβής θερμοκάμερα αλλά και ιδιαίτερα εύχρηστη με διαστάσεις 246 x 97 x 184 mm και βάρος 825gr. Ο χειρισμός της γίνεται μέσω της οθόνης αφής που διαθέτει. Παρέχει την δυνατότητα αποθήκευσης περισσότερων από 1,000 εικόνων σε ραδιομετρική μορφή JPEG στην κάρτα μνήμης της. Οι αποθηκευμένες εικόνες μπορούν να μεταφερθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της κάρτας μνήμης ή μέσω καλωδίου ενιαίου σειριακού διαύλου (USB).



Εικόνα 3.5 - Η θερμοκάμερα E60 της Flir (Instrument Hire UK, 2018)

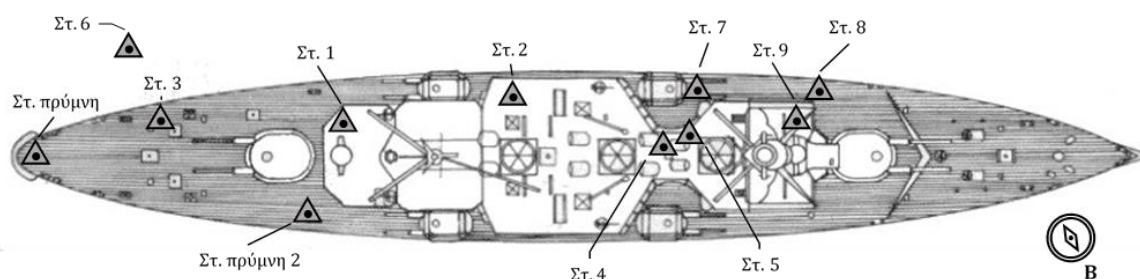
### 3.3 Εργασίες Πεδίου

Οι εργασίες αποτύπωσης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» διεξήχθησαν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε Απρίλιο του 2016, όταν το πλοίο ήταν ελλιμενισμένο στην Μαρίνα Φλοίσβου, στο Παλαιό Φάληρο. Η δεύτερη φάση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε όταν το πλοίο είχε μεταφερθεί στα Ναυπηγεία Σκαραμαγκά για λόγους επισκευής και συντήρησης, τον Ιούνιο και Ιούλιο του 2017.

#### 3.3.1 1<sup>η</sup> Φάση Εργασιών: Απρίλιος 2016

Την περίοδο διεξαγωγής των εργασιών αυτών το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» ήταν ελλιμενισμένο στην Μαρίνα Φλοίσβου, στην τοποθεσία Τροκαντερό, στο Παλαιό Φάληρο. Ο αρχικός σκοπός των εργασιών ήταν η αποτύπωση των εξάλων του πλοίου και κυρίως του καταστρώματος και της υπερκατασκευής με την χρήση επίγειου σαρωτή laser αλλά και η απόδοση γεωγραφικού στίγματος του πλοίου. Έτσι, στον πρώτο αυτόν κύκλο εργασιών χρησιμοποιήθηκαν τρεις ειδικοί

ημισφαιρικοί στόχοι όπως επίσης και δέκτες GPS, που στήθηκαν επί του πλοίου και έξω από αυτό. Ωστόσο, οι μετρήσεις των δεκτών GPS δεν αξιοποιήθηκαν τελικά, συνεπώς, εδώ δεν θα γίνει περιγραφή των σχετικών εργασιών. Όσον αφορά τις εργασίες αποτύπωσης με την μέθοδο σάρωσης laser πραγματοποιήθηκαν με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 και την χρήση των στόχων που προαναφέρθηκαν. Συνολικά, εκτελέστηκαν σαρώσεις από έντεκα στάσεις του οργάνου, εκ των οποίων η μία βρισκόταν εκτός του πλοίου, επί της αποβάθρας. Η θέση των στάσεων φαίνεται σχηματικά παρακάτω (Σχήμα 3.1). Από τις θέσεις αυτές επιτεύχθηκε η σάρωση του μεγαλύτερου τμήματος του καταστρώματος, της υπερκατασκευής και των λοιπών εξαρτημάτων του πλοίου επί αυτών. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν στον πυρήνα της όμοια με εκείνη που ακολουθήθηκε στην 2<sup>η</sup> φάση εργασιών (βλ. ενότητα 3.2.2) με διαφορές που έγκεινται στην σάρωση των ειδικών στόχων, καθώς και στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την γεωαναφορά του συστήματος του πλοίου (με δέκτες GPS). Η διεξαγωγή των εργασιών αυτών πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Τ.Ε.Ι. Αθήνας.



**Σχήμα 3.1 - Σκαρίφημα στάσεων σαρωτή laser κατά την 1<sup>η</sup> φάση εργασιών, Μαρίνα Φλοίσβου - Τροκαντερό, Απρίλιος 2016 - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018)**

### 3.3.2 2<sup>η</sup> Φάση Εργασιών: Ιούνιος – Ιούλιος 2017

Τον Ιούνιο του 2017 ξεκίνησε ο δεύτερος κύκλος των εργασιών, από κοινού με το Τ.Ε.Ι. Αθήνας, όταν το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είχε μεταφερθεί στην δεξαμενή της επισκευαστικής των Ναυπηγείων Σκαραμαγκά. Πλέον υπήρχε η δυνατότητα αποτύπωσης του συνόλου του κοίλου του πλοίου, έτσι διεξήχθησαν μετρήσεις με αυτόν τον σκοπό αλλά και για την συμπλήρωση τυχόντων κενών των μετρήσεων που είχαν προηγηθεί. Συνολικά χρειάστηκαν τρεις ημέρες, σε συνθήκες ηλιοφάνειας, για την ολοκλήρωση των εργασιών, κατά τις οποίες εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι αποτύπωσης: η κύρια μέθοδος της σάρωσης με laser και συμπληρωματικά η τοπογραφική μέθοδος και η θερμογραφική αποτύπωση.

Κατά την πρώτη ημέρα των εργασιών, στις 15/06/2017, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τον σαρωτή ScanStation 2 (βλ. Ενότητα 3.2.1.1), με στάσεις του οργάνου επί του πλοίου και έξω από

αυτό, και διήρκεσαν συνολικά πέντε ώρες. Τα πρώτα δεδομένα των εξωτερικών σαρώσεων κατέδειξαν την αδυναμία της μεθόδου για πλήρη αποτύπωση της γάστρας του πλοίου. Αυτό οφειλόταν στο μαύρο χρώμα της, που απορροφούσε το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του laser, σε συνδυασμό με την σχετικά μεγάλη απόσταση του οργάνου από το πλοίο στις εξωτερικές στάσεις (η εμβέλεια του σαρωτή laser μειώνεται σημαντικά όσο μειώνεται η ανακλαστικότητα της προς αποτύπωση επιφάνειας). Έτσι, σε αυτήν την δεύτερη φάση των μετρήσεων λήφθηκε η απόφαση για εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου, όπως προτείνεται στην διπλωματική εργασία του Χριστοδούλου (2014), για την αποτύπωση της γάστρας και του λοιπού κοίλου.

Την ίδια ημέρα διεξάγονταν ταυτόχρονα μετρήσεις εκ μέρους της Metrica με τον σαρωτή ScanStation P 30/40 (βλ. Ενότητα 3.2.1.2).

Την δεύτερη ημέρα εργασιών, στις 10/07/2017, συνεχίστηκαν οι μετρήσεις με τον σαρωτή ScanStation 2, με στάσεις του οργάνου έξω από το πλοίο, ενώ ταυτόχρονα ξεκίνησαν οι μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό (βλ. Ενότητα 3.2.2). Η συνολική διάρκεια των εργασιών ήταν πέντε ώρες.

Ακολούθησε η τρίτη και τελευταία μέρα των εργασιών πεδίου, στις 11/07/2017. Οι εργασίες διήρκεσαν πέντε ώρες κατά τις οποίες ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις με τον ScanStation 2, με στάσεις του οργάνου έξω από το πλοίο, και οι μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό.

Ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τον σαρωτή Focus<sup>M</sup> 70 (βλ. Ενότητα 3.2.1.3) και λήφθηκαν θερμικές εικόνες του πλοίου με χρήση θερμοκάμερας (βλ. Ενότητα 3.2.3) από την JGC για την ενίσχυση των δεδομένων αποτύπωσης της γάστρας του πλοίου.

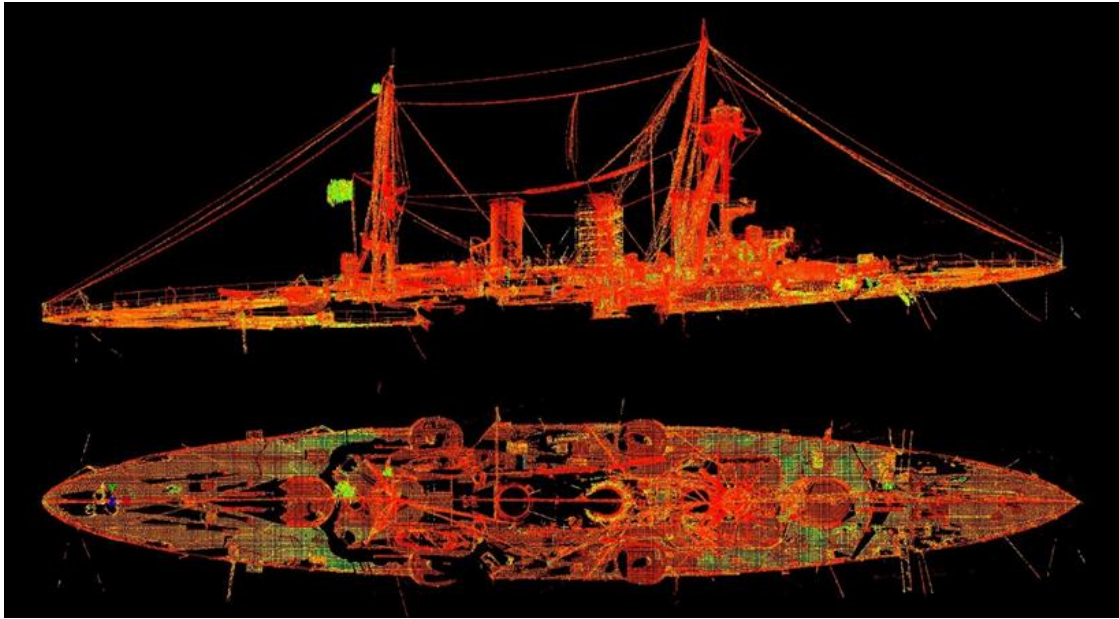
### **3.3.2.1 Εργασίες με Επίγειο Σαρωτή Laser**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στις εργασίες αποτύπωσης του πλοίου με την μέθοδο σάρωσης laser χρησιμοποιήθηκαν τρεις επίγειοι σαρωτές laser: ο ScanStation 2 της Leica, ο ScanStation P 30/40 της Leica και ο Focus<sup>M</sup> 70 της Faro.

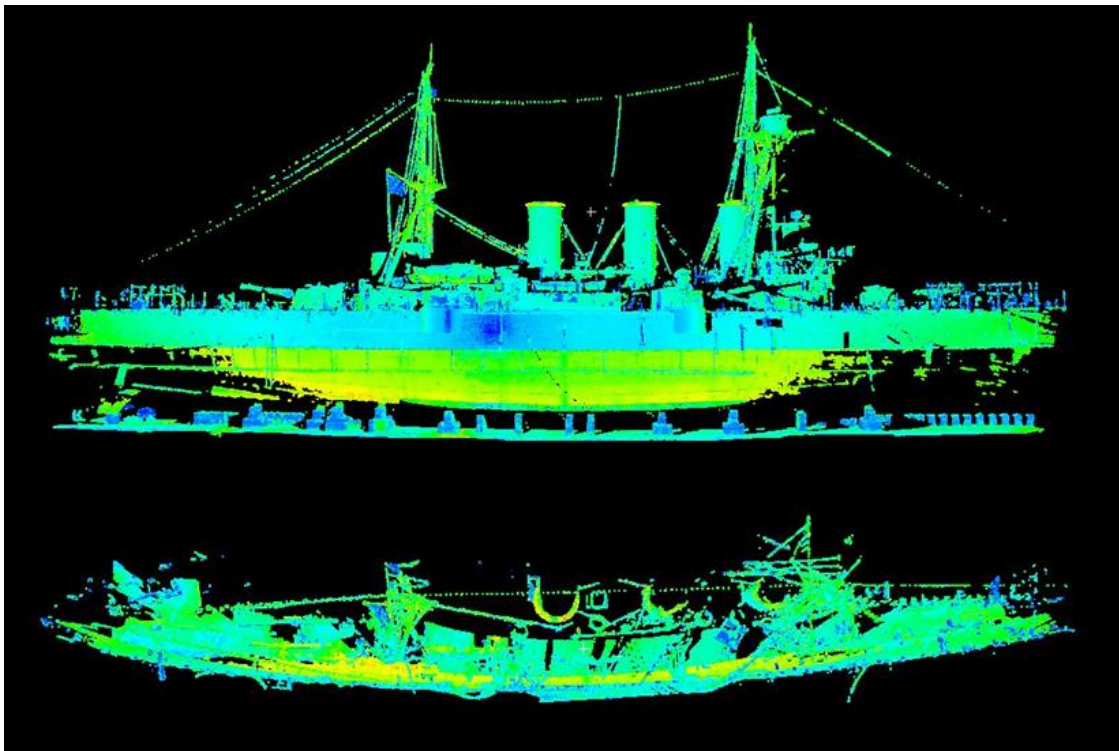
Από την Metrica παρασχέθηκε σε εμάς το αρχείο του τελικού νέφους σημείων (*point cloud*) που προέκυψε από την αποτύπωση του κύριου καταστρώματος και όλων των στοιχείων του πλοίου επί και πάνω από την επιφάνεια του καταστρώματος (της υπερκατασκευής) (Εικόνα 3.6).

Η JGC βοήθησε στην αποτύπωση της δεξιάς όψης του πλοίου, κατά την διαμήκη έννοια, με στάσεις του οργάνου έξω από αυτό. Το αρχείο του τελικού νέφους σημείων (*point cloud*) που προέκυψε από τις μετρήσεις της JGC μας παρασχέθηκε για την συμπλήρωση των υπόλοιπων μετρητικών δεδομένων (Εικόνα 3.7).





**Εικόνα 3.6 - Πανοραμική άποψη και κάτοψη του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης καταστρώματος-υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» όπως προέκυψε από τις εργασίες με τον επίγειο σαρωτή laser ScanStation P 30/40 και παρασχέθηκε από την Metrica**



**Εικόνα 3.7 - Πλάγια άποψη και κάτοψη του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης της δεξιάς εξωτερικής πλευράς του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» όπως προέκυψε από τις εργασίες με τον επίγειο σαρωτή laser Focus<sup>M</sup> 70**

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται πλήρως οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν με τον σαρωτή ScanStation 2. Η συνολική διάρκεια των εργασιών αυτών ήταν δεκαπέντε ώρες, μοιρασμένες σε τρεις ημέρες (πέντε ώρες κάθε μέρα). Πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες ηλιοφάνειας, στις εγκαταστάσεις των Ναυπηγείων Σκαραμαγκά, ταυτόχρονα με τις επισκευαστικές εργασίες στο πλοίο. Τον σαρωτή λειτουργούσαν δύο χειριστές και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από συνολικά δεκατρείς στάσεις του οργάνου, δύο επί του πλοίου και έντεκα περιμετρικά αυτού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.

Την πρώτη μέρα, στις 15/06/2017, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει η αποτύπωση του πρωραίου τμήματος του καταστρώματος, με τα στοιχεία του πλοίου πάνω από και επί του επιπέδου του καταστρώματος, που δεν είχε αποτυπωθεί πλήρως κατά την πρώτη φάση των εργασιών. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από δύο στάσεις του σαρωτή πάνω στο πλοίο.



**Εικόνα 3.8 - 1η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος 2017 - Το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» εντός της δεξαμενής επισκευής του - (α) άποψη από την πρύμνη - (β) άποψη από την αριστερή πρωραία πλευρά**

Η πρώτη στάση ορίστηκε πολύ κοντά στην πλώρη του πλοίου, ο σαρωτής στήθηκε πάνω στον ειδικό τρίποδα, συνδέθηκε σε πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και στον φορητό υπολογιστή από τον οποίο θα γινόταν ο χειρισμός του. Αμέσως μόλις συνδέθηκε με το ρεύμα, ο σαρωτής άρχισε να λειτουργεί εκτελώντας την συνήθη βαθμονόμηση των κατόπτρων του που διαρκεί λίγα λεπτά. Την βαθμονόμηση ακολούθησε το άνοιγμα του λογισμικού Cyclone της Leica στον φορητό υπολογιστή. Εκεί επιλέχθηκε η βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονταν οι σαρώσεις και ο σαρωτής που θα χρησιμοποιούταν. Έπειτα, δημιουργήθηκε εντός της επιλεγμένης βάσης δεδομένων το Project στο οποίο θα αποθηκεύονταν οι σαρώσεις της ημέρας και μέσα σε αυτό ένα ScanWorld που αντιπροσωπεύει την μία σάρωση/στάση. Ακολούθως, δόθηκε η εντολή στον σαρωτή για λήψη φωτογραφιών ενός δοσμένου παραθύρου λήψης, ώστε να επιλεγεί το



παράθυρο σάρωσης. Με κατεύθυνση προς την πρύμνη λοιπόν, επιλέχθηκε το πρωραίο τμήμα του πλοίου που βρισκόταν στο οπτικό πεδίο του σαρωτή με ύψος έως και την κορυφή του πρωραίου καταρτιού. Τέλος, ρυθμίστηκε το βήμα σάρωσης στα 3mm, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή λεπτομέρεια, το βάθος πεδίου στα 20m, ώστε να περιοριστεί η σάρωση όσο το δυνατόν στο πεδίο ενδιαφέροντος, και δόθηκε η εντολή στον σαρωτή να ξεκινήσει την σάρωση, η οποία διήρκησε περίπου 45 λεπτά. Κατά την πρώτη αυτή σάρωση είχαν στηθεί και τρεις ειδικοί ημισφαιρικοί στόχοι. Αυτοί σαρώθηκαν, αλλά δεν πραγματοποιήθηκε η διαδικασία αναγνώρισής τους, καθώς αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθούν στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων.

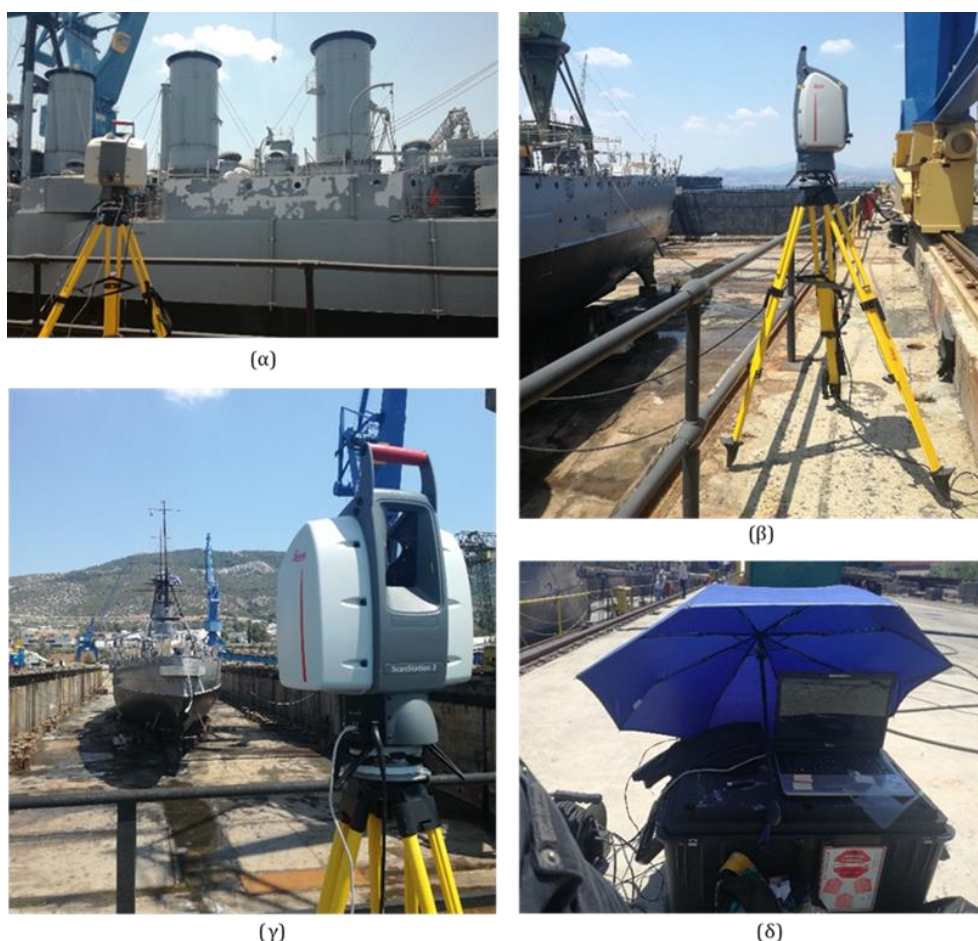
Η δεύτερη στάση πάνω στο πλοίο ορίστηκε δεξιά του πρωραίου πύργου πυροβόλων, ώστε να αποτυπωθεί το τμήμα της πλώρης που στην προηγούμενη στάση βρισκόταν στην σκιά του οργάνου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με εκείνη της πρώτης στάσης, με την διαφορά ότι δημιουργήθηκε στην ίδια βάση δεδομένων και στο ίδιο Project ένα καινούργιο ScanWorld για την νέα σάρωση/στάση. Η δεύτερη αυτή σάρωση διήρκησε περίπου όσο και η πρώτη.

Ακολούθησαν δύο στάσεις έξω από το πλοίο για την συμπλήρωση των δεδομένων των μετρήσεων της πρώτης φάσης εργασιών. Μία ορίστηκε στο ύψος του δεξιού πρωραίου τμήματος και μία στο ύψος του αριστερού πρυμναίου τμήματος του πλοίου. Το όργανο στήθηκε κοντά, όσο ήταν εφικτό, στο όριο της δεξαμενής στην οποία βρισκόταν το πλοίο. Το βάθος πεδίου διατηρήθηκε στα 20m για την αποφυγή της καταγραφής περιττής πληροφορίας (ενδιέφερε η σάρωση μόνο του εξωτερικού του πλοίου), και το βήμα σάρωσης στα 3mm. Κάθε σάρωση διήρκησε περίπου 30 λεπτά.



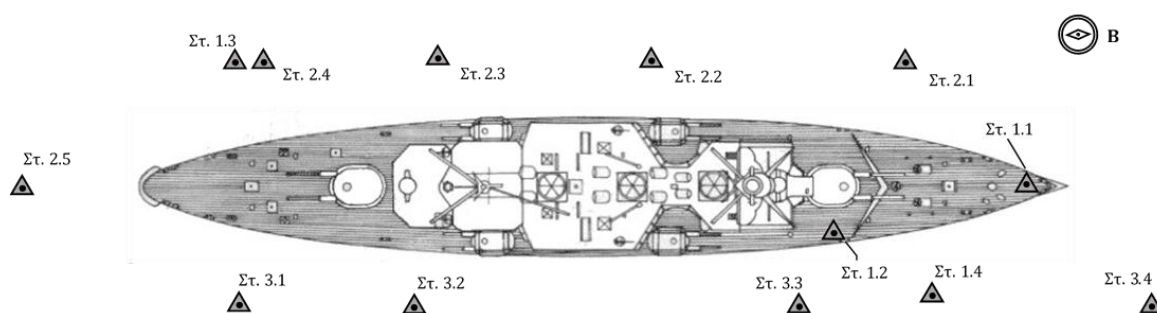
**Εικόνα 3.9 - 1η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος 2017 - Αποτύπωση της δεξιάς πρωραίας πλευράς του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**

Την δεύτερη ημέρα, στις 10/07/2017, λήφθηκε η απόφαση να σαρωθεί σε συνέχεια το εξωτερικό του κοίλου του πλοίου. Οι εργασίες ξεκίνησαν από την αριστερή πωραία πλευρά του πλοίου και κατέληξαν στην πρύμνη. Πραγματοποιήθηκαν πέντε σαρώσεις από συνολικά πέντε στάσεις του οργάνου. Οι πρώτες τέσσερεις έγιναν κατά μήκος της αριστερής πλευράς του πλοίου και σε κάθε μία ο τρίποδας με τον σαρωτή τοποθετήθηκε στο χείλος της δεξαμενής στην οποία βρισκόταν το πλοίο. Οι σαρώσεις κάλυψαν την αριστερή όψη του πλοίου με επικαλυπτόμενα παράθυρα σάρωσης. Το βήμα σάρωσης διατηρήθηκε ίδιο με τις προηγούμενες σαρώσεις, στα 3mm όπως και το βάθος πεδίου στα 20m. Για την σάρωση της όψης της πρύμνης η πέμπτη στάση του οργάνου ορίστηκε στην γέφυρα που βρισκόταν στο τέλος της δεξαμενής προς την θάλασσα. Η θέση αυτή βρισκόταν σε μεγαλύτερη απόσταση από το πλοίο σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις του σαρωτή. Για την σάρωση αυτή αυξήθηκε το βάθος πεδίου στα 50m. Οι πέντε σαρώσεις αποθηκεύτηκαν στην βάση δεδομένων που είχε επιλεγεί και στο Project που είχε δημιουργηθεί την πρώτη ημέρα των μετρήσεων σε διαφορετικό ScanWorld η κάθε μία. Ο χρόνος σάρωσης ανά στάση ήταν περίπου 20 λεπτά.



**Εικόνα 3.10 - 2η και 3η ημέρα εργασιών, Ναυπηγεία Σκαρμαγκά, Ιούλιος 2017 - (α), (β) Στάση του οργάνου (laser scanner ScanStation 2) στο ύψος του μέσου τμήματος της αριστερής πλευράς του πλοίου - (γ) Σάρωση της όψης της πρύμνης - (δ) Ο φορητός υπολογιστής χειρισμού του σαρωτή laser**

Την τρίτη ημέρα των μετρήσεων, στις 11/07/2017, συνεχίστηκε και ολοκληρώθηκε η σάρωση του εξωτερικού του κοίλου του «Γ. Αβέρωφ». Οι εργασίες ξεκίνησαν από την δεξιά πρυμναία πλευρά του πλοίου και κατέληξαν στην δεξιά πρωραία πλευρά. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σαρώσεις από τέσσερις στάσεις του οργάνου κατά μήκος της δεξιάς πλευράς του πλοίου με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε στην αποτύπωση της αριστερής πλευράς. Η θέση του πλοίου εντός της δεξαμενής δεν επέτρεπε την μετωπική σάρωση της πλώρης εξαιτίας της πολύ μεγάλης απόστασης που θα είχε ο σαρωτής από το πλοίο. Έτσι, η τελευταία στάση ορίστηκε πιο μπροστά από το όριο της πλώρης για την επίτευξη όσο το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας μέσω μιας πλαγιομετωπικής σάρωσης.



**Σχήμα 3.2 - Σκαρίφημα στάσεων σαρωτή laser κατά την 2η φάση εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος-Ιούλιος 2017 - αρίθμηση στάσεων: [ημέρα μετρήσεων.αριθμός στάσης] - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018)**

### 3.3.2.2 Εργασίες με Γεωδαιτικό Σταθμό

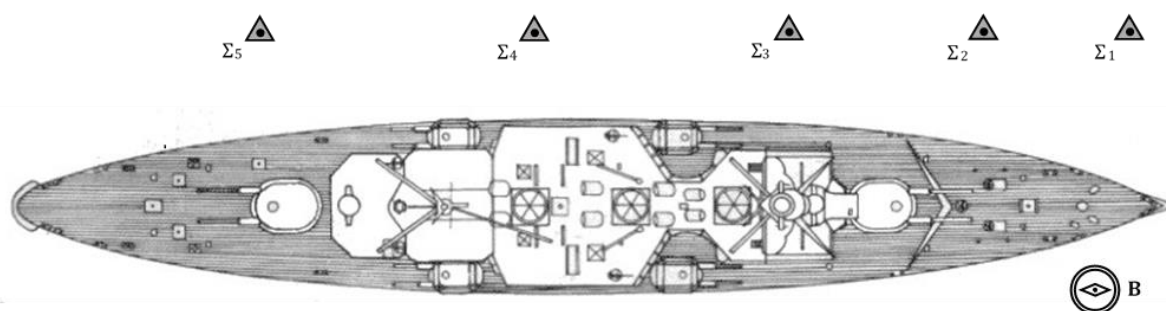
Την δεύτερη ημέρα των εργασιών, ταυτόχρονα με τις μετρήσεις που εκτελούνταν με τον επίγειο σαρωτή laser, πραγματοποιήθηκαν και οι μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό (βλ. Ενότητα 3.2.2) στο πλαίσιο της εφαρμογής της τοπογραφικής μεθόδου για την αποτύπωση του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Αρχικά, η μέθοδος επιλέχθηκε να εφαρμοστεί συμπληρωματικά, για την αποτύπωση του τμήματος του κοίλου του πλοίου το οποίο λόγω μαύρου χρώματος και συνδυαστικά με την μεγάλη απόσταση του σαρωτή από αυτό στο πεδίο δεν ήταν δυνατόν να αποτυπωθεί με την μέθοδο σάρωσης με laser. Από την βιβλιογραφία επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η μεθοδολογία που περιγράφεται στην διπλωματική εργασία του Χριστοδούλου (2014) με την μεταφορά του βασικού άξονα του πλοίου και την μέτρηση διατομών. Ωστόσο, στο πεδίο έγινε φανερό πως δεν ήταν δυνατή η χρήση του πρίσματος για την μέτρηση των διατομών (η θέση του πλοίου μέσα στην δεξαμενή της επισκευαστικής και η παράλληλη διεξαγωγή των επισκευαστικών εργασιών στο πλοίο δεν επέτρεπαν την πρόσβαση σε αυτό). Έτσι, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς πρίσμα, με την reflectorless λειτουργία του γεωδαιτικού σταθμού, γεγονός που επίσης καθιστούσε αδύνατη την επιθυμητή αποτύπωση εκείνου του τμήματος του

κοίλου. Συνεπώς, με την τοπογραφική μέθοδο κατορθώθηκε να αποτυπωθεί το λοιπό τμήμα του κοίλου (άνω του μαύρου τμήματος), παραλλάσσοντας την αρχικά επιλεγμένη μεθοδολογία, όπως περιγράφεται αμέσως παρακάτω.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από συνολικά πέντε στάσεις που ορίστηκαν στην ευθεία, κατά το δυνατόν, του χείλους της δεξαμενής που βρισκόταν το πλοίο, με την παρουσία δύο χειριστών και μόνο για την αριστερή πλευρά του πλοίου, λόγω της συμμετρίας των δύο πλευρών. Αρχικά, ιδρύθηκαν δύο στάσεις, οι  $\Sigma_1$  και  $\Sigma_2$ , κοντά στην πλώρη του πλοίου και με κατεύθυνση προς την πρύμνη, για να οριστεί ο άξονας επί του οποίου θα ιδρύονταν και οι υπόλοιπες στάσεις. Ο γεωδαιτικός σταθμός στήθηκε στην  $\Sigma_2$ , στην οποία αποδόθηκαν οι αυθαίρετες συντεταγμένες  $X_2 = 100.000 \text{ m}$ ,  $Y_2 = 100.000 \text{ m}$ ,  $Z_2 = 100.000 \text{ m}$ , στράφηκε στην  $\Sigma_1$  (προς την κατεύθυνση της πλώρης) και με την χρήση του πρίσματος έγινε ο μηδενισμός της οριζόντιας γωνίας, ορίστηκε δηλαδή στον γεωδαιτικό σταθμό  $H_z = 0.000 \text{ g}$ , και λήφθηκε μέτρηση της κεκλιμένης απόστασης από την  $\Sigma_1$  καθώς και της κατακόρυφης γωνίας. Στην συνέχεια, το όργανο στράφηκε προς το πλοίο και επιλέχθηκε η λειτουργία άνευ πρίσματος (*reflectorless*) για να ξεκινήσει η αποτύπωση. Αυτή πραγματοποιήθηκε με ταχυμετρικές μετρήσεις σε σημεία εν είδει κατακορύφων στην ευθεία των χαρακτηριστικά χρωματισμένων καθέτων της ισάλου και σε χαρακτηριστικά σημεία του πλοίου (όρια κοίλου, οριζόντιο όριο υλικών, φινιστρίνια και άλλα εξαρτήματα).

Ο αριθμός των στάσεων που ιδρύθηκαν ήταν ο ελάχιστος απαιτούμενος για την επίτευξη των ταχυμετρικών μετρήσεων καθ' όλο το μήκος της αριστερής πλευράς του πλοίου, ενώ δεν πραγματοποιήθηκε τελικά η μέτρηση διατομών. Για τα σημεία που σκοπεύθηκαν στο μαύρο χρώματος τμήμα του κοίλου δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν μετρήσεις. Για τα υπόλοιπα σημεία καταγράφηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και οι κεκλιμένες αποστάσεις βάσει των οποίων υπολογίζονται οι συντεταγμένες τους με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται το σκαρίφημα των στάσεων του οργάνου ενώ τα χαρακτηριστικά σημεία της διαδικασίας αναγράφονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.1.



**Σχήμα 3.3 - Σκαρίφημα στάσεων γεωδαιτικού σταθμού για την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου κατά την 2η φάση εργασιών, Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017 - υπόβαθρο: (World of Warships: Forum, 2018)**



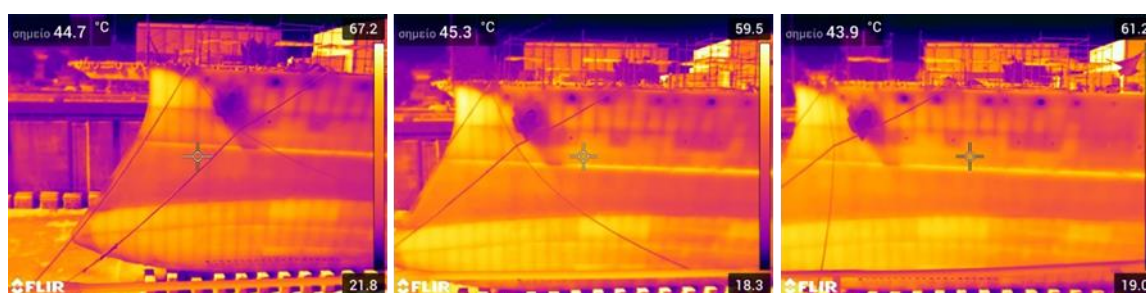
**Πίνακας 3.1 - Λεπτομέρειες εφαρμογής της τοπογραφικής μεθόδου με γεωδαιτικό σταθμό για την αποτύπωση του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**

Στάση	Απόσταση	Ίδρυση από	Προσανατολισμός	Ταχυμετρικά Σημεία	Εύρος Σκόπευσης	Ίδρυση Στάσης
Σ <sub>1</sub>	12.3262 m	-	Σ <sub>2</sub>	76 ÷ 91	(-16) g ÷ (+2) g	-
Σ <sub>2</sub> *		-	Σ <sub>1</sub>	2 ÷ 75	(-30) g ÷ (+30) g	Σ <sub>3</sub>
Σ <sub>3</sub>	19.3494 m	Σ <sub>2</sub>	Σ <sub>2</sub>	110 ÷ 142	(-25) g ÷ (+40) g	Σ <sub>4</sub>
Σ <sub>4</sub>	31.1111 m	Σ <sub>3</sub>	Σ <sub>3</sub>	144 ÷ 242	(-50) g ÷ (+65) g	Σ <sub>5</sub>
Σ <sub>5</sub>	40.6111 m	Σ <sub>4</sub>	Σ <sub>4</sub>	244 ÷ 313	(-37) g ÷ (+51) g	-
*Σ <sub>2</sub> = (100, 100, 100) m: αυθαίρετη απόδοση συντεταγμένων						

### 3.3.2.3 Εργασίες με Θερμοκάμερα

Την τρίτη μέρα των εργασιών στα Ναυπηγεία Σκαραμαγκά η εταιρεία JGC ανέλαβε, ταυτόχρονα με τις μετρήσεις με επίγειο σαρωτή laser, την λήψη θερμικών εικόνων του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με χρήση θερμοκάμερας (βλ. Ενότητα 3.2.3). Η θερμική αποτύπωση επιλέχθηκε ως λύση στο πρόβλημα αποτύπωσης του τμήματος του κοίλου του πλοίου που εξαιτίας κυρίως του μαύρου χρώματός του δεν ήταν εφικτό να αποδοθεί με τα μετρητικά δεδομένα της σάρωσης με laser αλλά και της τοπογραφικής μεθόδου εν προκειμένω.

Η θερμική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε εξωτερικά του πλοίου, από το στεφάνι της δεξαμενής όπου βρισκόταν, με επάλληλες επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες (Εικόνες 3.11 και 3.12) στο μήκος της δεξιάς και αριστερής πλευράς του κοίλου (από την κουπαστή μέχρι την καρένα). Επίσης, λήφθηκαν αντίστοιχες εικόνες της υπερκατασκευής στο μέσον του πλοίου, τόσο από την αριστερή όσο και από την δεξιά πλευρά, ως συμπληρωματικά δεδομένα για την περίπτωση ύπαρξης κενών στα καταγεγραμμένα νέφη σημείων, όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις των σαρωτών.



**Εικόνα 3.11 - Επάλληλες επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**



Εικόνα 3.12 - Επάλληλες επικαλυπτόμενες θερμικές εικόνες της υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

### 3.4 Σύνοψη Συλλογής Δεδομένων

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης συλλέχθηκε ένας αριθμός διαφορετικού τύπου δεδομένων, κυρίως μέσω εργασιών πεδίου και με την εφαρμογή τριών μεθόδων αποτύπωσης: της επίγειας σάρωσης laser, της τοπογραφικής μεθόδου με γεωδαιτικό σταθμό και της θερμικής αποτύπωσης με θερμοκάμερα. Στον Πίνακα 3.2 γίνεται μια εποπτική παρουσίαση των δεδομένων που συλλέχθηκαν και διατέθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν της μελέτης, ένα τρισδιάστατο μοντέλο του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Η ταξινόμησή τους έγινε σύμφωνα με την μέθοδο αποτύπωσης από την οποία προέκυψαν.

Πίνακας 3.2 - Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με σκοπό την παραγωγή του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»

Μέθοδος Αποτύπωσης	Τόπος Διεξαγωγής	Όργανο	Τύπος Δεδομένων	Επιμέρους Αντικείμενο Αποτύπωσης
Επίγεια Σάρωση Laser	Μαρίνα Φλοίσβου, Τροκαντερό	Επίγειος Σαρωτής Laser	ScanStation 2 (Leica)	κυρίως κατάστρωμα, υπερκατασκευή (πρύμνη έως πρωραίο όριο υπερκατασκευής)
	Ναυπηγεία Σκαραμαγκά			κυρίως κατάστρωμα, υπερκατασκευή (πρωραίο όριο υπερκατασκευής έως πλώρη), κοίλο (κουपाστή έως καρένα)
			ScanStation P 30/40 (Leica)	κυρίως κατάστρωμα, υπερκατασκευή
	Focus <sup>M</sup> 70 (FARO)		πλάγια (δεξιά) όψη πλοίου (κοίλο, υπερκατασκευή)	
Τοπογραφική Μέθοδος	Γεωδαιτικός Σταθμός	TPS 400 (TCR407, Leica)	αρχείο ταχυμετρικών μετρήσεων (.idx)	αριστερή πλευρά κοίλου (κουπαστή έως καρένα)

<b>Μέθοδος Αποτύπωσης</b>	<b>Τόπος Διεξαγωγής</b>	<b>Όργανο</b>		<b>Τύπος Δεδομένων</b>	<b>Επιμέρους Αντικείμενο Αποτύπωσης</b>
Θερμική Αποτύπωση		Θερμοκάμερα	E60 (Flir)	θερμικές εικόνες (.jpg)	αριστερή και δεξιά πλευρά κοίλου, υπερκατασκευή (φουγάρα, γέφυρα)
Άλλη	-	-	-	ναυπηγικά σχέδια (.dwg)	πλάγια όψη, κάτοψη

# Κεφάλαιο 4



## 4 Επεξεργασία Δεδομένων & Αποτελέσματα

### 4.1 Εισαγωγή

Την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους ούτως ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής του τελικού προϊόντος, του τρισδιάστατου μοντέλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Το μεγαλύτερο κομμάτι της επεξεργασίας τόσο χρονικά όσο και ποιοτικά αφιερώθηκε στα δεδομένα που είχαν προκύψει από τις σαρώσεις, τα νέφη σημείων (*point clouds*). Όσον αφορά τα δεδομένα των τοπογραφικών μετρήσεων και τις θερμικές εικόνες, εκτελέστηκαν ορισμένες τυπικές διαδικασίες ώστε να μορφοποιηθούν κατάλληλα. Ωστόσο, δεν ήταν επαρκή σε ποσότητα και ακρίβεια ώστε να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται αρχικά τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των νεφών σημείων των σαρώσεων και ακολούθως η διαδικασία καθ' αυτή. Ακόμα, περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος διαχείρισης και επεξεργασίας των υπόλοιπων δεδομένων (τοπογραφικών μετρήσεων και θερμικών εικόνων). Τέλος, παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας.

### 4.2 Επεξεργασία Νεφών Σημείων (Point Clouds)

#### 4.2.1 Λογισμικά Επεξεργασίας

##### 4.2.1.1 Cyclone (Leica)

Το Cyclone της Leica ([Leica Geosystems](#)) είναι ένα λογισμικό διαχείρισης και επεξεργασίας νεφών σημείων (*point clouds*). Χρησιμοποιείται στο πεδίο για την συλλογή δεδομένων από τους επίγειους σαρωτές και την άμεση οπτικοποίηση των νεφών σημείων κάθε σάρωσης. Ακόμα, χρησιμοποιείται στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων των εργασιών, για την συνένωση



σαρώσεων και παρέχει την δυνατότητα παραγωγής τρισδιάστατων απεικονίσεων σε διάφορους τύπους αρχείων.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 9.1.5. στο στάδιο της συλλογής δεδομένων για τον έλεγχο του επίγειου σαρωτή ScanStation 2, την εκτέλεση των μετρήσεων με αυτόν και με το πέρας τους για την οπτικοποίησή τους ως νέφη σημείων. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο της επεξεργασίας δεδομένων για τον καθαρισμό και την συνένωση των νεφών σημείων (βλ. *Ενότητα 4.2.2.1*).

#### **4.2.1.2 Geomagic Studio (3D Systems)**

Το Geomagic Studio της 3D Systems ([3d Systems](#)) είναι ένα λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων νεφών σημείων. Συγκεντρώνει μια ολοκληρωμένη εργαλειοθήκη για την μετατροπή των δεδομένων αυτών σε τρισδιάστατα υψηλής ακρίβειας μοντέλα επιφανειών, πολυγωνικά ή CAD. Χρησιμοποιείται ευρέως στην δημιουργία κτηριακών μοντέλων πληροφοριών (*BIM*), καθώς παρέχει την δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού κι ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον εργασίας.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2013 για την περαιτέρω επεξεργασία των νεφών σημείων, όπως αυτά προέκυψαν από το Cyclone, με σκοπό την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Από τα εργαλεία που διαθέτει χρησιμοποιήθηκαν εκείνα που προτιμώνται στις περισσότερες εφαρμογές BIM με σκοπό την διατήρηση της απαραίτητης πληροφορίας στο πλαίσιο διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

### **4.2.2 Περιγραφή Διαδικασίας**

#### **4.2.2.1 Επεξεργασία στο Cyclone**

Στο στάδιο της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων, το λογισμικό Cyclone χρησιμοποιήθηκε για την συνένωση των νεφών σημείων, που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τους επίγειους σαρωτές laser, αλλά και για έναν πρώτο καθαρισμό τους από θόρυβο και περιττή πληροφορία.

Ο καθαρισμός των νεφών στο Cyclone είναι μια απλή διαδικασία με χρόνο εκτέλεσης ανάλογο του όγκου των δεδομένων και της εμπειρίας του χρήστη. Η δυσκολία της έγκειται στην απαραίτητη προσοχή ώστε να μην διαγραφεί χρήσιμη πληροφορία. Σκοπός του καθαρισμού είναι η καλύτερη διαχείριση των νεφών (ταχύτητα προσπελασιμότητας και επεξεργασίας τους και ευκολότερη αναγνώριση των απεικονιζόμενων αντικειμένων). Στο περιβάλλον του Cyclone

επιτυγχάνεται με απομόνωση και διαγραφή των περιττών δεδομένων, μέσω του εργαλείου *fence* και ακολούθως με δεξί κλικ και την επιλογή διαγραφής εντός ή εκτός του «φράκτη». Για τα νέφη της παρούσας μελέτης ο καθαρισμός πραγματοποιήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την διαδικασία συνένωσης.

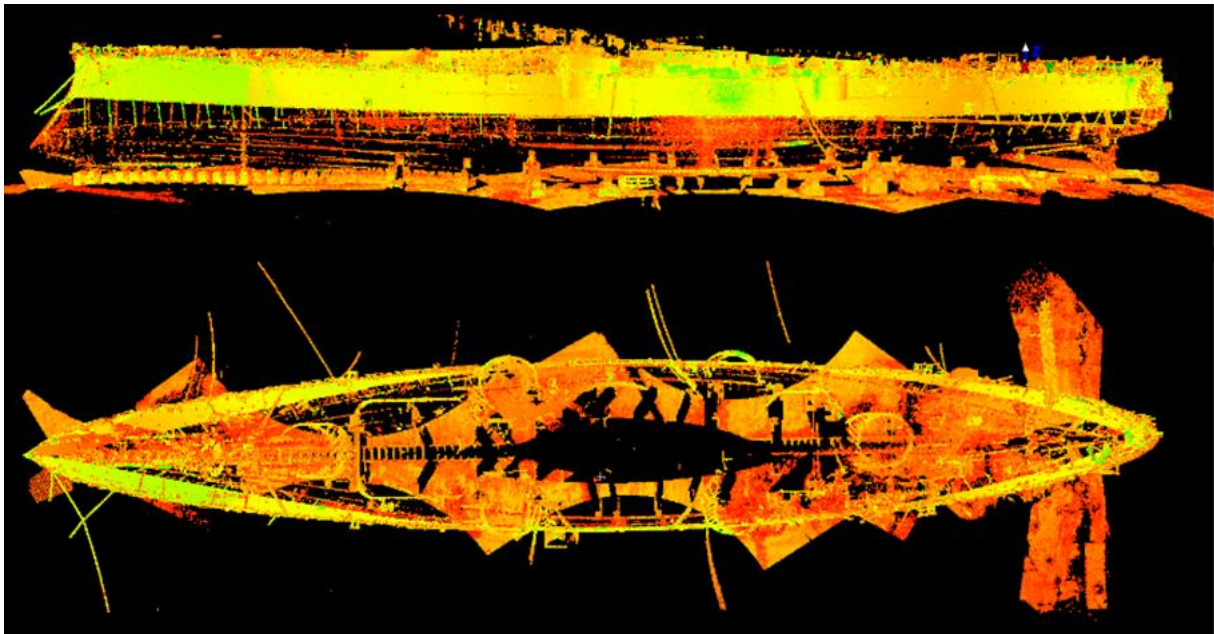
Η συνένωση (*registration*) νεφών σημείων είναι μια διαδικασία συνδυασμού των νεφών, κατά ζεύγη κάθε φορά, σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, εκείνο της μίας στάσης του οργάνου (επίγειου σαρωτή laser). Αυτό σημαίνει πρακτικά τον τρισδιάστατο μετασχηματισμό των συντεταγμένων ενός νέφους σημείων στο σύστημα συντεταγμένων ενός άλλου νέφους. Η συνένωση νεφών πραγματοποιείται μέσω κοινών σημείων των νεφών, τα οποία απαιτείται να είναι κατ' ελάχιστον τρία στο πλήθος. Τα κοινά σημεία μπορεί να είναι οι ειδικοί στόχοι που χρησιμοποιούνται συχνά στις σαρώσεις ή σημεία του αντικειμένου που έχει σαρωθεί. Στο περιβάλλον της ένατης έκδοσης του Cyclone δίνεται η δυνατότητα συνένωσης νεφών με τέσσερις μεθόδους: συνένωση νεφών με στόχους, συνένωση νεφών με ομόλογα σημεία (του απεικονιζόμενου αντικειμένου), συνένωση με οπτική ευθυγράμμιση των νεφών και συνένωση με αυτόματη ευθυγράμμιση των νεφών.

Στην παρούσα μελέτη, από τις τέσσερις μεθόδους που προαναφέρθηκαν, χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μέθοδος συνένωσης με την χρήση ομόλογων σημείων και σε λίγες περιπτώσεις εκείνη με την αξιοποίηση των σαρωμένων ειδικών στόχων στο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς του σαρωτή.

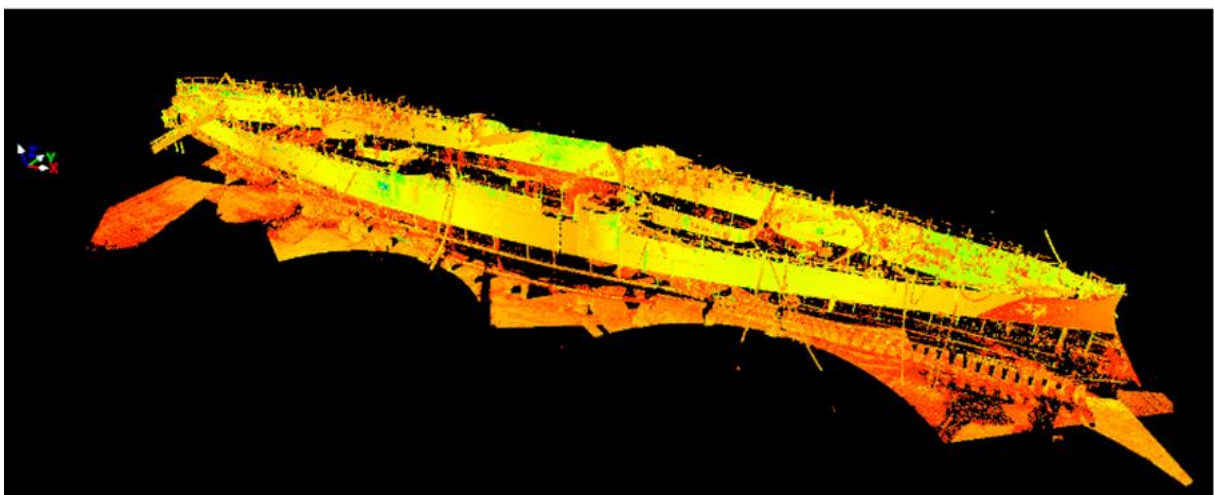
Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η συνένωση των νεφών σημείων που προέκυψαν από τις μετρήσεις της 1<sup>ης</sup> φάσης, όταν το πλοίο ήταν ελλειπνοειδές στην Μαρίνα Φλοίσβου (βλ. Ενότητα 3.3.1). Αποτέλεσμα ήταν ο συνδυασμός των νεφών και των 11 στάσεων/σαρώσεων της 1<sup>ης</sup> φάσης στον οποίο αποδόθηκε η ονομασία «registration2016». Σε αυτό το στάδιο, για ορισμένα ζευγάρια νεφών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος συνένωσης με στόχους, αξιοποιώντας τους ειδικούς ημισφαιρικούς στόχους που είχαν σαρωθεί και αναγνωριστεί από ορισμένες στάσεις του οργάνου, ενώ κατά τ' άλλα οι επιμέρους συνενώσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση ομόλογων σημείων.

Με το πέρας της 2<sup>ης</sup> φάσης εργασιών (βλ. Ενότητα 3.3.2) πραγματοποιήθηκε η συνένωση των νεφών των σαρώσεων που έλαβαν χώρα στα Ναυπηγεία Σκαρμαγκά, μεταξύ τους αλλά και με τον συνδυασμό των νεφών της 1<sup>ης</sup> φάσης (registration2016). Αρχικά, συνδυάστηκαν οι επικαλυπτόμενες σαρώσεις της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> ημέρας εργασιών, δηλαδή τα νέφη που απεικόνιζαν το κοίλο του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» (Εικόνα 4.1). Στον συνδυασμό αποδόθηκε η ονομασία «registration2017» και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (M.T.Σ.) της συνένωσης ήταν 1.6cm. Ακολούθως, στο «registration2016» συνενώθηκαν οι σαρώσεις της 1<sup>ης</sup> ημέρας εργασιών για την συμπλήρωση της απεικόνισης του κυρίως καταστρώματος και της υπερκατασκευής. Από τις

σαρώσεις αυτές της 1<sup>ης</sup> ημέρας δεν αξιοποιήθηκε η τελευταία στάση/σάρωση λόγω ενός ανεπίλυτου προβλήματος που παρουσίασε. Έπειτα, συνενώθηκαν μεταξύ τους οι συνδυασμοί «registration2016» και «registration2017». Τέλος, ο συνδυασμός «registration2016\_2017» συνενώθηκε με το νέφος «fls\_Scan\_037», που παρασχέθηκε από την JGC με την απεικόνιση της δεξιάς πλευράς του πλοίου, με αποτέλεσμα το τελικό νέφος σημείων. Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η μέθοδος των ομόλογων σημείων. Το τελικό νέφος σημείων (teliko\_reg) αποτελούταν από 71 νέφη σημείων με συνολικό πλήθος σημείων 194,628,321. Η διαδικασία διεξαγωγής των συνενώσεων περιγράφεται αμέσως παρακάτω.



(α)



(β)

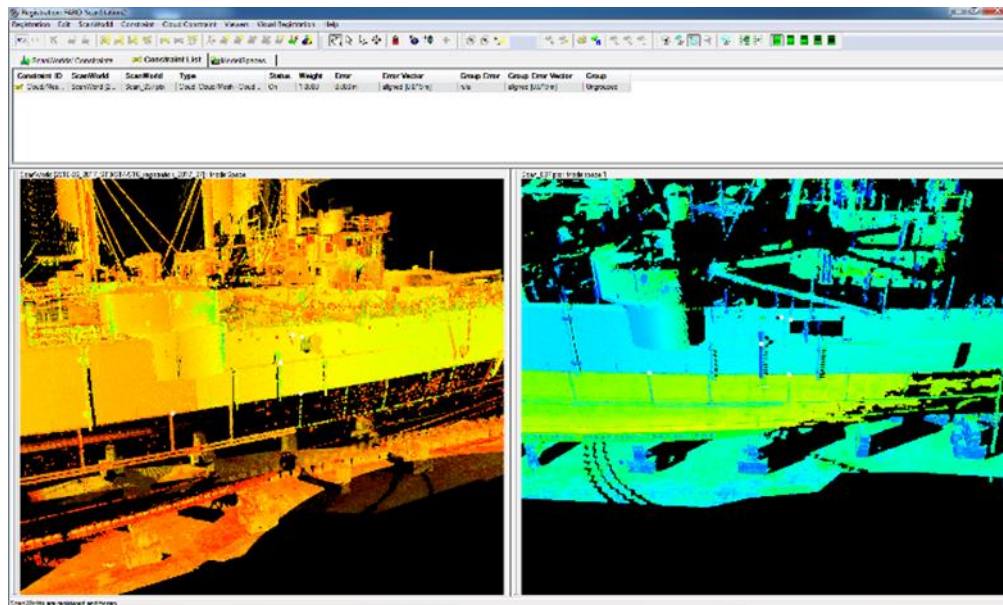
**Εικόνα 4.1 - «registration2017»: νέφος σημείων απεικόνισης του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» από την συνένωση των σαρώσεων 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> ημέρας της 2<sup>ης</sup> φάσης εργασιών - (α) Πλάγια (αριστερή) όψη και κάτοψη - (β) Πανοραμική άποψη από την δεξιά προωραία πλευρά**

**Πίνακας 4.1 - Οι επιμέρους συνενώσεις των δεδομένων των σαρώσεων για την παραγωγή του τελικού νέφους σημείων απεικόνισης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**

Σαρώσεις	Όνομα Συνένωσης	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα Συνένωσης (RMS)
11 σαρώσεις 1 <sup>ης</sup> φάσης μετρήσεων	registration2016	1.1 – 1.9 cm
9 σαρώσεις 2 <sup>ης</sup> φάσης μετρήσεων (2 <sup>ης</sup> και 3 <sup>ης</sup> ημέρας)	registration2017	
3 σαρώσεις 2 <sup>ης</sup> φάσης μετρήσεων (1 <sup>ης</sup> ημέρας)	registration2016 (διατηρήθηκε)	
registration2016 – registration2017	registration2016_2017	
registration2016_2017 – fls_Scan_037	teliko_reg	1.9cm

Για κάθε νέα συνένωση νεφών δημιουργούταν στο παράθυρο «Navigator» του Cyclone και εντός της βάσης στην οποία βρίσκονταν οι σαρώσεις, ένα νέο αντικείμενο «Registration». Ανοίγοντας το νέο «Registration» με διπλό κλικ, στο μενού εντολών «ScanWorld» επιλεγόταν η εντολή **Add ScanWorld** για την επιλογή των δύο νεφών προς συνένωση, τα οποία στην συνέχεια εμφανίζονταν στα δύο υπο-παράθυρα προεπισκόπησης (Εικόνα 4.2). Προφανώς, τα δύο προς συνένωση κάθε φορά νέφη ήταν απαραίτητο να παρουσιάζουν επικάλυψη. Φέρνοντας τα δύο νέφη υπό κοινή οπτική γωνία στα παράθυρα προεπισκόπησης, εντοπίζονταν κοινά σημεία κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία. Επρόκειτο για όσο το δυνατόν χαρακτηριστικά σημεία του πλοίου τα οποία απεικονίζονταν σαφώς και στις δύο σαρώσεις και τουλάχιστον τρία στο πλήθος. Αφού αυτά εντοπίζονταν, επιλέγονταν ένα προς ένα στα δύο νέφη με τον κέρσορα στην λειτουργία **pick** (*pick mode*) και κρατώντας πατημένο το **shift** για την σκόπευση και εισαγωγή κάθε νέου σημείου (εναλλακτικά, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία **multi-pick** του κέρσορα). Ακολούθως, στο *Edit > Preferences* και στην καρτέλα «Registration», οριζόταν το πλήθος επαναλήψεων της διαδικασίας μετασχηματισμού συντεταγμένων στις 150. Στην συνέχεια, στο μενού εντολών «Cloud Constraint» επιλεγόταν η εντολή **Add Cloud Constraint** για την εισαγωγή των επιλεγμένων σημείων στην διαδικασία συνένωσης και έπειτα, στο ίδιο μενού, η εντολή **Optimize Cloud Alignment** για την βελτιστοποίηση της ευθυγράμμισης των νεφών. Σε αυτό το σημείο γινόταν έλεγχος του ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος (**RMS**) της συνένωσης, στον πίνακα αποτελεσμάτων που εμφανιζόταν. Αυτό ήταν επιθυμητό να προκύπτει μικρότερο των 2cm. Σε διαφορετική περίπτωση, πραγματοποιούταν επανάληψη της επιλογής ομόλογων σημείων, με βελτίωση της σκόπευσής τους, διαφοροποίηση ή αύξηση του πλήθους τους, προκειμένου να προκύψουν καλύτερα αποτελέσματα. Εφόσον το RMS ήταν ικανοποιητικό, στο μενού εντολών «Register» επιλέγονταν διαδοχικά οι εντολές **Register, Create ScanWorld/Freeze Registration** και **Create**

**and Open ModelSpace**, αντίστοιχα για την υλοποίηση της συνένωσης των νεφών, την δημιουργία νέου ScanWorld για το αποτέλεσμα της συνένωσης και την δημιουργία ModelSpace για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος, δηλαδή του νέου νέφους.



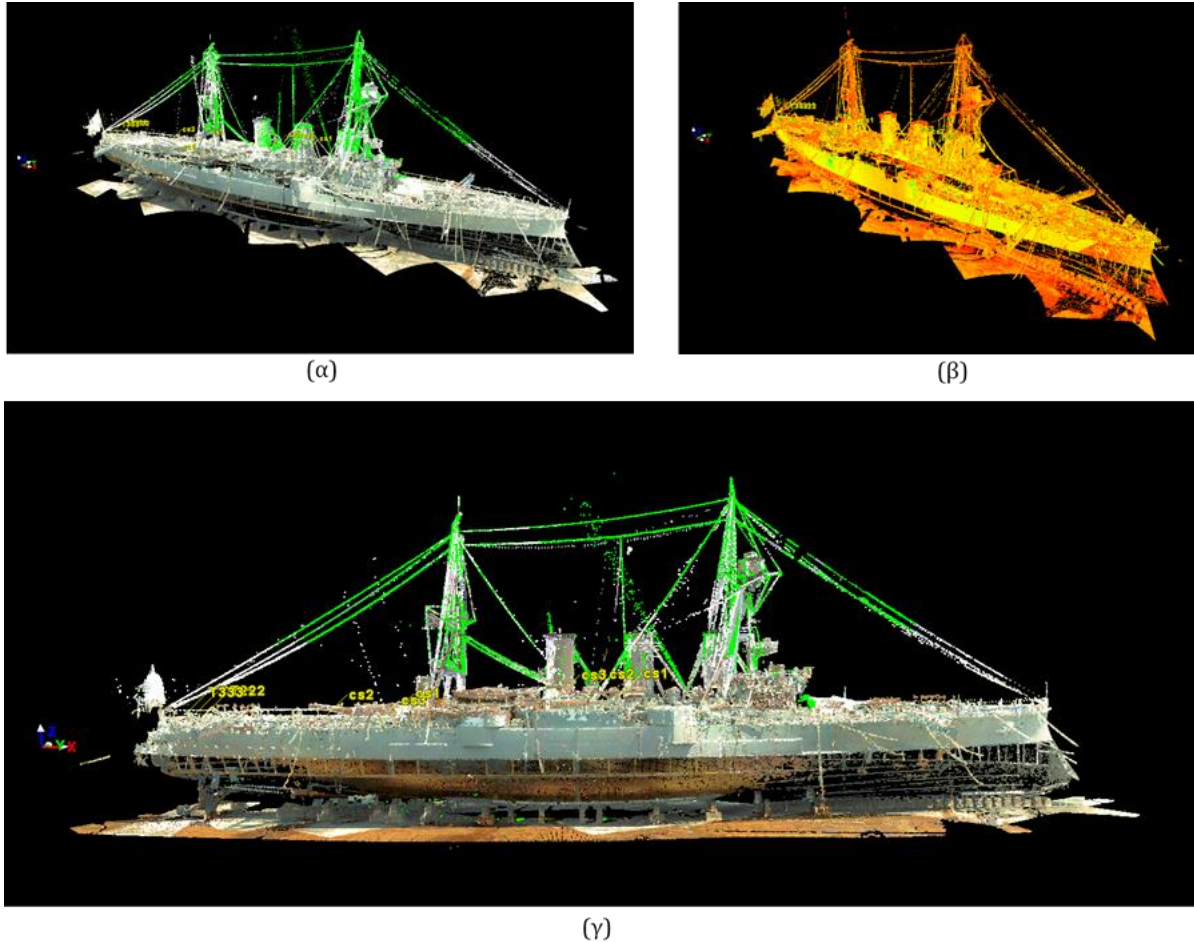
**Εικόνα 4.2 - Εντός της εντολής συνένωσης νεφών (registration) στο περιβάλλον του Cyclone - Τα δύο υπο-παράθυρα προεπισκόπησης των νεφών «registration2016\_2017» (αριστερά) και «fls\_Scan\_037» (δεξιά) προς συνένωση για την παραγωγή του τελικού νέφους (teliko\_reg)**

Η δυσκολία της διαδικασίας συνένωσης νεφών με την μέθοδο των ομόλογων σημείων του απεικονιζόμενου αντικειμένου, εντοπίζεται ακριβώς στην επιλογή και σκόπευση των σημείων αυτών. Η επιλογή των σημείων που θα συμμετέχουν στην διαδικασία προκύπτει από κριτήρια πλήθους και ποιότητας, τα οποία εξαρτώνται τόσο από την ποιότητα των σαρώσεων όσο και από την γεωμετρία (περισσότερο, παρά από το ποσοστό) της επικάλυψής τους. Η σχετική γεωμετρία των νεφών επηρεάζει επίσης και την σκόπευση των σημείων, όπως επίσης και η εμπειρία του χρήστη του εκάστοτε λογισμικού που παρέχει την δυνατότητα της διαδικασίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επιλογή της σωστής οπτικής γωνίας για την σκόπευση, προς αποφυγή λαθεμένων σημείων που πιθανόν καλύπτουν ή καλύπτονται από το επιθυμητό. Εν προκειμένω, η ανάγκη εκτέλεσης της εντολής βελτιστοποίησης (*Optimize Cloud Alignment*) και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα που κυμαίνονταν μεταξύ 1.2cm και 1.9cm, κατέδειξαν προβλήματα ποιότητας των σαρώσεων καθώς και προβλήματα στην γεωμετρία και το ποσοστό επικάλυψής τους. Οι συνδυασμοί των νεφών θα έδιναν πιθανότατα καλύτερα αποτελέσματα εάν στα ομόλογα σημεία περιλαμβάνονταν και ειδικοί στόχοι.

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι μεταξύ των παραπάνω ενεργειών έγινε επανειλημμένα προσπάθεια συνένωσης του νέφους απεικόνισης καταστρώματος-υπερκατασκευής του πλοίου, που προέκυψε από τις μετρήσεις με τον σαρωτή P 30/40 της Leica, με τους διάφορους



συνδυασμούς νεφών που είχαν ήδη πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, δεν υπήρξε επιτυχής ευθυγράμμιση των νεφών.



**Εικόνα 4.3 - Το τελικό νέφος σημείων απεικόνισης του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α), (β) Πανοραμική άποψη από την δεξιά προωρία πλευρά - (γ) Πλάγια (δεξιά) όψη - (α), (γ) Απόδοση χρώματος στο τελικό νέφος σημείων από εικόνες που λήφθηκαν μέσω της εσωτερικής κάμερας του επίγειου σαρωτή Focus<sup>M</sup> 70**

#### 4.2.2.2 Επεξεργασία στο Geomagic Studio

Αφού προέκυψε το τελικό αρχείο από την συνένωση των επί μέρους νεφών σημείων, το επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή και επεξεργασία του στο περιβάλλον του Geomagic Studio. Ωστόσο, το τελικό νέφος σημείων αποτελούταν από 194,628,321 σημεία και ήταν αδύνατη η διαχείρισή του στο Geomagic, το οποίο θεωρητικά παρέχει την δυνατότητα διαχείρισης νεφών της τάξης των 20,000,000 σημείων ενώ πρακτικά, είναι ικανοποιητικά αποδοτικό με νέφη της τάξης των 5 - 7,000,000,000 σημείων.

Έτσι, το τελικό ModelSpace χωρίστηκε στο περιβάλλον του Cyclone σε μικρότερα τμήματα. Για να επιτευχθεί αυτό, το ModelSpace στράφηκε έτσι ώστε το πλοίο να απεικονίζεται σε κάτοψη

και με το εργαλείο **fence** επιλεγόταν κάθε φορά με δύο εγκάρσιες τομές ένα κομμάτι του πλοίου με κάποια στοιχειώδη επικάλυψη με το προηγούμενο και αποθηκευόταν ως νέο ModelSpace (δεξί κλικ στο επιλεγμένο τμήμα και επιλογή **copy to a new ModelSpace**). Προέκυψαν έτσι επτά νέα επικαλυπτόμενα ModelSpaces και κάθε ένα από αυτά εξήχθη από το Cyclone ως αρχείο της μορφής .xyz. Κάθε αρχείο .xyz ήταν ένα νέφος σημείων που απεικόνιζε τμήμα του καταστρώματος του πλοίου, καθώς και της δεξιάς και αριστερής πλευράς του κοίλου του.

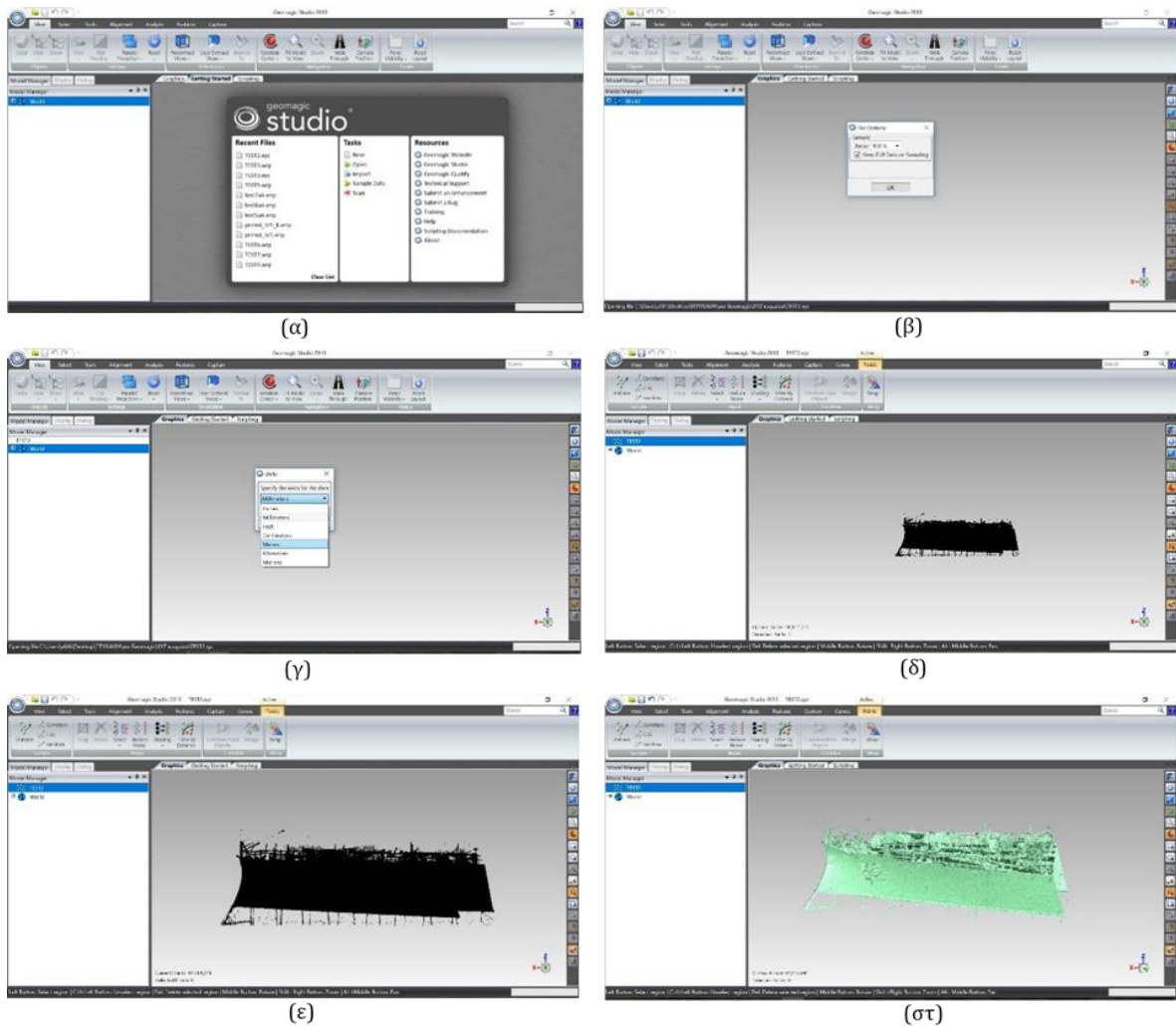
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία κάθε τμήματος στο περιβάλλον του Geomagic Studio. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε πρώτο στάδιο ήταν κοινή για όλα τα τμήματα. Προέκυψε από σειρές δοκιμών και την βιβλιογραφία που αφορούσε την δημιουργία κτηριακών μοντέλων πληροφοριών (BIM) στο κοινό πλαίσιο της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς και άρα της απαραίτητης πληροφορίας προς ανάδειξη. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αμέσως παρακάτω βήμα προς βήμα.

### **Βήμα 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή δεδομένων**

Ανοίγοντας το περιβάλλον του Geomagic, στην λίστα των «Tasks» (Εικόνα 4.1α) επιλέγεται η εντολή **import** για την εισαγωγή δεδομένων και συγκεκριμένα για την εισαγωγή του αρχείου .xyz. Μετά την επιλογή του επιθυμητού αρχείου εμφανίζεται ένα παράθυρο επιλογής της λεπτομέρειας εμφάνισης του νέφους σημείων. Σε αυτό επιλέχθηκε το Ratio στο 100% και η διατήρηση όλων των δεδομένων στην απεικόνιση («Keep Full Data on Sampling») (Εικόνα 4.1β). Έπειτα ζητείται η επιλογή μονάδων μέτρησης (Εικόνα 4.1γ), όπου επιλέχθηκαν τα μέτρα (*meters*), η ίδια μονάδα που χρησιμοποιήθηκε και από τους επίγειους σαρωτές στις μετρήσεις.

### **Βήμα 2<sup>ο</sup>: Οπτικοποίηση/Απεικόνιση δεδομένων**

Αφού εισαχθεί ένα αρχείο .xyz, το όνομά του εμφανίζεται στην λίστα της καρτέλας «Model Manager», αριστερά, ενεργοποιείται το μενού εντολών «Points» και κάτω αριστερά στην καρτέλα «Graphics» αναγράφεται ο αριθμός των σημείων του αρχείου. Όμως τα σημεία του νέφους εμφανίζονται όλα με μαύρο χρώμα, γεγονός που δεν επιτρέπει να διακρίνονται τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου (Εικόνες 4.1δ-ε). Για την καλύτερη και κατανοητή απεικόνιση του νέφους, από το μενού εντολών «Points» και από την εντολή **repair > shading**, επιλέγεται η **shade points**. Με αυτήν εφαρμόζονται εφέ φωτισμού και χρώματος στο νέφος ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή από τον χρήστη η γεωμετρία του (Εικόνα 4.1στ). Η εκτέλεση της εντολής, ανάλογα με το μέγεθος του αρχείου, δηλαδή το πλήθος των σημείων που απαρτίζουν το νέφος, διαρκεί λίγα λεπτά.



Εικόνα 4.4 - Εισαγωγή και οπτικοποίηση δεδομένων στο περιβάλλον του Geomagic Studio

### Βήμα 3ο: Διαχωρισμός νέφους

Μία σειρά δοκιμών στο περιβάλλον του Geomagic Studio κατέστησε αναγκαστικό τον περαιτέρω διαχωρισμό καθενός από τα επτά τμήματα. Έτσι, με την εισαγωγή τους στο Geomagic αυτά χωρίζονταν στα δύο κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του πλοίου, δηλαδή σε δεξί και αριστερό τμήμα, και η επεξεργασία τους πραγματοποιούνταν ξεχωριστά.

Αρχικά, το νέφος στρεφόταν σε κάτοψη. Έπειτα, από το μενού εντολών «Select» και τα **selection tools** επιλεγόταν η **polyline** (εναλλακτικά, εντοπίζεται στην κατακόρυφη γραμμή εργαλείων που υπάρχει στο δεξί όριο της καρτέλας «Graphics» ως **polyline selection tool**). Με το εργαλείο αυτό επιλεγόταν το δεξί ή αριστερό τμήμα του νέφους (και άρα του πλοίου) και δημιουργούταν ένα νέο αντικείμενο/μοντέλο από το επιλεγμένο τμήμα με την εντολή **create new object > from selection** του μενού εντολών «Tools» (εναλλακτικά, η εντολή εντοπίζεται με δεξί κλικ στην περιοχή των επιλεγμένων σημείων). Για την εκτέλεση της εντολής επιλεγόταν αντιγραφή και



επικόλληση του επιλεγμένου σημείου σε ένα νέο αντικείμενο/μοντέλο που δημιουργείται για αυτό στην λίστα του «Model Manager». Όμοια, δημιουργούταν νέο αντικείμενο και για το άλλο τμήμα του νέφους. Καθένα από τα δύο καινούργια νέφη ήταν της τάξης των 5,000,000 σημείων. Έτσι, υπήρχαν τελικά τρία αντικείμενα/μοντέλα νεφών σημείων : το αρχικό, το δεξί τμήμα και το αριστερό τμήμα.

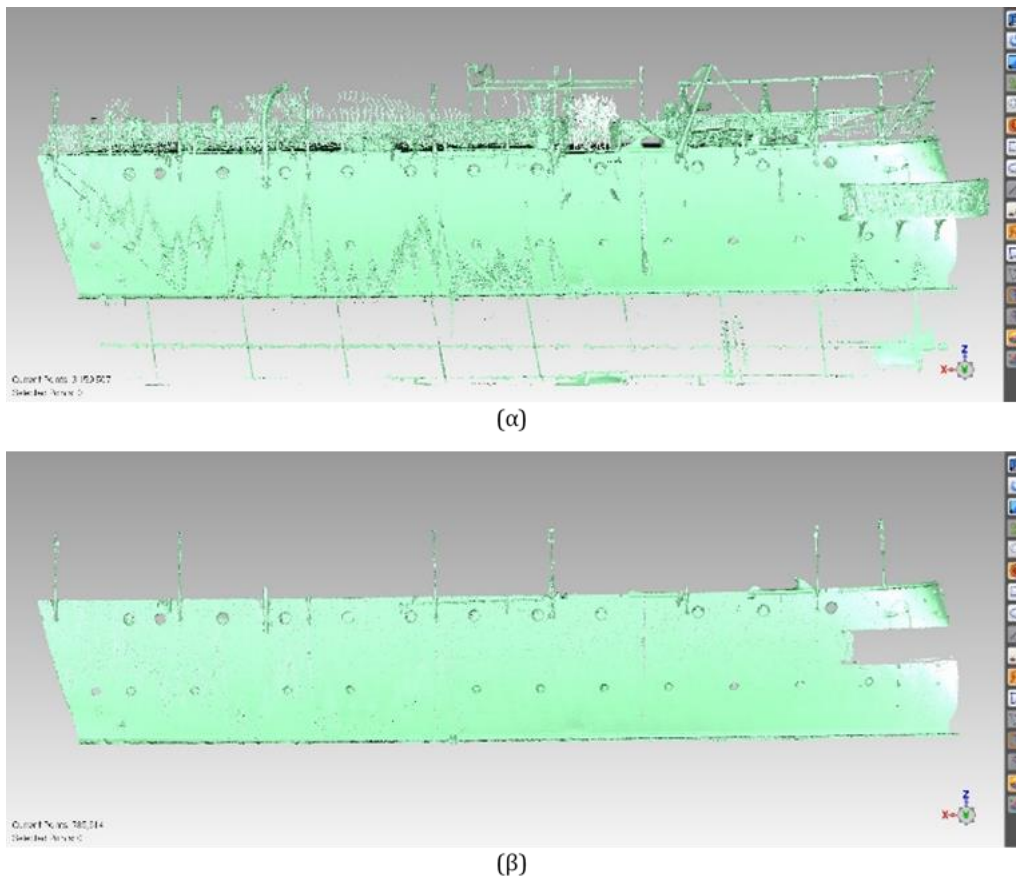
#### **Βήμα 4<sup>ο</sup>: Καθαρισμός νέφους**

Κατά την επεξεργασία του νέφους στο Cyclone πραγματοποιήθηκε ένας πρώτος καθαρισμός, κυρίως από αντικείμενα του περιβάλλοντος του πλοίου και από τον προφανή θόρυβο των μετρήσεων. Ωστόσο, για την επεξεργασία των επιμέρους νεφών στο Geomagic, ήταν απαραίτητος ο περαιτέρω καθαρισμός τους χειροκίνητα αλλά και με εργαλεία ημιαυτόματων εντολών. Η ροή των εργασιών καθαρισμού είχε ως εξής:

- i) Διάφορες δοκιμές επεξεργασίας των νεφών στο Geomagic κατέδειξαν την ανάγκη ξεχωριστής επεξεργασίας καταστρώματος και κοίλου. Έτσι, σε κάθε νέφος που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα, διαγραφόταν κατ' αρχάς το τμήμα του καταστρώματος και διατηρούταν μόνο το τμήμα του κοίλου. Αυτό επιτυγχανόταν με την επιλογή του χρησιμοποιώντας κάποιο από τα **selection tools** της εντολής «Select» και την διαγραφή του με **delete**.
- ii) Ακολούθως, με τον ίδιο χειροκίνητο τρόπο επιλέγονταν και διαγράφονταν αντικείμενα που δεν ανήκαν στο πλοίο (δοκάρια στήριξης του στην δεξαμενή, δάπεδο δεξαμενής) καθώς και εξαρτήματα του πλοίου με ελλιπή πληροφορία λόγω ανεπαρκούς αποτύπωσης (π.χ. κολωνάκια κουπαστής). Επίσης, διαγράφονταν μικρότερα εξαρτήματα που ούτως ή άλλως θα αγνοούνταν από τις επόμενες εντολές και θα διαγράφονταν αυτόματα με την εκτέλεσή τους, ενώ η ύπαρξή τους πιθανότατα θα οδηγούσε σε λαθεμένα αποτελέσματα των επερχόμενων βημάτων επεξεργασίας (π.χ. σκοινιά πλοίου).
- iii) Στην συνέχεια εφαρμοζόταν η εντολή **repair > select > outliers** του μενού εντολών «Points». Αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την επιλογή των σημείων που απέχουν στατιστικά περισσότερο από άλλα σε σχέση με το σύνολο των σημείων του νέφους και που αποτελούν ουσιαστικά θόρυβο. Με την επιλογή της εντολής, στην καρτέλα «Dialog» αριστερά, δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της ευαισθησίας της εντολής. Αφού επιλέγονται με κάθε εκτέλεση της εντολής τα προς διαγραφή σημεία, αυτά διαγράφονται με **delete**. Η εντολή εφαρμοζόταν 1 – 4 φορές για κάθε νέφος, με εναρκτήρια τιμή ευαισθησίας το 50% και αυξάνοντας το ποσοστό κάθε φορά (το πολύ μέχρι 85%), προκειμένου να επιτευχθεί μείωση των σημείων του νέφους για ακόμα καλύτερη διαχείριση και επεξεργασία του και με κριτήριο τα σημεία που

επιλέγονταν να διαγραφούν κάθε φορά να αποτελούν το 1 – 1.2 % του συνόλου (Santana-Quintero, et al., 2008) (κάτω αριστερά στην καρτέλα «Graphics» αναγράφεται ο συνολικός αριθμός των σημείων του νέφους και ο αριθμός των επιλεγμένων σημείων).

iv) Η επόμενη εντολή που εφαρμοζόταν για τον καθαρισμό του κάθε νέφους ήταν η **repair > reduce noise** του μενού εντολών «Points». Ημιαυτόματη εντολή, με επιλογή ρυθμίσεων στην καρτέλα «Dialog», που έχει ως αποτέλεσμα την διόρθωση του θορύβου που οφείλεται σε «λάθος» του σαρωτή, μετακινώντας τα σημεία του νέφους στην στατιστικά σωστή θέση τους και επιτυγχάνοντας, ως εκ τούτου, μια πιο ομαλή διάταξή τους. Στις ρυθμίσεις της εντολής ο χρήστης ορίζει τις παραμέτρους εφαρμογής της. Αυτές αφορούν την γεωμετρία του νέφους, την επιθυμητή ομαλότητα και τον αριθμό των επαναλήψεων της σχετικής συνάρτησης. Όσον αφορά τη γεωμετρία του νέφους, για μοντέλα αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς που παρουσιάζουν γεωμετρική πολυπλοκότητα, όπως η περίπτωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», επιλέγεται η «Free-form shapes» έναντι των «Prismatic shapes». Η ομαλότητα και ο αριθμός των επαναλήψεων επιλέγονται σε συνάρτηση μεταξύ τους, σύμφωνα με την οποία ο αριθμός των επαναλήψεων (εύρος: 1 – 5) απαιτείται να είναι κατά μία μονάδα μεγαλύτερος από το επίπεδο ομαλότητας (εύρος: 0 – 4) (Santana-Quintero, et al., 2008). Έχοντας ορίσει τις παραμέτρους και πριν την εκτέλεση της εντολής, δίνεται η δυνατότητα προεπισκόπησης των αποτελεσμάτων σε μια περιοχή του αντικειμένου που μπορεί να επιλεγεί με αριστερό κλικ. Συνιστάται σε αυτό το σημείο να επιλέγεται πρώτα μια ομαλή περιοχή για την οποία ρυθμίζονται οι παράμετροι και στην συνέχεια αυτές να ελέγχονται σε μια μη ομαλή περιοχή του αντικειμένου. Στην περίπτωση του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» ο πιο κατάλληλος συνδυασμός ήταν το επίπεδο ομαλότητας στο 2 και ο αριθμός των επαναλήψεων στο 3, ενώ πιο σπάνια η εντολή εφαρμόστηκε για επίπεδο ομαλότητας 3 και αριθμό επαναλήψεων στο 4. Με την εκτέλεση της εντολής (**apply**), στην καρτέλα «Dialog» ανοίγοντας το πεδίο «Display Deviations» εμφανίζεται με χρωματικό υπόμνημα το πλήθος των σημείων που μετακινήθηκαν και κατά πόσο ενώ στο πεδίο «Statistics» εμφανίζονται τα στατιστικά της μετακίνησης των σημείων. Στο ίδιο πεδίο εντοπίζεται το κουμπί «Crease Info» το οποίο εμφανίζει μια τιμή για το μέγεθος «Crease Angle» που δεν θα πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 10 προκειμένου η εντολή να θεωρείται επιτυχώς εφαρμοσμένη (Santana-Quintero, et al., 2008). Αν η τιμή της εν λόγω γωνίας είναι μεγαλύτερη του 10 θα πρέπει η εντολή να επαναληφθεί. Τα κριτήρια επιτυχίας της εντολής για το κοίλο του πλοίου στην παρούσα μελέτη ήταν το οπτικό αποτέλεσμα της προεπισκόπησης σε συνδυασμό με την τιμή της γωνίας crease.



**Εικόνα 4.5 - Το νέφος σημείων της τμήματος της αριστερής πρυμναίας πλευράς του πλοίου στο περιβάλλον του Geomagic Studio - (α) Αρχικό νέφος σημείων - (β) Νέφος σημείων μετά τις διαδικασίες καθαρισμού και μείωσης σημείων**

#### **Βήμα 5<sup>ο</sup>: Δειγματοληψία - Μείωση σημείων νέφους**

Έως αυτό το σημείο, με την απομάκρυνση του θορύβου, τα σημεία κάθε νέφους είχαν μειωθεί σημαντικά στο επίπεδο των 1 – 2,000,000 σημείων. Παρ' όλα αυτά, το Geomagic διαθέτει ένα εργαλείο μείωσης των σημείων ενός νέφους ώστε, ταυτόχρονα με την διατήρηση των ελάχιστων απαραίτητων σημείων για την αναγνώριση γεωμετρικών χαρακτηριστικών και την υλοποίηση επιφανειών, να καθίσταται το νέφος πιο εύκολα διαχειρίσιμο εντός του περιβάλλοντος του λογισμικού. Πρόκειται για τις συναρτήσεις της εντολής **sample** η οποία εντοπίζεται στο μενού εντολών «Points» και που ως αποτέλεσμα έχει την διατήρηση ενός χαρακτηριστικού δείγματος του νέφους. Ανάλογα με την γεωμετρία του αντικειμένου που απεικονίζεται στο υπό επεξεργασία νέφος, επιλέγεται η κατάλληλη συνάρτηση. Στην περίπτωση του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» επιλέχθηκε η συνάρτηση **uniform**. Η συνάρτηση αυτή μειώνει ομοιόμορφα το πλήθος των σημείων των επίπεδων επιφανειών, ενώ για τις επιφάνειες που παρουσιάζουν καμπυλότητα η μείωση των σημείων γίνεται με πυκνότητα που ορίζεται από τον χρήστη από τις ρυθμίσεις της συνάρτησης, που εμφανίζονται στην καρτέλα «Dialog», «Absolute Spacing» και «Curvature

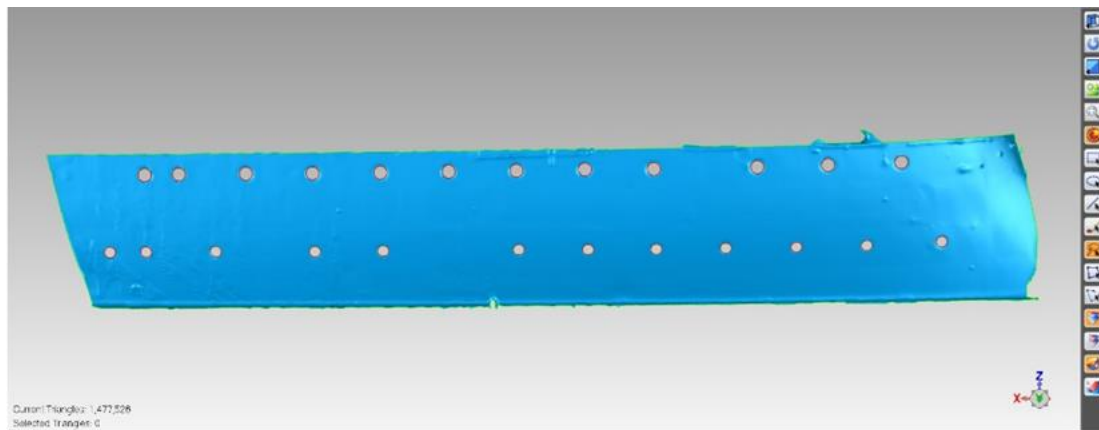
Priority». Η πρώτη αναφέρεται στην απόσταση των σημείων του νέφους που προκύπτει με την εκτέλεση της εντολής και αφορά τις επιφάνειες χαμηλής καμπυλότητας. Η μπάρα «Curvature Priority» έχει 11 θέσεις (εύρος: 0 – 10) και προτιμάται να τίθεται στην μέγιστη. Αν το «Absolute Spacing» οριστεί στα 2cm, τότε, με την «Curvature Priority» στο μέγιστο, η απόσταση μεταξύ των σημείων στις επιφάνειες που παρουσιάζουν έντονη καμπυλότητα θα είναι  $2\text{cm}/11 = 0.18\text{cm}$  (Santana-Quintero, et al., 2008). Στην περίπτωση των νεφών του κοίλου του πλοίου η απόσταση αυτή διατηρήθηκε όπως οριζόταν αυτόματα από το Geomagic για κάθε νέφος (στην τάξη των λίγων mm έως του 1cm). Επίσης, επιλεγόταν η διατήρηση των οριακών σημείων των νεφών («Keep Boundary»), εφόσον αυτά επρόκειτο να συνδεθούν ξανά σε ενιαίο νέφος.

### **Βήμα 6<sup>ο</sup>: Παραγωγή τριγώνων**

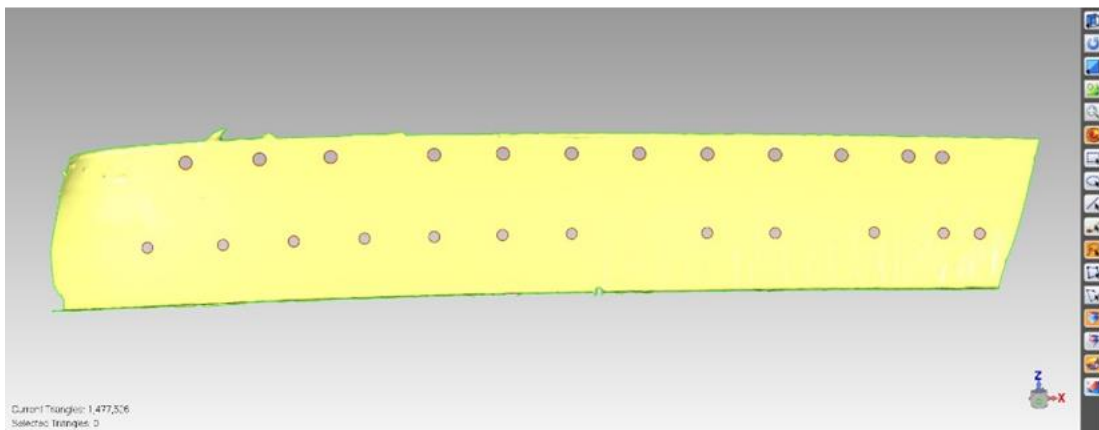
Σε αυτό το στάδιο το νέφος σημείων μετατρέπεται πλέον σε πολυγωνικό αντικείμενο. Τα σημεία ενώνονται σε πλέγμα τριγώνων (*mesh*) συνιστώντας επιφάνειες. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή **wrap** του μενού «Points». Όπως και οι προηγούμενες εντολές, η *wrap* εφαρμόστηκε ξεχωριστά για κάθε ένα από τα νέφη σημείων. Από τις ρυθμίσεις της εντολής επιλεγόταν να μην πραγματοποιείται περαιτέρω μείωση θορύβου («Noise Reduction: None»), να διατηρούνται τα αρχικά δεδομένα («Keep Original Data»), ο μέγιστος αριθμός των τριγώνων διατηρούταν όπως οριζόταν από το Geomagic και τέλος δινόταν αποκλειστική βαρύτητα στην ποιότητα του αποτελέσματος σε σχέση με την εκτέλεση της συνάρτησης στην σχετική μπάρα «Performance – Quality». Η εκτέλεση της εντολής διαρκούσε μερικά λεπτά, ενώ με το πέρας της εφαρμογής της εμφανιζόταν ως νέο αντικείμενο το πλέγμα τριγώνων που δημιουργούταν στην καρτέλα «Model Manager» και στο μενού εντολών ενεργοποιούνταν πρόσθετα εργαλεία και συναρτήσεις που αφορούν πολυγωνικά αντικείμενα.

### **Βήμα 7<sup>ο</sup>: Διορθώσεις πλεγμάτων**

Από την εκτέλεση της εντολής *wrap* ανέκυπτε για κάθε νέφος του κοίλου, ένα σύνολο επιφανειών που απεικόνιζαν το εσωτερικό τμήμα του κοίλου και των λοιπών αντικειμένων και εξαρτημάτων του με κίτρινο χρώμα και το εξωτερικό τμήμα τους με μπλε χρώμα (Εικόνα 4.6). Ο τυχών εναπομείναντας θόρυβος ή η ανεπάρκεια των μετρητικών πληροφοριών, που συνόδευαν τα νέφη σημείων μέχρι και αυτό το στάδιο, έδιναν συχνά προβληματικά αποτελέσματα.



(α)



(β)

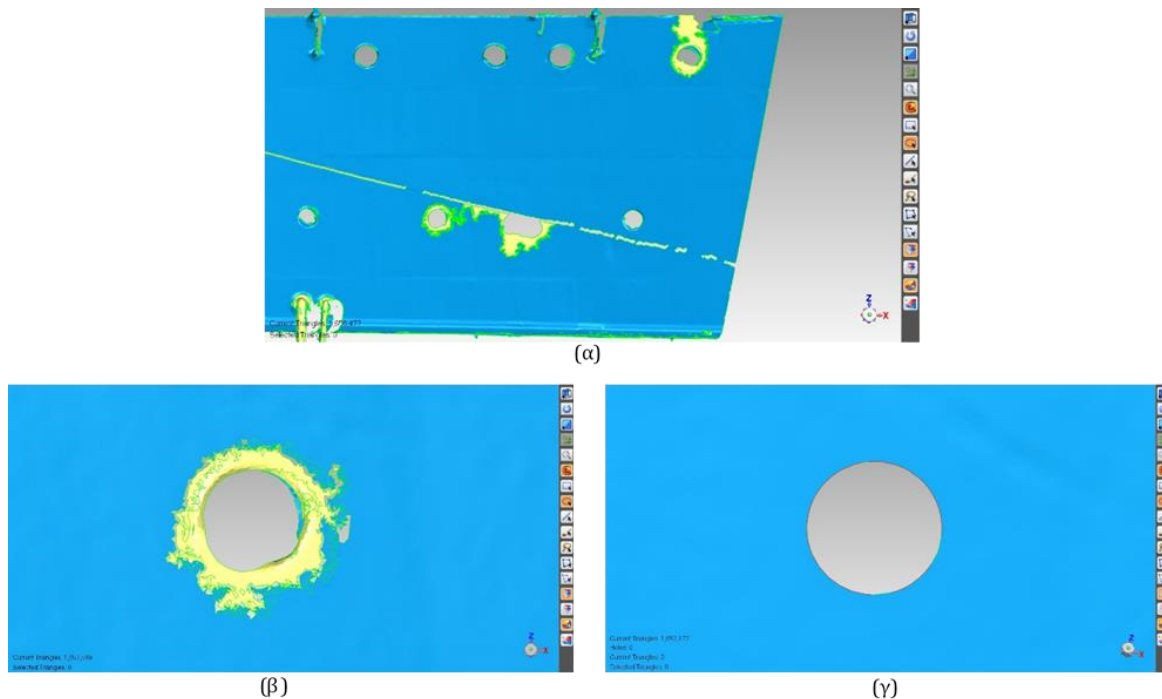
**Εικόνα 4.6 - Το αποτέλεσμα της συνάρτησης *wrap* για το τμήμα της αριστερής πρυμναίας πλευράς - (α) Εξωτερική επιφάνεια - (β) Εσωτερική επιφάνεια**

Εδώ γίνεται η περιγραφή του τρόπου αντιμετώπισης κάθε είδους τέτοιου αποτελέσματος.

#### i) Ανεστραμμένα Τρίγωνα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εντολή *wrap* δίνει σαν αποτέλεσμα επιφάνειες συνιστάμενες από τρίγωνα (αποτελούν στην ουσία πλέγμα τριγώνων που έχουν δημιουργηθεί από τα σημεία του νέφους), οι οποίες απεικονίζονται με μπλε ή κίτρινο χρώμα όταν πρόκειται για εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια ενός αντικειμένου, κατά αντιστοιχία. Παράγοντες όπως θόρυβος των μετρήσεων ή ελλιπής μετρητική πληροφορία είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε λαθεμένη αναγνώριση των επιφανειών με αποτέλεσμα να απεικονίζονται με αντίστροφα χρώματα. Συνήθως, εφόσον εκτελεστούν σωστά τα προηγούμενα βήματα, αυτό δεν συμβαίνει. Ωστόσο, η εμφάνισή του μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εντολή ***repair > flip normals*** του μενού εντολών «Polygons», αφού πρώτα επιλεγούν τα ανεστραμμένα τρίγωνα με κάποιο από τα ***selection tools*** του μενού εντολών «Select». Στην έκδοση του Geomagic που

χρησιμοποιήθηκε, η εν λόγω εντολή δεν ήταν διαθέσιμη. Συνεπώς, η αντιμετώπιση του προβλήματος πραγματοποιούνταν χειροκίνητα με επιλογή και διαγραφή των εσφαλμένα παραγμένων τριγώνων και την συμπλήρωση της γεωμετρικής πληροφορίας όπως στην περίπτωση των τρυπών (βλ. παρακάτω).

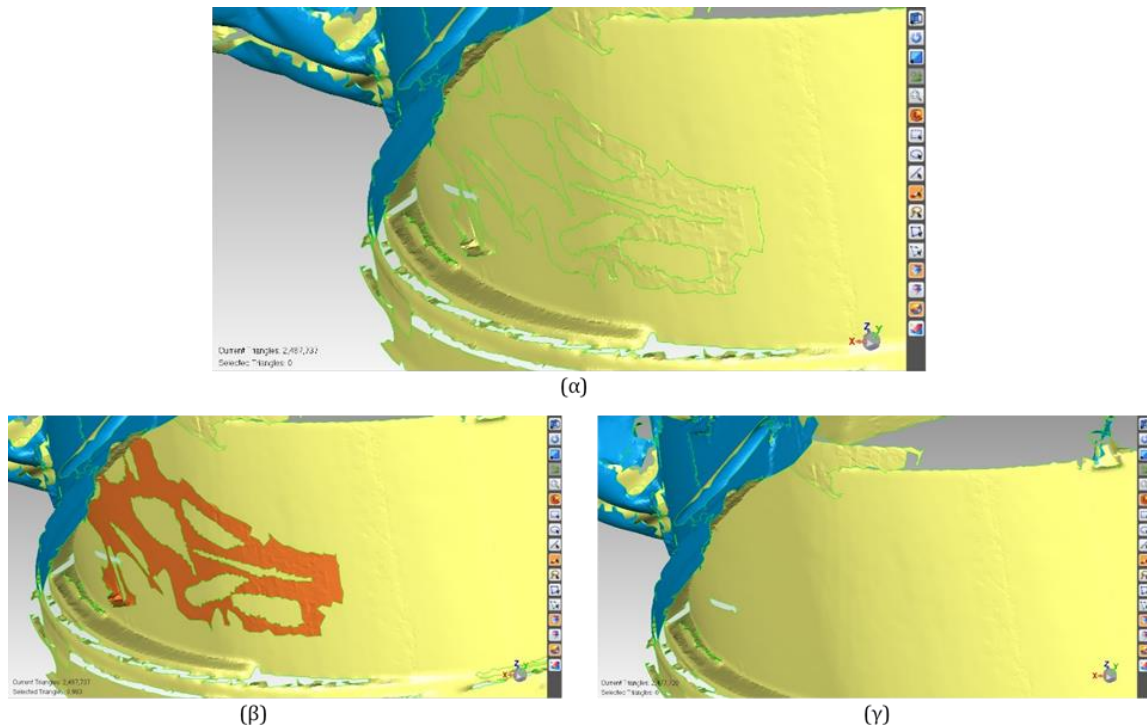


Εικόνα 4.7 - (α) Εξωτερική επιφάνεια (μπλε χρώμα) με ανεστραμμένα τρίγωνα (κίτρινο χρώμα)  
 - (β) Εστίαση σε περιοχή της ίδιας επιφάνειας - (γ) Εστίαση στην ίδια περιοχή μετά την  
 διόρθωση των ανεστραμμένων τριγώνων

## ii) Επικαλυπτόμενα Τρίγωνα

Αυτό ήταν το πιο σύνηθες πρόβλημα της διαδικασίας καθώς και το πιο απαιτητικό χρονικά ως προς την αντιμετώπισή του. Πρόκειται για τρίγωνα που δημιουργούνται πάνω από άλλα και είναι δυνατόν να συναντώνται είτε σε μικρή κλίμακα με δύο επικαλυπτόμενα τρίγωνα είτε σε επιφάνειες επί επιφανειών (Εικόνα 4.8). Ενώ πολύ συχνή ήταν η περίπτωση κατά την οποία η αντιμετώπιση δύο επικαλυπτόμενων τριγώνων επέφερε μεγαλύτερη κλίμακα του προβλήματος. Το φαινόμενο των επικαλυπτόμενων τριγώνων προκύπτει από τυχόντα θόρυβο που συνοδεύει τις μετρήσεις, καθώς και από το γεγονός ότι το τελικό νέφος σημείων αποτελείται από μια πληθώρα πρωτογενών νεφών. Η αντιμετώπιση συνίσταται σε επιλογή των «λαθεμένα» δημιουργημένων τριγώνων με ένα από τα **selection tools** του μενού εντολών «Select» και διαγραφή τους με **delete**, ενώ η δυσκολία της συγκεκριμένης διαδικασίας έγκειται στην διάκριση της «σωστής» από την «λάθος» επιφάνεια.

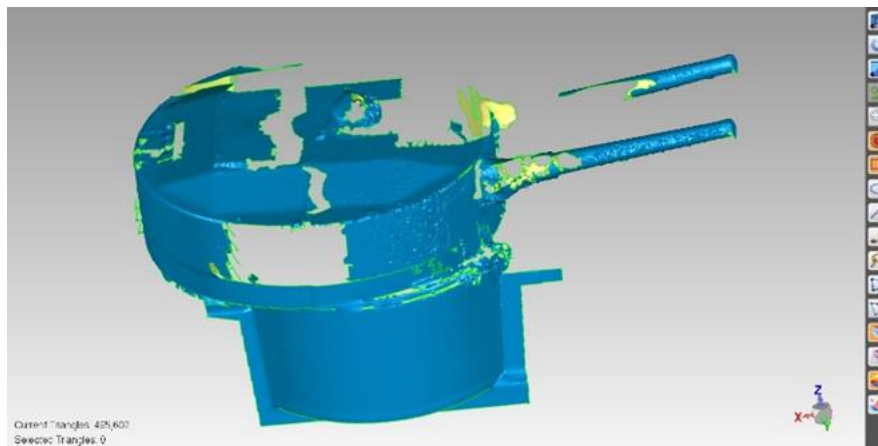




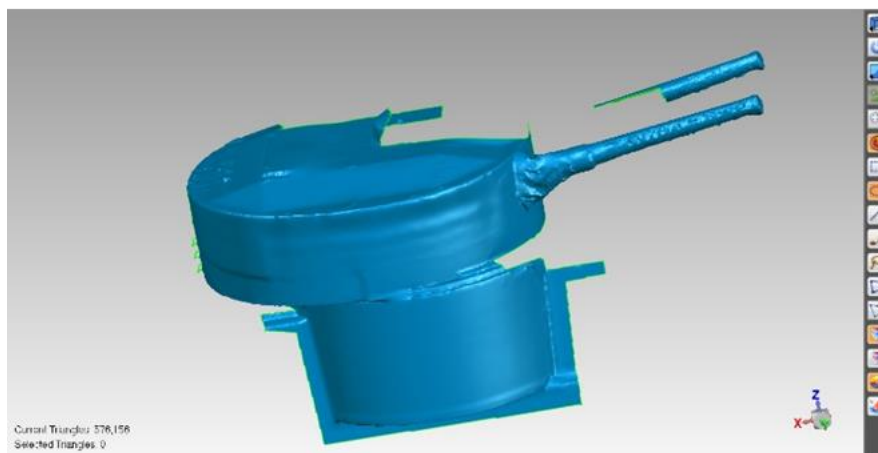
**Εικόνα 4.8 – (α) Περιοχή με επικαλυπτόμενα τρίγωνα (επιφάνεια επί επιφανείας) – (β) Επιλογή της λαθεμένης επιφάνειας προς διαγραφή – (γ) Η ίδια περιοχή μετά την διαγραφή της λαθεμένης επιφάνειας**

### iii) Τρύπες

Αναφέρονται ουσιαστικά στην απουσία τριγώνων σε περιοχές που αποτελούν τμήμα επιφάνειας. Προκύπτουν είτε κατά την πρώτη εκτέλεση της εντολής *wrap* είτε κατά τις διορθωτικές παρεμβάσεις του χρήστη στο πλέγμα. Για το «γέμισμά» τους υπάρχει στο Geomagic το εργαλείο **fill holes** στο μενού εντολών «Polygons». Εάν στο πλέγμα υπάρχουν μικρές τρύπες, αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν μαζικά και αυτόματα με την εντολή **fill holes > fill all**. Για μεγαλύτερες ή/και πιο σύνθετες τρύπες του πλέγματος η αντιμετώπιση γίνεται ξεχωριστά για κάθε τρύπα με την εντολή **fill holes > fill single**, αξιοποιώντας τις επιλογές γεμίσματος που δίνει η εντολή, ώστε η τρύπα μπορεί να καλυφθεί ολόκληρη από την αρχή ή σταδιακά ή δημιουργώντας γέφυρες, αλλά και τις συναρτήσεις σύμφωνα με τις οποίες μια τρύπα μπορεί να καλυφθεί συναρτήσει της γεωμετρίας του περιβάλλοντος πλέγματος: επίπεδα, εφαπτομενικά ή με πλήρη καμπυλότητα. Η εντολή εκτελείται με την χειροκίνητη επιλογή των περιμετρικών σημείων της κάθε τρύπας. (Εικόνα 4.9)



(α)



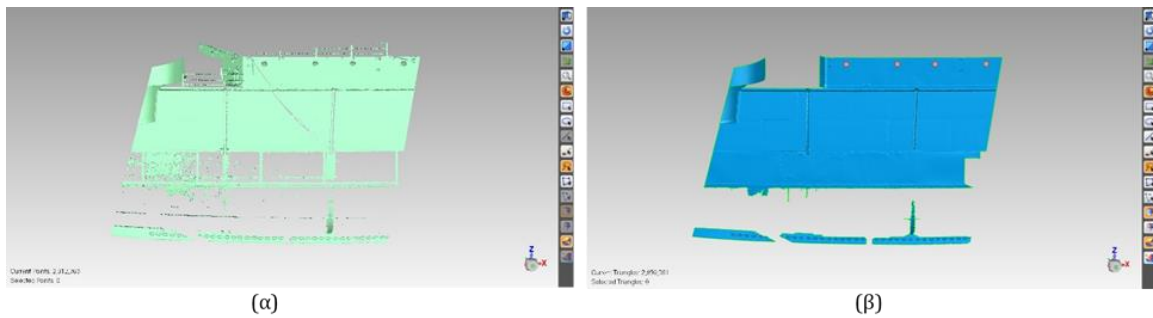
(β)

**Εικόνα 4.9 - Αντιμετώπιση σύνθετων τρυπών στον πλευρικό πύργο πυροβόλων - (α) Ο πύργος όπως προέκυψε από την εκτέλεση της εντολής wrap - (β) Ο ίδιος πλευρικός πύργος πυροβόλων μετά το «γέμισμα» των τρυπών**

#### iv) Ελλιπής Μετρητική Πληροφορία

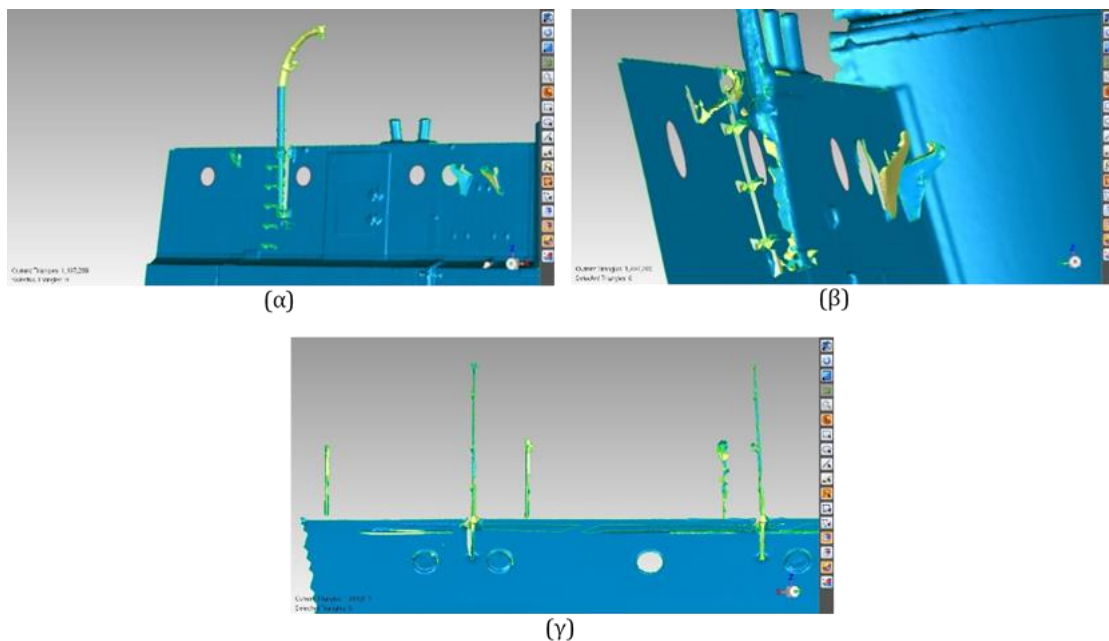
Αυτό αποτέλεσε ιδιαίτερο πρόβλημα στην αποτύπωση του μαύρου χρώματος τμήματος του κοίλου. Στα περισσότερα τμήματα του κοίλου κατά την μετατροπή τους σε πολυγωνικές επιφάνειες, το τμήμα αυτό αγνοούταν από την συνάρτηση μετατροπής λόγω της ελάχιστης πληροφορίας που είχε ληφθεί με την χρήση σαρωτή laser (βλ. Ενότητα 3.3.2.1) (Εικόνα 4.10). Εξαιρέση αποτέλεσαν τα αρχεία που απεικόνιζαν το μέσο δεξί τμήμα του κοίλου, στα οποία περιλαμβανόταν η μετρητική πληροφορία που είχε ληφθεί με τον σαρωτή FARO Focus<sup>M</sup> 70, αλλά και το αντίστοιχο τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου, καθώς και στις δύο περιπτώσεις ο σαρωτής βρισκόταν πιο κοντά στην επιφάνεια του κοίλου του πλοίου εξαιτίας της έντονης κυρτότητάς της.





**Εικόνα 4.10 - Αγνοούμενη γεωμετρική πληροφορία της γάστρας του πλοίου κατά την εκτέλεση της εντολής wrap - (α) Πριν την εκτέλεση της εντολής - (β) Μετά την εκτέλεση της εντολής**

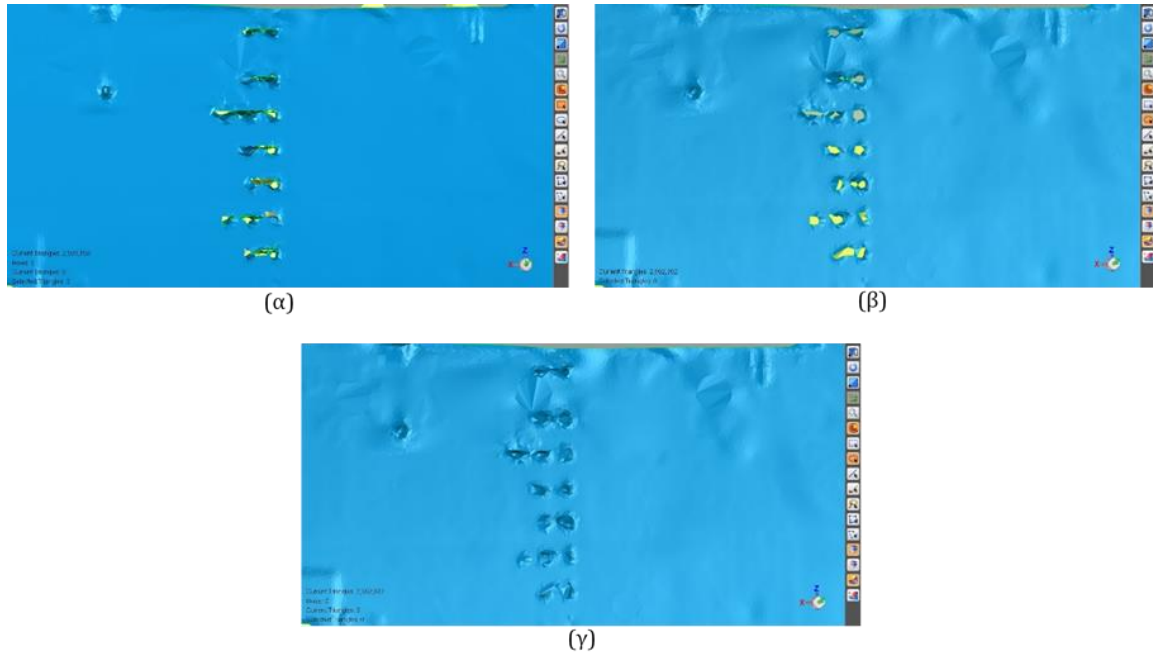
Εκτός από το τμήμα αυτό του κοίλου, το ίδιο πρόβλημα παρατηρήθηκε και για διάφορα εξαρτήματα του πλοίου, όπως ήταν για παράδειγμα τα κολωνάκια στην περιφέρεια του καταστρώματος, τα φινιστρίνια ή μικρότερα εξαρτήματα του κοίλου (Εικόνες 4.11, 4.12). Αυτό οφειλόταν σε ανεπάρκεια των μετρήσεων με χρήση σαρωτή laser κυρίως λόγω της απόστασης του οργάνου από το πλοίο σε συνδυασμό με τις δυνατότητες του οργάνου και τα χαρακτηριστικά (γεωμετρικά ή υλικά) των προς αποτύπωση επιφανειών.



**Εικόνα 4.11 - Ημιτελής ή/και λαθεμένη δημιουργία πλέγματος για τα κολωνάκια επι της κουπαστής και του κοίλου του πλοίου**

Επίσης, συχνά πολλά αντικείμενα βρίσκονταν στην σκιά του οργάνου εξαιτίας της γωνίας λήψης των μετρήσεων ή επειδή καλύπτονταν από άλλα. Κάποια από τα αντικείμενα αυτά διαγράφηκαν αυτόματα με την εκτέλεση της εντολής *wrap* ή χειροκίνητα, για άλλα συμπληρώθηκε η πληροφορία που έλειπε αντιμετωπίζοντάς τα ως τρύπες (βλ. παραπάνω) και

άλλα διατηρήθηκαν ως είχαν εφόσον δεν ήταν δυνατόν να συμπληρωθεί σωστά η πληροφορία αλλά ούτε και να διαγραφούν καθώς θα ήταν λαθεμένη εξ ολοκλήρου απουσία πληροφορίας για αυτά (Εικόνα 4.12). Συγκεκριμένα για τα φινιστρίνια, η αντιμετώπιση του προβλήματος περιγράφεται παρακάτω.

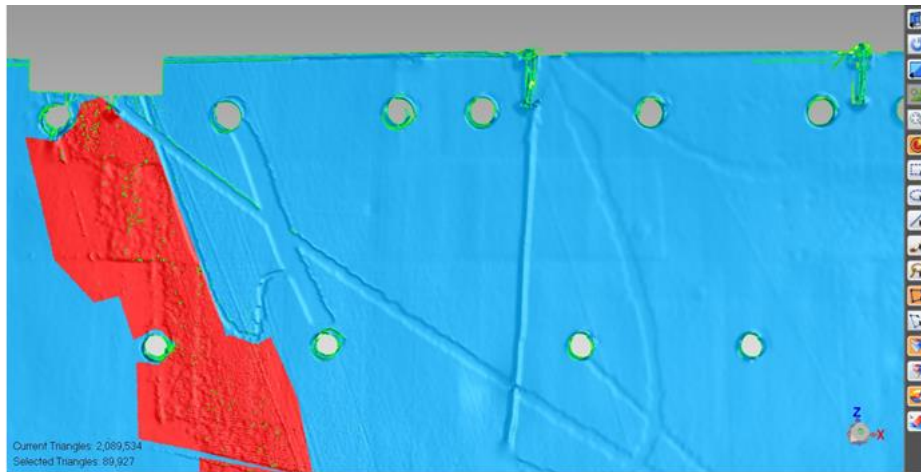


**Εικόνα 4.12 - Διατήρηση πληροφορίας θέσης για τις σκάλες επί του κοίλου - (α) Το πλέγμα τριγώνων για τις σκάλες όπως δημιουργήθηκε με την εκτέλεση της εντολής *wrap* - (β) Διαγραφή της ελλιπούς γεωμετρικής πληροφορίας - (γ) Η πληροφορία θέσης για τις σκάλες επί του κοίλου όπως διατηρήθηκε**

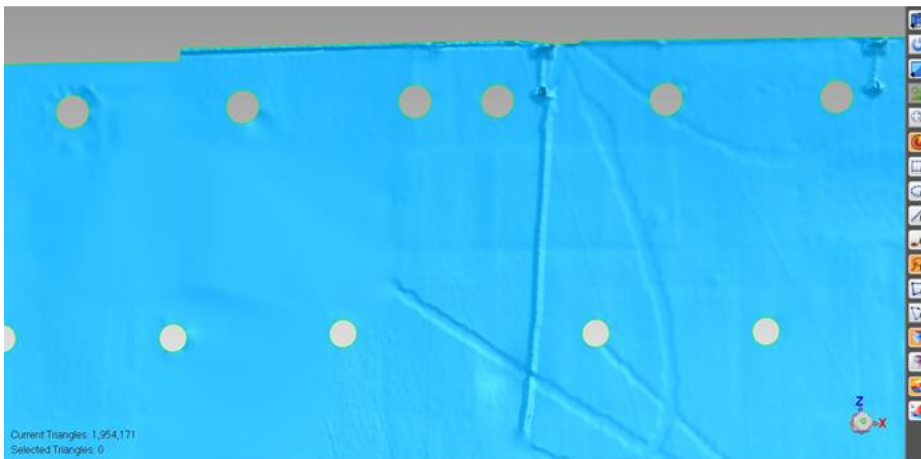
#### ν) Εναπομείναντας Θόρυβος σε Επιφάνειες

Η περίπτωση αυτή δεν έχει σαν αποτέλεσμα επικαλυπτόμενα τρίγωνα, αλλά εμφάνιση ανωμαλιών σε επιφάνειες κατά τ' άλλα λείες, όπως η επιφάνεια του κοίλου του πλοίου. Αυτές πιθανότατα να οφείλονται σε αντανάκλασεις των ακτινών φωτός που εμφανίζονταν σαν γυαλάδες επί των επιφανειών, από άλλους ατμοσφαιρικούς παράγοντες που προκαλούσαν την διάχυση της ακτίνας laser του σαρωτή ή σε παρεμβαλλόμενα αντικείμενα που δεν ανήκουν στην επιφάνεια του πλοίου (π.χ. σκοινιά). Η αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν δυνατό να επιτευχθεί σε κάποιες περιπτώσεις με την δημιουργία τρύπας στο συγκεκριμένο τμήμα της επιφάνειας, δηλαδή με την διαγραφή των τριγώνων εκείνων που δεν ταίριαζαν με την λεία υφή της επιφάνειας, και συμπλήρωσή της κατά τα προαναφερθέντα με την εντολή *fill holes*. Υπήρχαν ωστόσο και περιπτώσεις στις οποίες μια τέτοια αντιμετώπιση παραμόρφωνε την γεωμετρία της επιφάνειας και συνεπώς αυτή διατηρούταν ως είχε. Μια τέτοια περίπτωση φαίνεται στην Εικόνα 4.14 και αφορά τμήμα της αριστερής πρυμναίας επιφάνειας του κοίλου. Σε άλλες περιπτώσεις εφαρμόστηκε επιτυχώς ομαλοποίηση της προβληματικής περιοχής με

την επιλογή της και την εκτέλεση της εντολής **smooth > QuickSmooth** του μενού εντολών «Polygons» (Εικόνα 4.13).

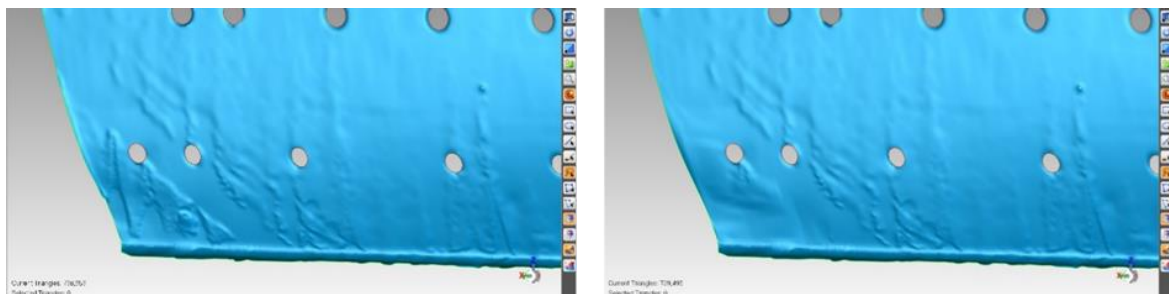


(α)



(β)

**Εικόνα 4.13 - (α) Εναπομείναντας θόρυβος από παρεμβαλλόμενα αντικείμενα (σκοινιά) - (β) Αποτέλεσμα αντιμετώπισης του θορύβου στην ίδια περιοχή με διαγραφή-συμπλήρωση-ομαλοποίηση τριγώνων**



(α)

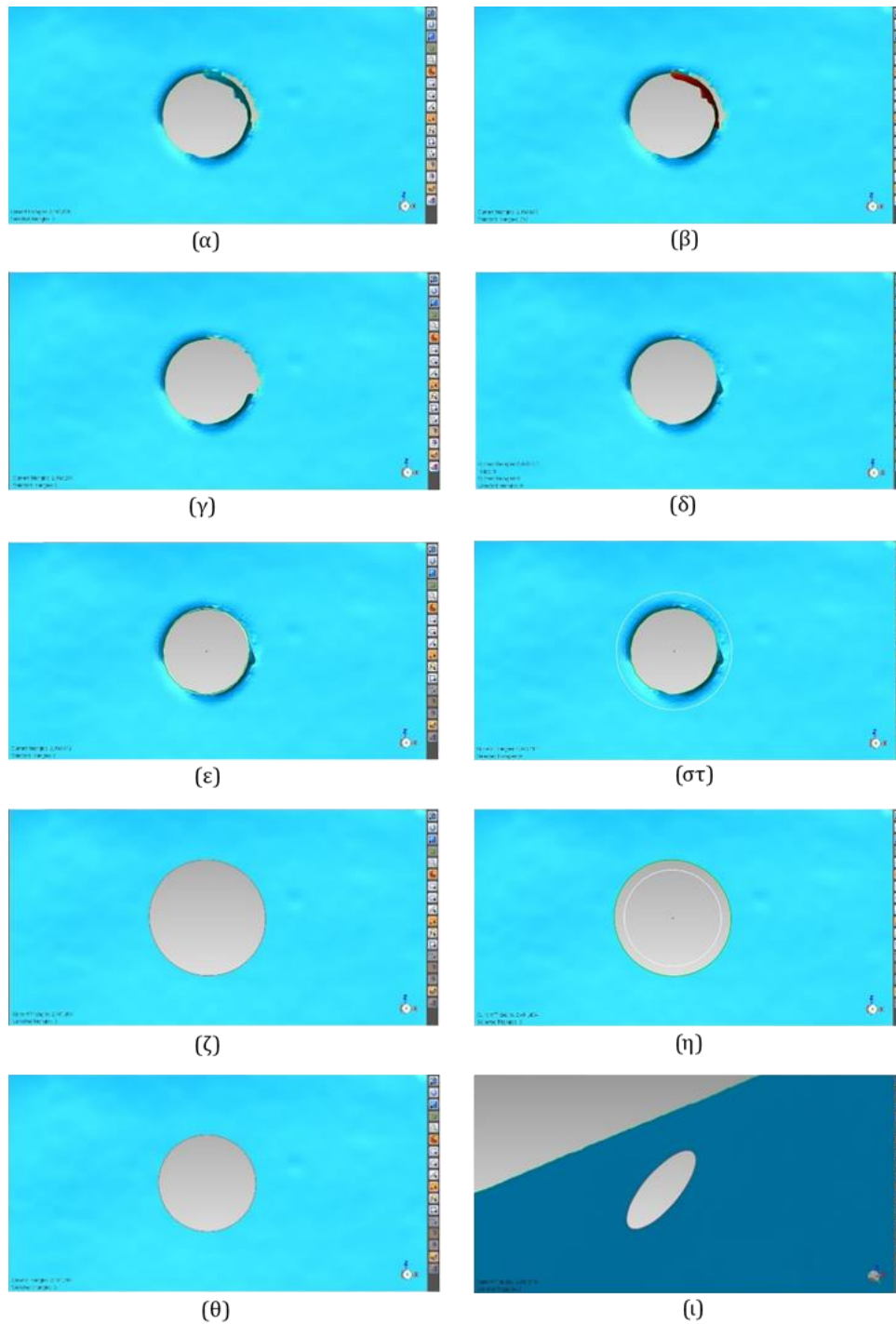
(β)

**Εικόνα 4.14 - (α) Εναπομείναντας θόρυβος σε τμήμα της πρυμναίας αριστερής πλευράς - (β) Παραμόρφωση της γεωμετρίας της επιφάνειας κατά την προσπάθεια αντιμετώπισης του θορύβου**

## vi) Φινιστρίνια

Τα φινιστρίνια αποτέλεσαν γεωμετρικό χαρακτηριστικό του πλοίου που απασχόλησε ιδιαίτερα κατά την διαδικασία επεξεργασίας του κοίλου στο Geomagic, καθώς εμφανίζονται σε όλο το μήκος αμφοτέρων των πλευρών του. Τα φινιστρίνια είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, ακολουθώντας την κλίση της επιφάνειας του κοίλου του πλοίου στο σημείο όπου είναι τοποθετημένο το καθένα. Με την εκτέλεση της εντολής *wrap* ποίκιλε ο τρόπος σχηματισμού τους σε πλέγμα τριγώνων είτε λόγω του εναπομείναντα θορύβου των μετρήσεων είτε λόγω ελλιπούς μετρητικής πληροφορίας που οφειλόταν κυρίως στο γεγονός ότι σε ορισμένες σαρώσεις τα φινιστρίνια βρίσκονταν πιθανότατα στην σκιά του οργάνου. Μιας και δεν ήταν δυνατό λοιπόν να επιτευχθεί πανομοιότυπα η σωστή γεωμετρία των φινιστρινιών, αυτά μετατρέπονταν σε πανομοιότυπες τρύπες σε συνάρτηση πάντα με την κλίση της επιφάνειας του κοίλου. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα ναυπηγικά σχέδια που είχαν διατεθεί για τις ανάγκες της μελέτης. Από αυτά λήφθηκαν πληροφορίες διαστάσεων για τα φινιστρίνια (εσωτερική και εξωτερική ακτίνα). Ακολούθως, στο Geomagic για κάθε ένα ακολουθούταν η ίδια διαδικασία.

1. Επιλογή και διαγραφή των τριγώνων έως και τα όριά του με κάποιο από τα **selection tools** και **delete**, αντίστοιχα (Εικόνες 4.15β-γ)
2. Ομοιόμορφο γέμισμα του ορίου με το εργαλείο **fill holes** (Εικόνα 4.15δ)
3. Επιλογή της εντολής **boundaries > modify > create/fit hole** του μενού εντολών «Polygons»
4. Έλεγχος επιτυχίας του 2<sup>ου</sup> βήματος με επιλογή στην καρτέλα «Dialog» της ενέργειας «Fit hole» και επιλογή με αριστερό κλικ εντός της δημιουργημένης τρύπας (Εικόνα 4.15ε)
5. Ορισμός της ακτίνας στο πεδίο «Radius» στο μέγιστο επιτρεπτό όριο προκειμένου τα όρια της νέας τρύπας να βρίσκονται στην ομαλή επιφάνεια του κοίλου γύρω από το φινιστρίνι και επιλογή «Execute» (Εικόνες 4.15στ-ζ)
6. Ορισμός της πραγματικής (εσωτερικής) ακτίνας του φινιστρινιού στο πεδίο «Radius» και επιλογή «Execute» (Εικόνες 4.15η-θ)
7. Έλεγχος επιπεδότητας ορίου του φινιστρινιού με περιστροφή του όλου πλέγματος (Εικόνα 4.15ι)
8. Επανάληψη της διαδικασίας αν αυτό κρινόταν απαραίτητο σε περίπτωση μη επιθυμητών αποτελεσμάτων



**Εικόνα 4.15 - Τα βήματα επεξεργασίας για τα φινιστρίνια του πλοίου**

vii) Ανεστραμμένες Επιφάνειες

Πρόκειται για ανεστραμμένα τρίγωνα που συνιστούν εξ ολοκλήρου αντικείμενα ή χαρακτηριστικές και υπολογίσιμου μεγέθους επιφάνειες αντικειμένων. Η περίπτωση αυτή αντιμετωπιζόταν με ξεχωριστή επεξεργασία της προβληματικής επιφάνειας. Αρχικά, αυτή επιλεγόταν και αποκοπτόταν από το αντίστοιχο .xyz αρχείο και πραγματοποιούταν η

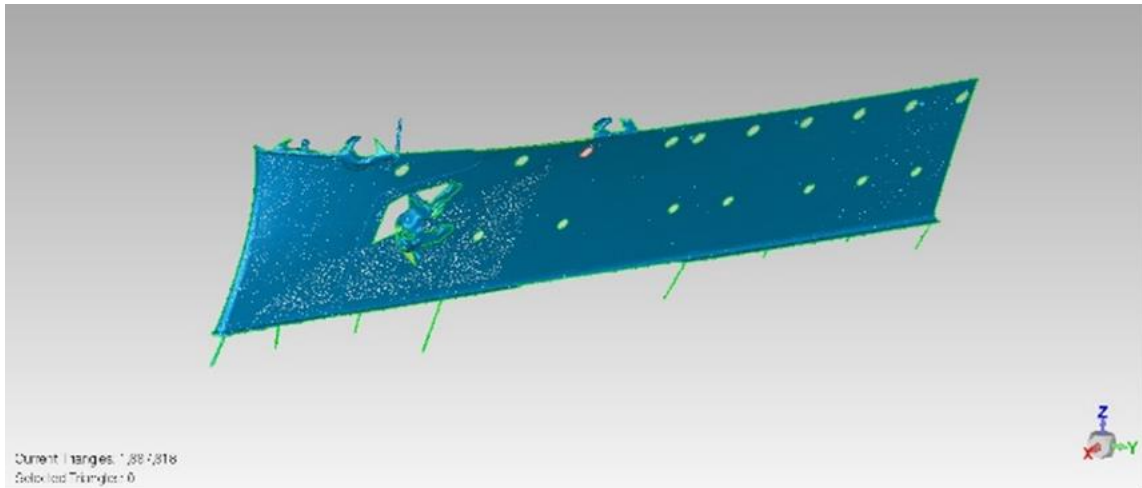
επεξεργασία της ως νέου αντικειμένου με την παραγωγή ξεχωριστού πλέγματος. Ακολούθως, εκτελούνταν η εντολή **combine > merge** (βλ. Βήμα 8<sup>ο</sup>) του μενού εντολών «Polygons» για την σύνδεσή της με το υπόλοιπο πλέγμα του αντίστοιχου τμήματος του πλοίου. Χαρακτηριστική περίπτωση του προβλήματος αποτέλεσαν οι πλευρικοί πύργοι πυροβόλων που σε κάποιες περιπτώσεις χρειάστηκε να υποστούν ξεχωριστή επεξεργασία από το τμήμα του κοίλου (Εικόνα 4.9).

### **Βήμα 8<sup>ο</sup>: Συνένωση Πλεγμάτων**

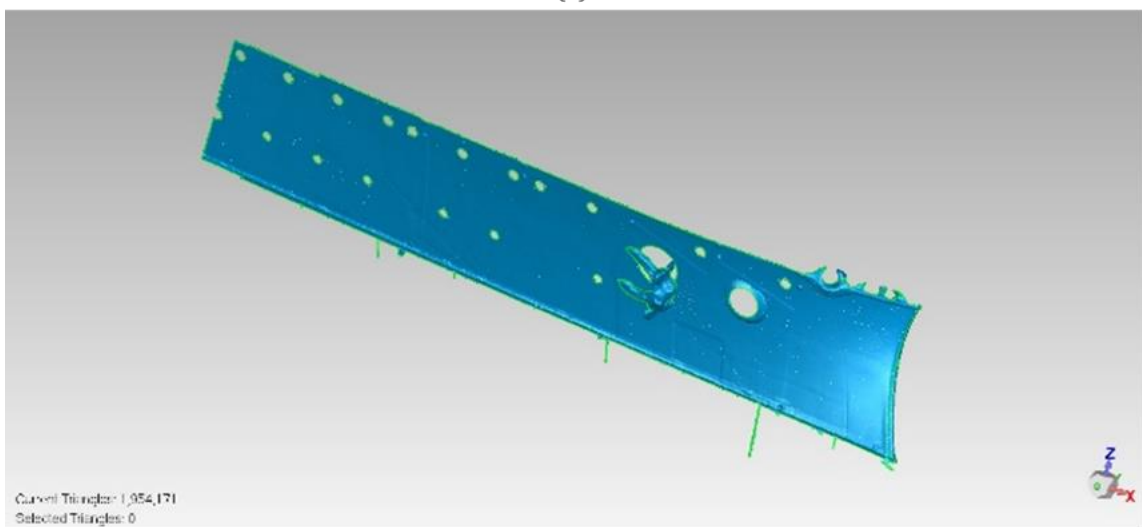
Μετά την εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας (βήματα 1-7) για καθένα από τα επτά αρχεία νεφών σημείων .xyz, προέκυψαν 14 πλέγματα της τάξης των 1-3 εκατομμυρίων τριγώνων που απεικόνιζαν την εξωτερική επιφάνεια του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ». Τα 14 πλέγματα εισήχθησαν (*import*) ως αντικείμενα σε ένα νέο Task, όπου σε κάθε πλέγμα με πλήθος τριγώνων άνω των 2 εκατομμυρίων εφαρμόστηκε η συνάρτηση μείωσης τριγώνων με την εντολή **repair > decimate** του μενού εντολών «Polygons». Το πλήθος των τριγώνων (*triangle count*) μειώθηκε κατά 20-35% κατά περίπτωση, ώστε για κάθε πλέγμα να είναι μικρότερο των 2 εκατομμυρίων, και επιλέγοντας την μέγιστη προτεραιότητα για την διατήρηση της γεωμετρίας του πλέγματος («Curvature Priority» και «Mesh Priority» ορισμένα στο max). Σκοπός της ενέργειας ήταν η επίτευξη κοινού όγκου γεωμετρικής πληροφορίας και ταχύτερης προσπελασιμότητας των προς συνένωση πλεγμάτων.

Για την συνένωση των πλεγμάτων εφαρμόστηκαν η εντολή **combine** του μενού εντολών «Polygons» και συγκεκριμένα οι συναρτήσεις **combine** και **merge**. Η συνάρτηση **combine** συνδυάζει σε ένα πολυγωνικό αντικείμενο (πλέγμα τριγώνων) δύο ή περισσότερα ενεργά πολυγωνικά αντικείμενα που εντοπίζονται στην λίστα του «Model Manager», διατηρώντας την γεωμετρική πληροφορία κάθε αντικειμένου. Η εντολή **merge** συνενώνει δύο ή περισσότερα επιλεγμένα πολυγωνικά αντικείμενα σε ένα νέο σύνθετο αντικείμενο εφαρμόζοντας αυτόματα διαδικασίες καθαρισμού θορύβου, προσανατολισμού και δειγματοληψίας (*noise reduction, global registration και uniform sampling*, αντίστοιχα). Αρχικά, επιλέχθηκαν και συνενώθηκαν με την συνάρτηση **merge** τα πλέγματα της δεξιάς και αριστερής πλευράς της πλώρης (Εικόνα 4.16). Ακολούθως, επιλέχθηκαν και συνενώθηκαν με την συνάρτηση **merge** τα πλέγματα της δεξιάς και αριστερής πλευράς της πρύμνης (Εικόνα 4.17).

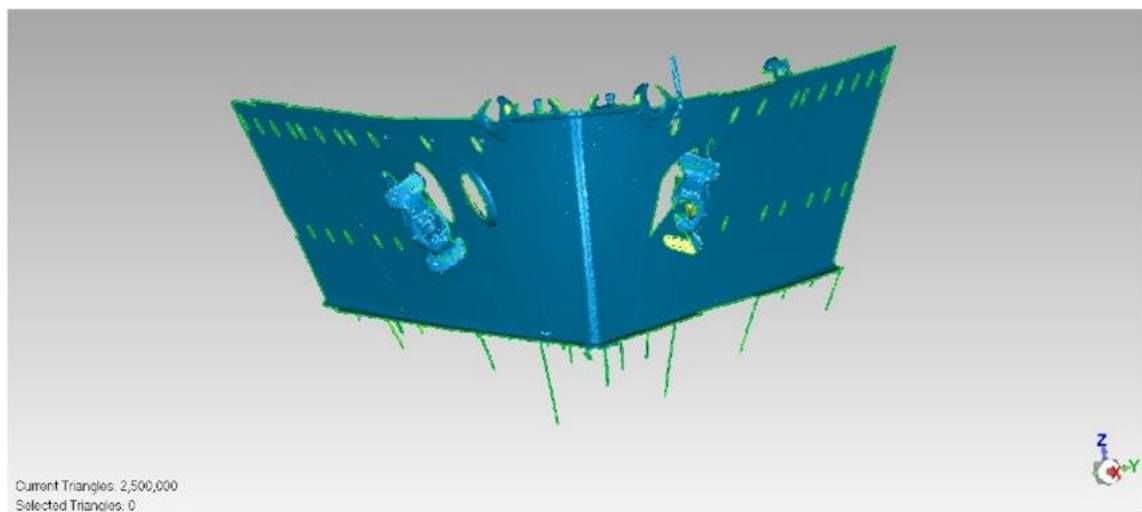




(α)

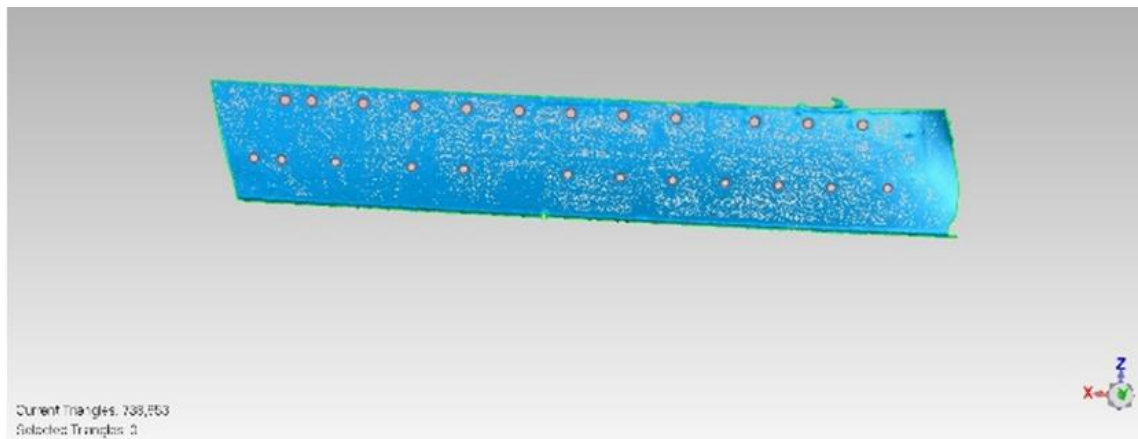


(β)

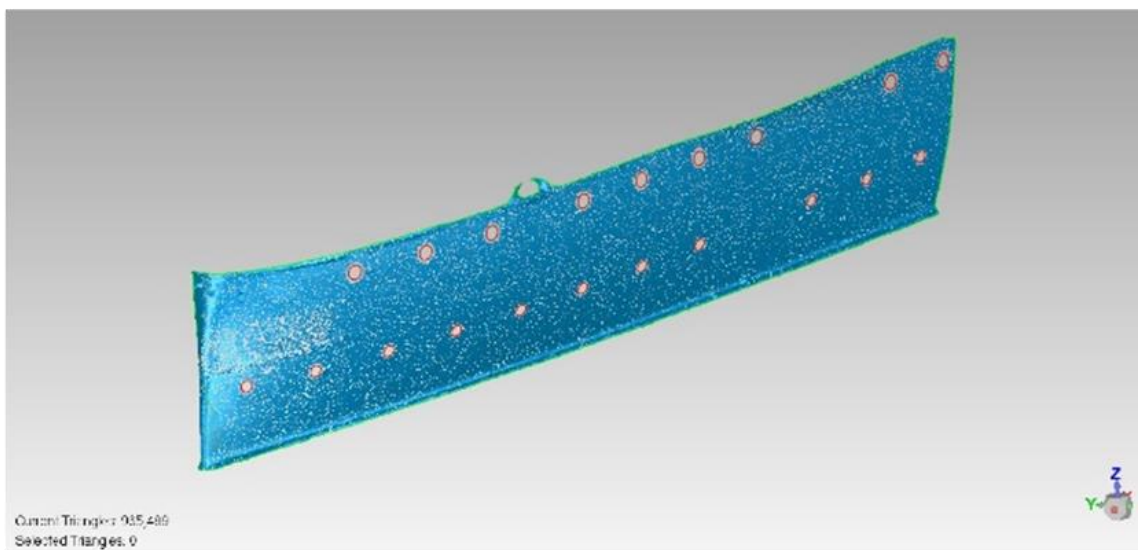


(γ)

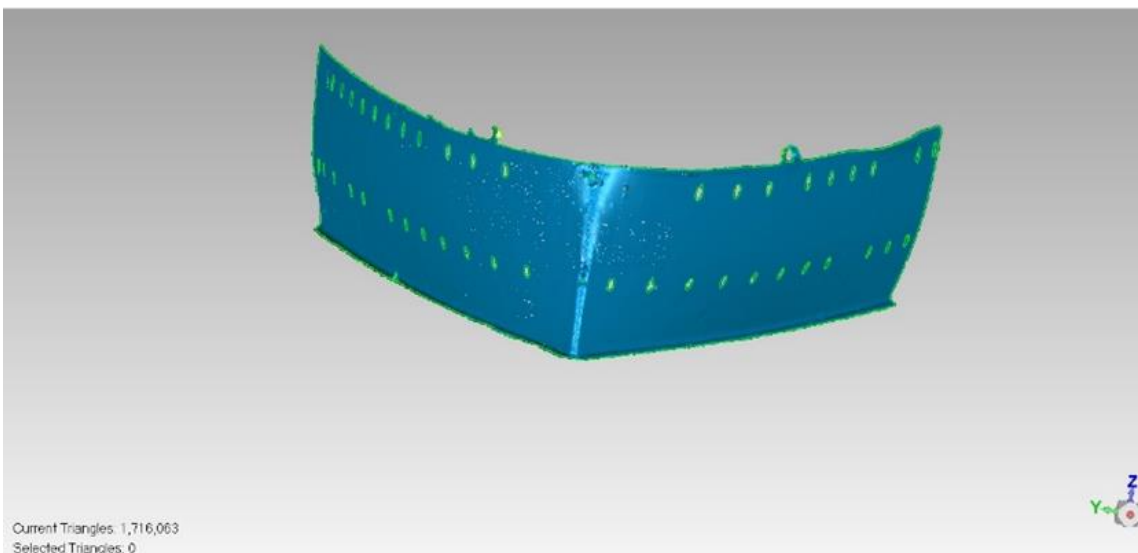
**Εικόνα 4.16 - (α) Το πλέγμα της αριστερής προωραίας πλευράς - (β) Το πλέγμα της δεξιάς προωραίας πλευράς - (γ) Το συνενωμένο πλέγμα του προωραίου τμήματος του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**



(α)



(β)



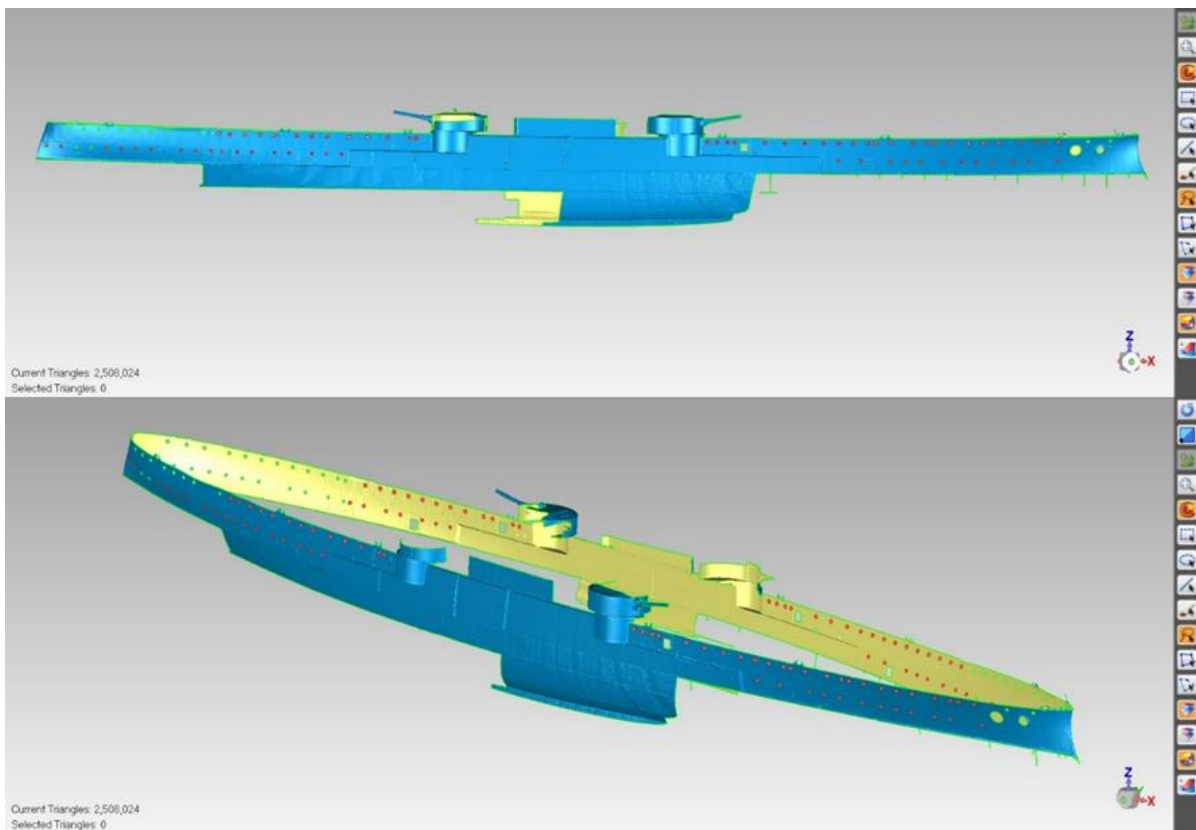
(γ)

**Εικόνα 4.17 - (α) Το πλέγμα της αριστερής πρυμναίας πλευράς - (β) Το πλέγμα της δεξιάς πρυμναίας πλευράς - (γ) Το συνενωμένο πλέγμα του πρυμναίου τμήματος του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**



Τα δύο νέα σύνθετα αντικείμενα (πλώρη και πρύμνη) συνδυάστηκαν σε ένα με την συνάρτηση combine. Έπειτα με την συνάρτηση merge συνενώθηκαν ακαριαία τα πέντε πλέγματα της αριστερής πλευράς του κοίλου. Με τον ίδιο τρόπο συνενώθηκαν και τα αντίστοιχα πέντε πλέγματα της δεξιάς πλευράς του κοίλου. Τα δύο νέα σύνθετα αντικείμενα συνδυάστηκαν σε ένα με την συνάρτηση combine. Τέλος, εφαρμόστηκε η συνάρτηση merge για την συνένωση των δύο συνδυασμών (πλώρη-πρύμνη και δεξιά πλευρά κοίλου – αριστερή πλευρά κοίλου).

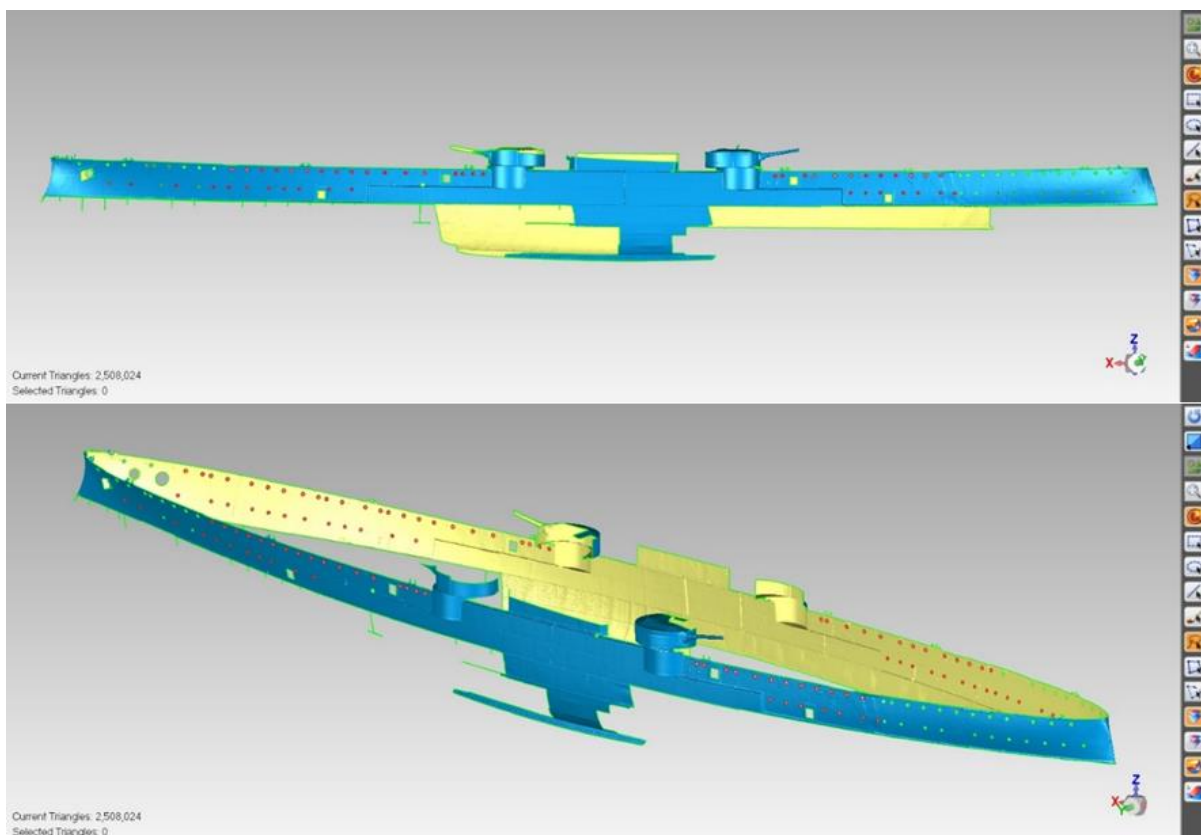
Η συνάρτηση combine εφαρμόστηκε σε ζεύγη πλεγμάτων (ή συνενώσεων πλεγμάτων) που δεν παρουσίαζαν μεταξύ τους επικάλυψη με την επιλογή «Stitch». Η συνάρτηση merge εφαρμόστηκε σε ζεύγη πλεγμάτων (ή συνενώσεων πλεγμάτων) που παρουσίαζαν μεταξύ τους επικάλυψη χωρίς την επιλογή καθαρισμού θορύβου («Local Noise Reduction» και «Global Noise Reduction»: None), με την επιλογή εκτέλεσης προσανατολισμού και με την μέγιστη βαρύτητα στην ποιότητα του αποτελέσματος έναντι της εκτέλεσης της συνάρτησης στην σχετική μπάρα «Performance – Quality». Η επισήμανση αυτή είναι σημαντική λαμβάνοντας υπόψιν ότι κάθε πλέγμα προέκυψε από ξεχωριστή διαδικασία εφαρμογής συναρτήσεων επί συνενωμένων νεφών σημείων διαφορετικών πηγών.



**Εικόνα 4.18 - Το συνολικό (διορθωμένο) πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - Πλάγια (δεξιά) όψη και πανοραμική άποψη από την δεξιά προωρία πλευρά**

**Βήμα 9<sup>ο</sup>: Διόρθωση Συνολικού Πλέγματος**

Από την συνένωση των επί μέρους πλεγμάτων προέκυψε ένα νέο για την συνολική επιφάνεια του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» (Εικόνες 4.18 και 4.19). Ουσιαστικά, το συνολικό πλέγμα παράχθηκε μέσα από αυτόματες διεργασίες της εφαρμοσθείσας συνάρτησης, συνεπώς, παρουσίασε προβλήματα αντίστοιχα με εκείνα των επί μέρους πλεγμάτων που είχαν δημιουργηθεί σε προηγούμενο στάδιο της επεξεργασίας (βλ. Βήμα 7<sup>ο</sup>: Διορθώσεις Πλεγμάτων) και η αντιμετώπισή τους ήταν όμοια. Επί προσθέτως εφαρμόστηκε η εντολή **boundaries > modify > relax boundary** του μενού εντολών «Polygons» για την ομαλοποίηση των ορίων του πλέγματος, περισσότερο για αισθητικούς λόγους.



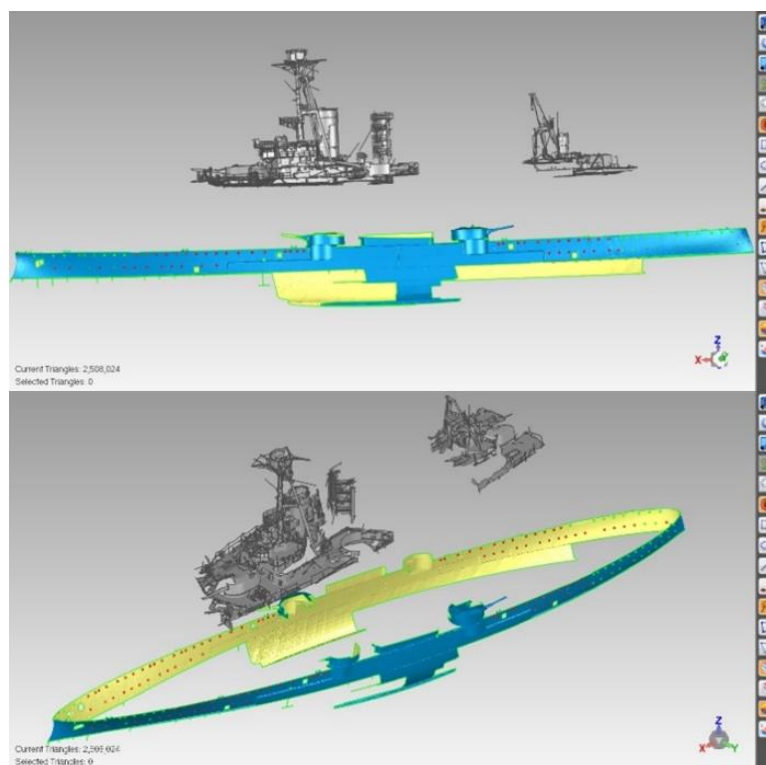
**Εικόνα 4.19 - Το συνολικό (διορθωμένο) πλέγμα του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - Πλάγια (αριστερή) όψη και πανοραμική άποψη από την αριστερή πρυμναία πλευρά**

**Βήμα 10<sup>ο</sup>: Συνδυασμός του Συνολικού Πλέγματος με τα Δεδομένα Σαρώσεων Καταστρώματος-Υπερκατασκευής**

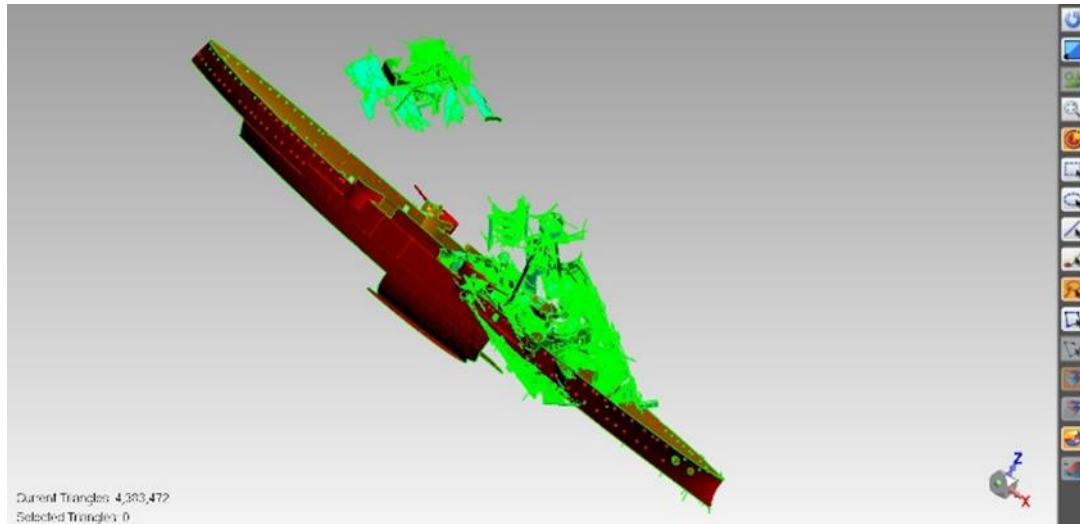
Το αρχείο του νέφους σημείων με την απεικόνιση καταστρώματος και υπερκατασκευής του πλοίου που προέκυψε από τις μετρήσεις με τον σαρωτή P 30/40 της Leica, αρχικά αποθηκεύτηκε μέσω του Cyclone σε μορφή .xyz ώστε να είναι συμβατό με το Geomagic. Κατά την εισαγωγή του

(*import*) στο περιβάλλον του λογισμικού επιλέχθηκε η τιμή του Ratio στο 5% ενώ δεν επιλέχθηκε η πλήρης διατήρηση των δεδομένων για την απεικόνισή του, καθώς ο όγκος του αρχείου (της τάξης των 37 εκατομμυρίων σημείων) δεν επέτρεπε την εισαγωγή του στο Geomagic με διαφορετικές παραμέτρους. Με την εμφάνιση της απεικόνισης επιλέχθηκε πρώτα η μείωση των δεδομένων του αρχείου ώστε να είναι ευκολότερα διαχειρίσιμο. Αυτή πραγματοποιήθηκε εκτελώντας τα βήματα 4iii) έως 5 όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Το νέφος μειώθηκε επιτυχώς στα 8 εκατομμύρια σημεία οπότε εκτελέστηκε η εντολή *wrap* για την μετατροπή του νέφους σημείων σε πλέγμα τριγώνων. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε μείωση των τριγώνων του πλέγματος κατά 25% με την συνάρτηση *decimate*, ώστε το πλήθος τους να μην ξεπερνάει τα 2 εκατομμύρια. Δεν πραγματοποιήθηκαν διορθώσεις επί του πλέγματος καθώς ο σκοπός της χρήσης του ήταν η οπτική συμπλήρωση της απεικόνισης του κοίλου με την απεικόνιση του καταστρώματος και της υπερκατασκευής του πλοίου.

Τα δύο πλέγματα εισάχθηκαν σε νέο Task και, όπως ήταν αναμενόμενο, σύμφωνα με την αδυναμία συνένωσής τους ως νεφών στο Cyclone, δεν εμφανίστηκαν ευθυγραμμισμένα (Εικόνα 4.20). Ακολούθως, εκτελέστηκε η εντολή ***alignment > scan registration > manual registration*** για την συνένωση των πλεγμάτων με χρήση/στόχευση ομόλογων σημείων, αλλά δεν υπήρξε επιτυχές αποτέλεσμα (Εικόνα 4.21).



**Εικόνα 4.20 - Το συνολικό πλέγμα του κοίλου και το πλέγμα καταστρώματος-υπερκατασκευής κατά την ταυτόχρονη εισαγωγή τους στο περιβάλλον του Geomagic (πλάγια και πανοραμική άποψη)**



**Εικόνα 4.21 - Ανεπιτυχής προσπάθεια ευθυγράμμισης του συνολικού πλέγματος του κοίλου με το πλέγμα καταστρώματος-υπερκατασκευής με την εκτέλεση της συνάρτησης manual registration**

### **Βήμα 11<sup>ο</sup>: Σύγκριση του Τελικού Πλέγματος του Κοίλου με το Αντίστοιχο Νέφος Σημείων**

Για την εκτίμηση της ακρίβειας του τελικού πλέγματος, εφόσον δεν ήταν δυνατόν να παραχθούν αποτελέσματα προς σύγκριση από τις συμπληρωματικές μεθόδους (τοπογραφική μέθοδος και θερμογραφική αποτύπωση), επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί η σύγκρισή του με το αντίστοιχο νέφος σημείων.

Το νέφος σημείων που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το στάδιο ήταν η συνένωση των 14 τμημάτων του συνολικού νέφους (αποτέλεσμα επεξεργασίας δεδομένων σαρώσεων στο περιβάλλον του Cyclone, όπως αυτά είχαν διαμορφωθεί μετά την διαδικασία καθαρισμού και μείωσης των σημείων τους στο Geomagic (βλ. Βήμα 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup>). Τα 14 αυτά τμήματα εισάχθηκαν σε νέο Task στο περιβάλλον του Geomagic και συνενώθηκαν σε ένα ενιαίο νέφος με την χρήση της εντολής **combine > combine point objects** του μενού εντολών «Points». Το ενιαίο νέφος απεικόνισης του κοίλου αποτελούταν από 33,297,266 σημεία, συνεπώς, για την καλύτερη διαχείρισή του πραγματοποιήθηκε μείωση των σημείων του με την εκτέλεση των βημάτων 4iii έως 5 που περιγράφονται παραπάνω. Με το πέρας της διαδικασίας, το ενιαίο νέφος σημείων αποτελούταν από 16,283,154 σημεία.

Ακολούθως, στο ίδιο Task εισάχθηκε (*import*) το τελικό πλέγμα του κοίλου του πλοίου για την σύγκριση των δύο αντικειμένων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εντολή **compare > deviation** του μενού εντολών «Analysis», ώστε να εξεταστεί η παρέκκλιση του νέφους από το πλέγμα. Για την εκτέλεση (*apply*) της συνάρτησης, οι ρυθμίσεις στην καρτέλα «Dialog» διατηρήθηκαν όπως είχαν οριστεί από το λογισμικό και τα αποτελέσματα παρατίθεται αμέσως

παρακάτω όπως προέκυψαν, αλλά και τροποποιημένα για την καλύτερη απόδοση και εκτίμηση του οπτικού αποτελέσματος.

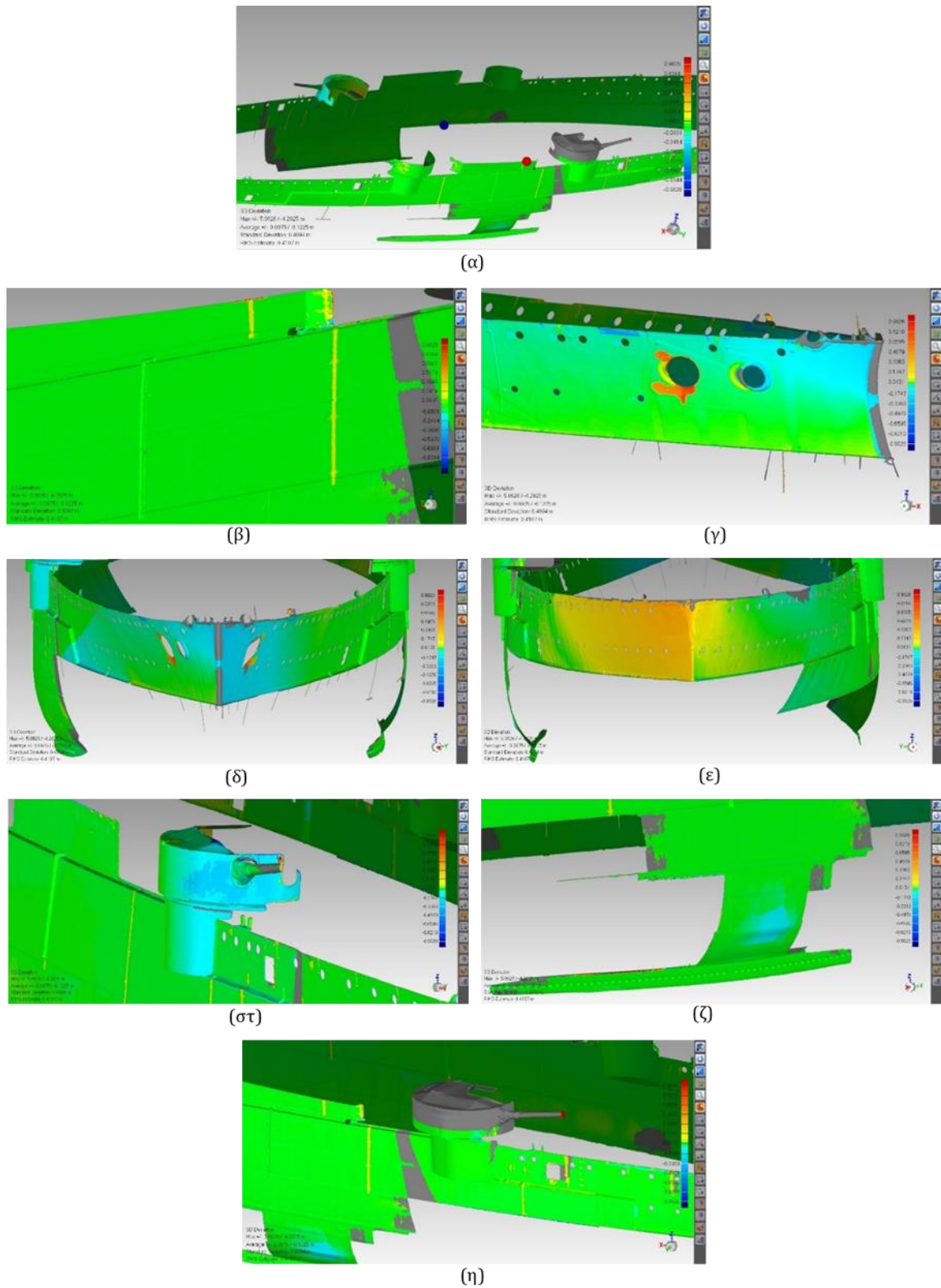
**Πίνακας 4.2 - Τα αριθμητικά αποτελέσματα της συνάρτησης deviation για την διερεύνηση της σύμπτωσης του τελικού (διορθωμένου) πλέγματος του κοίλου με το αντίστοιχο νέφος σημείων**

Υπόμνημα Φάσματος (Spectrum)			Στατιστικά (Statistics)	
Χρωματικές Κλάσεις	15		Μέγιστη Απόσταση	
Μέγιστη Κρίσιμη Τιμή (max critical)	Όπως προέκυψαν	Τροποποιημένες τιμές για καλύτερη οπτικοποίηση	Θετική	5.063 m
	5.063 m	0.983 m	Αρνητική	-4.282 m
Μέγιστη Ονομαστική Τιμή (max nominal)	0.253 m	0.013 m	Μέση Απόσταση: -0.032 m	
Ελάχιστη Ονομαστική Τιμή (min critical)	-0.253 m	-0.013 m	Θετική	0.098 m
			Αρνητική	-0.122 m
Ελάχιστη Κρίσιμη Τιμή (min critical)	-5.063 m	-0.983 m	Τυπική Απόκλιση	0.409 m
Δεκαδικά Ψηφία	3		Εκτίμηση Μ.Τ.Σ. (RMS Estimate)	0.411 m

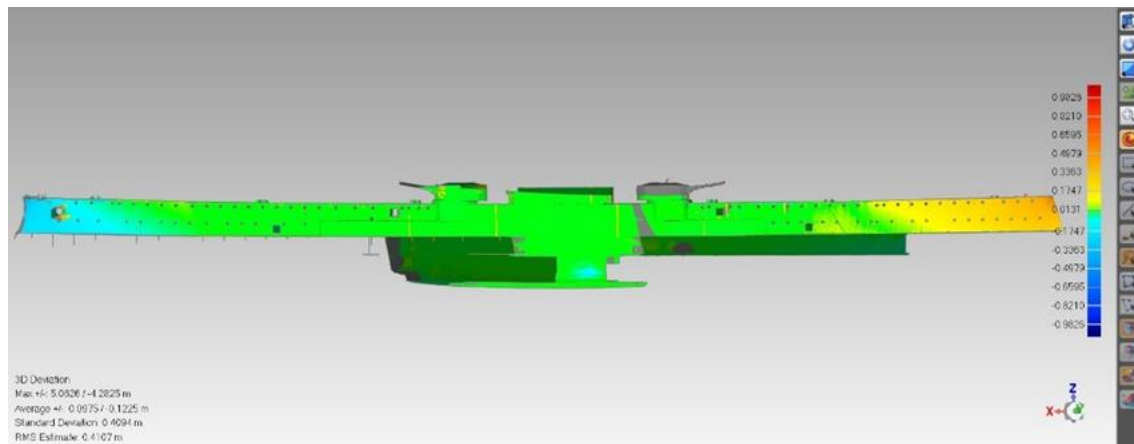
Σύμφωνα με το οπτικό αποτέλεσμα, οι μεγαλύτερη τιμή απόκλισης νέφους-πλέγματος, τόσο θετική όσο και αρνητική, παρατηρείται σε ακραία τμήματά τους (Εικόνα 4.22α). Επίσης, μεγάλες αποκλίσεις παρατηρούνται σε σημεία του πλέγματος όπου απουσιάζουν οντότητες που παραλείφθηκαν ή αγνοήθηκαν κατά την διαδικασία μοντελοποίησης (π.χ. σωλήνες, άγκυρα) (Εικόνες 4.22β-γ). Στην πλώρη και την πρύμνη, και κυρίως στην αριστερή πλευρά τους, παρατηρούνται ευρύτερες περιοχές αποκλίσεων: στη μεν πλώρη αρνητικών τιμών έως την τάξη των -18cm, στην δε πρύμνη θετικών τιμών έως την τάξη των +50cm στα ακραία σημεία της (Εικόνες 4.22δ-ε). Ακόμα, παρατηρείται απόκλιση νέφους-πλέγματος στο εμπροσθεν τμήμα του δεξιού πρωραίου πύργου πυροβόλων (Εικόνα 4.22στ). Μικρή απόκλιση εντοπίζεται στο χαμηλότερο τμήμα του κοίλου, στην αριστερή πλευρά (Εικόνα 4.22ζ), όπου κατά την διόρθωση του τελικού πλέγματος η γεωμετρική πληροφορία συμπληρώθηκε με χρήση των εργαλείων του λογισμικού. Η απόκλιση αυτή αναδεικνύει την λαθεμένη συμπλήρωση της γεωμετρικής πληροφορίας. Το λοιπό πλέγμα (Εικόνα 4.23) φαίνεται πως προσεγγίζει το νέφος σημείων με ακρίβεια  $\pm 1\text{cm}$ , ενώ οι περιοχές γκρίζου χρώματος που απεικονίζονται αφορούν την γεωμετρική



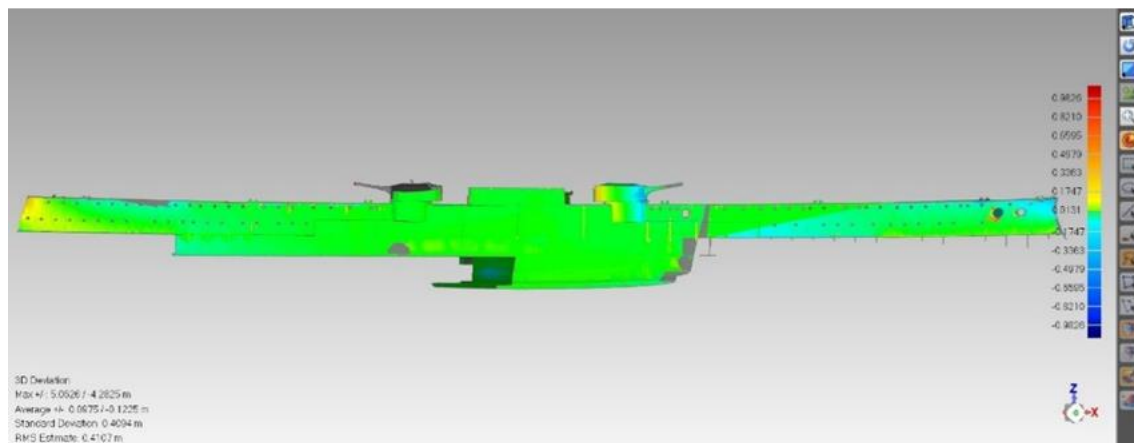
πληροφορία του πλέγματος που εξαιρέθηκε της σύγκρισης λόγω της απουσίας αντίστοιχης πληροφορίας στο νέφος σημείων (Εικόνα 4.22η).



Εικόνα 4.22 - Αποσπάσματα από την οπτικοποίηση του αποτελέσματος της συνάρτησης deviation για την σύγκριση πλέγματος τριγώνων και νέφους σημείων της απεικόνισης του κοίλου



(α)



(β)

**Εικόνα 4.23 - Η συνολική οπτικοποίηση του αποτελέσματος της συνάρτησης deviation για την σύγκριση του πλέγματος τριγώνων με το νέφος σημείων απεικόνισης του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α) Πλάγια (αριστερή) όψη - (β) Πλάγια (δεξιά) όψη**

Επιπλέον, για την εκτίμηση της απόκλισης του τελικού πλέγματος από τα γεωδαιτικά δεδομένα μετρήθηκαν οι αποστάσεις χαρακτηριστικών σημείων του κοίλου επί του τελικού πλέγματος και επί του αντίστοιχου νέφους, κατά αντιστοιχία. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με χρήση της εντολής εντολή *measure > distance* του μενού εντολών «Analysis» στο Task όπου ήταν εισαγμένα τα δύο αντικείμενα (νέφος σημείων κοίλου και πλέγμα τριγώνων κοίλου). Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ:

- των δύο πρώτων άνω φινιστρινιών της πλώρης (1)
- των δύο πρώτων άνω φινιστρινιών της πρύμνης (2)
- των δύο φινιστρινιών αμέσως πριν τον πλευρικό προωραίο πύργο πυροβόλων (3)
- των δύο φινιστρινιών αμέσως μετά τον πλευρικό πρυμναίο πύργο πυροβόλων (4)
- του προωραίου και πρυμναίου πλευρικού πύργου πυροβόλων (5)

τόσο στην δεξιά όσο και στην αριστερή πλευρά του κοίλου, και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 4.3.

**Πίνακας 4.3 - Συγκριτικές μετρήσεις χαρακτηριστικών αποστάσεων μεταξύ του πλέγματος τριγώνων του κοίλου και του αντίστοιχου νέφους σημείων**

	Μετρηθείσα Απόσταση [m]				Διαφορά Μετρήσεων [m]	
	Νέφος Σημείων		Πλέγμα Τριγώνων		[(Πλέγμα)-(Νέφος)]	
	Αριστερή πλευρά	Δεξιά πλευρά	Αριστερή πλευρά	Δεξιά πλευρά	Αριστερή πλευρά	Δεξιά πλευρά
(1)	3.543	2.614	3.327	2.532	-0.216	-0.082
(2)	1.677	1.644	1.683	1.655	0.006	0.011
(3)	0.866	0.858	0.833	0.836	-0.033	-0.022
(4)	0.810	0.792	0.895	0.786	0.085	-0.006
(5)	24.049	23.822	23.943	23.960	-0.106	0.138
				M.T.	-0.053	0.008
				Τυπική Απόκλιση	0.108	0.083

Όπως διακρίνεται από τον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα για το τμήμα του πλέγματος της δεξιάς πλευράς του κοίλου του πλοίου, το οποίο, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες μετρήσεις, προσεγγίζει το αντίστοιχο τμήμα του νέφους με τυπική απόκλιση  $\pm 8.3\text{cm}$ , έναντι του τμήματος της αριστερής πλευράς για το οποίο οι μετρήσεις έδωσαν τυπική απόκλιση  $\pm 10.8\text{cm}$ .

Οι δύο μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την σύγκριση του παραγμένου πλέγματος του κοίλου με το αντίστοιχο νέφος σημείων όπως είχε προκύψει από τις συνενώσεις των συλλεγμένων δεδομένων των σαρώσεων, με σκοπό την εκτίμηση της ακρίβειας του πρώτου, έδωσαν αντίστοιχα ποιοτικά αποτελέσματα. Σύμφωνα με αυτά, η απόδοση της δεξιάς πλευράς του κοίλου μέσω του πλέγματος τριγώνων παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια, έναντι της απόδοσης της αριστερής πλευράς. Το συμπέρασμα αυτό αποδεικνύει την καλύτερη ποιότητα των γεωδαιτικών δεδομένων που συλλέχθηκαν για την δεξιά πλευρά, δεδομένου ότι οι εργασίες συλλογής τους πραγματοποιήθηκαν σε κοινές συνθήκες (στα Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, όπου το πλοίο ήταν εκτός νερού και συνεπώς σταθερό) και από δύο διαφορετικούς σαρωτές laser (ScanStation 2 και Focus<sup>M</sup> 70).



### 4.2.3 Αποτελέσματα Διαδικασίας

Το διορθωμένο συνολικό πλέγμα πλήθους 2,508,024 τριγώνων, όπως παράχθηκε από την επεξεργασία των νεφών σημείων των σαρώσεων στο περιβάλλον του Cyclone και του Geomagic, αποτελεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο επιφάνειας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Στο μεγαλύτερο τμήμα του πλοίου, η επιφάνεια του πλέγματος προσεγγίζει το αντίστοιχο νέφος σημείων, με ακρίβεια  $\pm 1\text{cm}$ . Εξαιρέση αποτελούν η αριστερή πλευρά της πλώρης και της πρύμνης του πλοίου, επιφάνειες για τις οποίες τα δεδομένα σάρωσης προέκυψαν από έναν μόνο σαρωτή, τον ScanStation2, ενώ ταυτόχρονα λόγω της γεωμετρίας τους και της θέσης του οργάνου κατά την σάρωσή τους παρουσίαζαν μεγάλη γωνία σάρωσης. Η γωνία σάρωσης (*incidence angle*) αποτελεί έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες ακριβείας των δεδομένων των σαρώσεων. Σύμφωνα με τον Kern (2001), η γωνία της ακτινοβολίας του σαρωτή laser καθορίζει την ανάλυση της σάρωσης. Επίσης, «η πυκνότητα των σημείων (του νέφους που προκύπτει από την κάθε σάρωση) είναι άμεσα σχετιζόμενη με την γωνία σάρωσης» (Lindenbergh, et al., 2005).

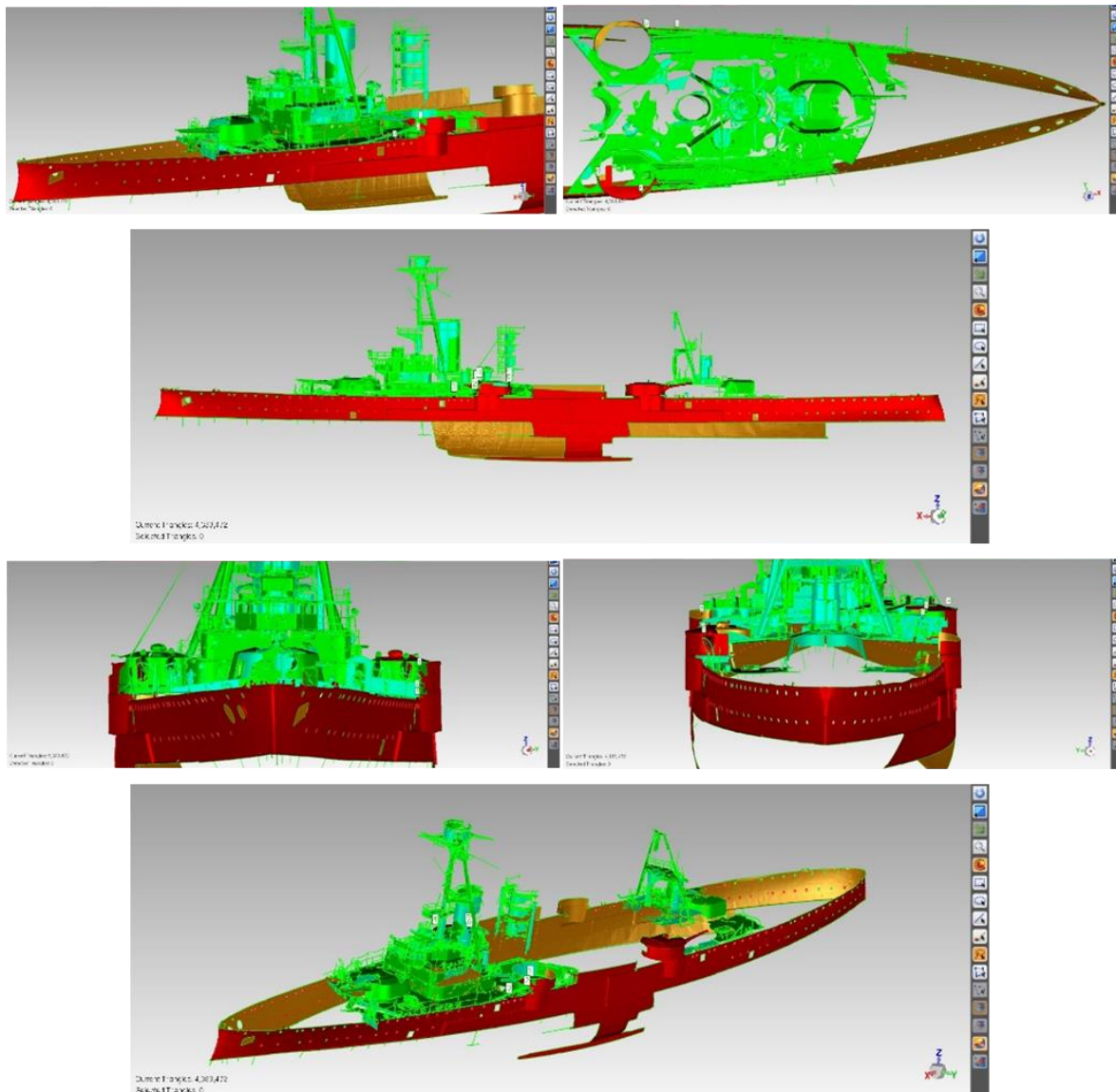
Το μοντέλο που παράχθηκε δεν περιλαμβάνει στοιχεία παραμετρικού σχεδιασμού, συνεπώς, δεν αποτελεί αρχιτεκτονικό μοντέλο αντίστοιχο των BIMs. Παρέχει ωστόσο την δυνατότητα εξαγωγής τρισδιάστατης μετρητικής πληροφορίας και τρισδιάστατης οπτικής περιήγησης.

Εστιάζοντας και συγκρίνοντας διαφορετικά σημεία του μοντέλου μπορεί κανείς να διακρίνει την διαφορά την ποιότητα ανά περιοχές του. Δεδομένου του όγκου του πλοίου, την διεξαγωγή των μετρήσεων σε διαφορετικές ώρες, μέρες και συνθήκες, την αξιοποίηση δεδομένων σαρώσεων διαφορετικών πηγών/οργάνων (από δύο επίγειους σαρωτές laser διαφορετικών προδιαγραφών) ή διαφορετικών μετρητικών περιόδων αποτύπωσης κοινών περιοχών του πλοίου και τους περιοριστικούς παράγοντες από τα χρησιμοποιηθέντα λογισμικά επεξεργασίας και την εμπειρία των χρηστών, τέτοιες διαφορές ποιότητας θεωρούνται αναμενόμενες.

Επιπλέον, το παραχθέν μοντέλο δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρες γεωμετρικά, καθώς κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των νεφών σημείων και, στην συνέχεια, των επί μέρους πλεγμάτων από τα οποία παράχθηκε, ήταν απαραίτητο να πραγματοποιηθούν ορισμένες συμβάσεις για την καλύτερη διαχείριση και απόδοση της δεδομένης πληροφορίας. Έτσι, πολλά δευτερεύοντα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του πλοίου κρίθηκε απαραίτητο να αγνοηθούν στο πλαίσιο της ορθής διατήρησης της λοιπής γεωμετρίας. Για παράδειγμα, σχεδόν όλα τα κολωνάκια επί της κουπαστής του πλοίου εκτεινόμενα μέχρι τα πρώτα μέτρα του ύψους του κοίλου, οι σκάλες και τα κουφώματα των θυρών επί του κοίλου, καθώς και άλλα μικρότερα χαρακτηριστικά, παραλείφθηκαν, καθώς μάλιστα δεν υπήρχε η απαραίτητη πληροφορία για την μοντελοποίησή τους. Αντίθετα, διατηρήθηκαν βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κοίλου του πλοίου αλλά και οι θέσεις των περισσότερων παρελιημένων χαρακτηριστικών επί αυτού.

Το κυριότερο πρόβλημα ωστόσο είναι η απουσία πληροφορίας για το τμήμα εκείνο του κοίλου του πλοίου χρώματος μαύρου το οποίο στάθηκε αδύνατον να σαρωθεί με τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Σε ορισμένα σημεία υπήρξε εφικτή η εικονική συμπλήρωση της γεωμετρικής πληροφορίας του κατά την παραγωγή του πλέγματος, όμως αυτή η ενέργεια εξυπηρετεί σχεδόν αποκλειστικά σκοπούς αισθητικής χωρίς να χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια, όπως κατέδειξε και η σύγκριση πλέγματος-νέφους (βλ. Ενότητα 4.2.2.2, Βήμα 11°).

Για σκοπούς αισθητικής επίσης, διατηρήθηκαν εικόνες από το περιβάλλον του Geomagic κατά την προσπάθεια συνένωσης του πλέγματος του κοίλου με εκείνο του καταστρώματος, οπότε στο παράθυρο προεπισκόπησης της σχετικής συνάρτησης κατά την στόχευση των ομόλογων σημείων, τα δυο πλέγματα εμφανίζονταν ευθυγραμμισμένα (Εικόνα 4.24).



**Εικόνα 4.24 - Εικονική ευθυγράμμιση του πλέγματος τριγώνων του κοίλου με το πλέγμα τριγώνων καταστρώματος-υπερκατασκευής του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»**

Όπως είναι εμφανές, από το πλέγμα του καταστρώματος απουσιάζει σημαντική πληροφορία. Επιτυγχάνεται ωστόσο κατά ένα ποσοστό συμπλήρωση της γεωμετρικής πληροφορίας και οπτική πληρότητα προς την καλύτερη αντίληψη του μοντέλου επιφανείας του κοίλου.

Η διαδικασία παραγωγής του μοντέλου επιφανείας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» με πλέγμα τριγώνων (*mesh*) μέσα από την επεξεργασία νεφών σημείων στο περιβάλλον του Cyclone και του Geomagic αποδείχτηκε μια χρονοβόρα διαδικασία. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν το δυσανάλογο του χρόνου μετρήσεων με τον χρόνο επεξεργασίας των συλλεγόμενων δεδομένων. Έτσι, ενώ η μέθοδος σάρωσης με επίγειο σαρωτή laser θεωρείται η ταχύτερη κατά την εφαρμογή της στο πεδίο σε σχέση με τον όγκο της πληροφορίας που συλλέγεται, όπως αναφέρουν ο Ruther (2007) και ο Lemmens (2007a) «όσον αφορά την καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς (με χρήση σαρωτών laser) ένας λόγος 1:10 του χρόνου μετρήσεων προς τον χρόνο επεξεργασίας είναι περισσότερο ρεαλιστικός, και σημαίνει ότι το χρονικό παράθυρο μιας ημέρας εργασιών πεδίου απαιτεί σχεδόν δέκα ημέρες επεξεργασίας των συλλεγμένων δεδομένων στο γραφείο». Ενώ ταυτόχρονα, τα διαθέσιμα λογισμικά επεξεργασίας νεφών ενέχουν επίσης περιοριστικούς παράγοντες στον όγκο δεδομένων που είναι δυνατόν να διαχειριστούν ταυτόχρονα.

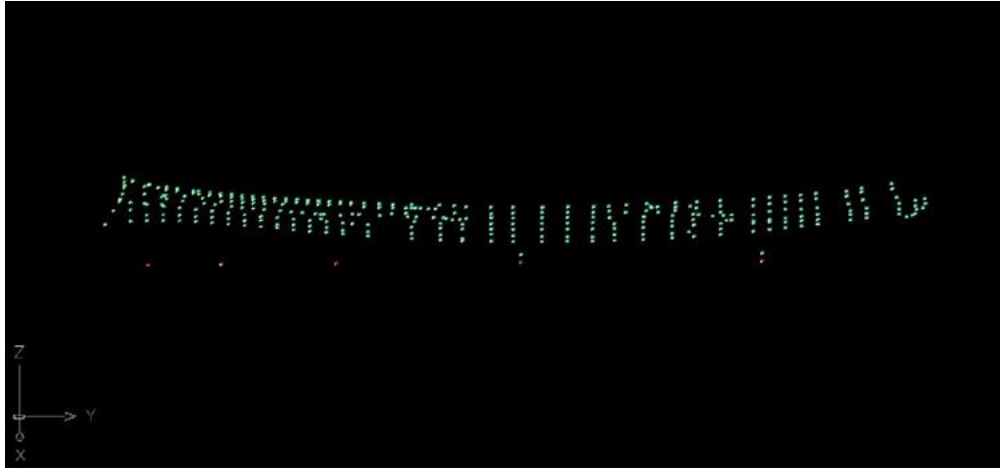
Ταυτόχρονα, η καταγραφή μεγάλων πλοίων ως αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς, σε αντίθεση με εκείνη των αρχιτεκτονικών μνημείων, υπολείπεται κατευθυντήριων γραμμών όπως αναφέρει και ο Colson (2017), σύμφωνα με τον οποίο μόνο τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται ενέργειες προς την σύνθεση ενός τέτοιου πλαισίου. Έτσι, το παραχθέν μοντέλο επιφανείας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» είναι αποτέλεσμα λήψης αποφάσεων που συντέθηκαν από τον συνδυασμό πληροφοριών ποικίλης βιβλιογραφίας με μελέτες περιπτώσεων διαφορετικών πρωτοβουλιών και αποτελεσμάτων. Ενώ η αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων, έρχονται ως συμπλήρωμα αυτής της βιβλιογραφίας με πολλά περιθώρια βελτιώσεων.

## 4.3 Επεξεργασία Λοιπών Δεδομένων

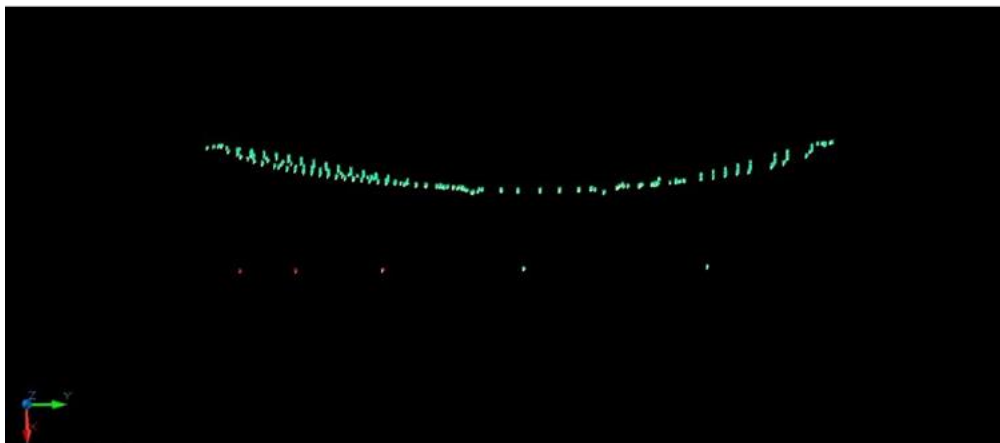
### 4.3.1 Επεξεργασία Τοπογραφικών Μετρήσεων

Τα ταχυμετρικά δεδομένα που λήφθηκαν με την χρήση της τοπογραφικής μεθόδου (βλ. Ενότητα 3.3.2.2) μεταφέρθηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την μορφοποίησή τους. Αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού τοπογραφικών εφαρμογών Εξάρτηση (XRTC). Συγκεκριμένα, το XRTC χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων και των ταχυμετρικών σημείων στο αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων που ορίστηκε στο πεδίο με αφετηρία την στάση  $\Sigma_2$  (100, 100, 100). Για τους

υπολογισμούς αξιοποιήθηκαν οι μετρηθείσες οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και αποστάσεις. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών απεικονίζονται στην (Εικόνα 4.25) σε περιβάλλον AutoCAD. Σε αυτά διακρίνεται η αδυναμία της εκτέλεσης της μεθόδου για αποτύπωση του μαύρου χρώματος τμήματος του κοίλου του πλοίου.



(α)



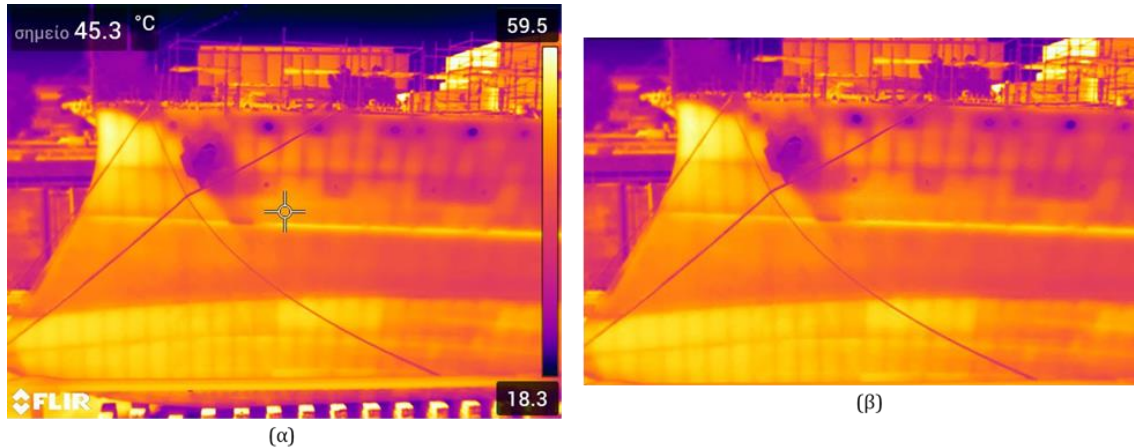
(β)

**Εικόνα 4.25 - Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των τοπογραφικών μετρήσεων με γεωδαιτικό σταθμό - Διάγραμμα των ταχυμετρικών σημείων αποτύπωσης της αριστερής πλευράς του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» - (α) Πλάγια όψη - (β) Κάτοψη**

### 4.3.2 Επεξεργασία Θερμικών Εικόνων

Οι θερμικές εικόνες συλλέγονται από έναν αισθητήρα θερμικής απεικόνισης. Είναι μια συσκευή που σχηματίζει μια εικόνα ανιχνεύοντας την υπέρυθρη ακτινοβολία από αντικείμενα μιας σκηνής και συγκρίνοντας τις διαφορές της θερμοκρασίας τους. Ο χρηστικός σκοπός των θερμικών εικόνων του πλοίου ήταν η μετέπειτα επίθεσή τους στο τρισδιάστατο μοντέλο για την συμπλήρωση της απόδοσης του κοίλου του πλοίου ή/και την απόδοση υφής των υλικών. Έτσι, οι εικόνες τύπου .jpg που προέκυψαν από την θερμική αποτύπωση του πλοίου (βλ. *Ενότητα*

3.3.2.3) εισήχθησαν στο περιβάλλον του Photoshop για την αφαίρεση διαφόρων δεικτών του συστήματος της θερμοκάμερας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.26.



**Εικόνα 4.26 - Παράδειγμα από την επεξεργασία των θερμικών εικόνων - (α) Η αρχική θερμική εικόνα - (β) Η ίδια εικόνα μετά την επεξεργασία της στο περιβάλλον του Photoshop**

Όμως, η σύνδεση των τελικών θερμικών εικόνων με το μοντέλο επιφάνειας του πλοίου μέσω εντοπισμού ομόλογων σημείων στάθηκε αδύνατη εξαιτίας της χαμηλής ανάλυσης (*resolution*) που παρουσίασαν τελικά οι εικόνες.

Ωστόσο, η χρήση θερμικών εικόνων στην τεκμηρίωση και διαγνωστικό έλεγχο κατασκευών, κυρίως κτηρίων, αναφέρεται συχνά στην βιβλιογραφία (Panasenکو, et al., 2016; Lerma, et al., 2012) και η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι συμπληρωματική στις γνωστές γεωδαιτικές μεθόδους αποτύπωσης.

#### 4.4 Εκτίμηση της Ακρίβειας του Μοντέλου

Τα δεδομένα των συμπληρωματικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στο πεδίο δεν στάθηκε δυνατό να συνδυαστούν είτε με εκείνα που προέκυψαν από τις επίγειες σαρώσεις ή με το τελικό πλέγμα που προέκυψε από την επεξεργασία τους.

Επιπλέον, η απουσία στοιχείων παραμετρικού σχεδιασμού από το τελικό πλέγμα δεν καθιστά δυνατή την άμεση σύγκρισή του με την γεωμετρική πληροφορία που μπορεί να εξαχθεί από τα διατεθειμένα ναυπηγικά σχέδια του πλοίου.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις χαρακτηριστικών αποστάσεων επί του τελικού πλέγματος του κοίλου του πλοίου και υπολογίστηκαν οι

αντίστοιχες αποστάσεις από τα ταχυμετρικά δεδομένα της τοπογραφικής μεθόδου. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι αποστάσεις:

- μεταξύ 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> κάτω πρωραίου φινιστρινιού (1)
- (εσωτερική)των πλευρικών πύργων πυροβόλων στο ύψος της κουπαστής (2)
- μεταξύ των πρώτων κάτω πρυμναίων φινιστρινιών (αμέσως μετά τον πλευρικό πρυμναίο πύργο πυροβόλων) (3)

Οι εν λόγω αποστάσεις αφορούν αποκλειστικά την αριστερή πλευρά του κοίλου, αφού η τοπογραφική μέθοδος εφαρμόστηκε μόνο για αυτήν, ενώ το μικρό πλήθος τους οφείλεται στην δυσκολία αναγνώρισης χαρακτηριστικών σημείων μεταξύ των ταχυμετρικών δεδομένων και συνταύτισής τους με τα αντίστοιχα του πλέγματος. Τα αποτελέσματα λοιπόν είναι ενδεικτικά και παρατίθενται αμέσως παρακάτω.

**Πίνακας 4.4 - Συγκριτικές μετρήσεις και υπολογισμοί μεταξύ του τελικού πλέγματος και των ταχυμετρικών δεδομένων της τοπογραφικής μεθόδου**

	Απόσταση [m]		Διαφορά [m]
	Μέτρηση στο Πλέγμα Τριγώνων	Υπολογισμός από Ταχυμετρικά Δεδομένα	[Πλέγμα-Ταχυμετρικά]
(1)	1.876	1.875	0.001
(2)	24.049	24.028	0.021
(3)	1.872	1.857	0.015
		M.T.	0.012
		Τυπική Απόκλιση	0.0199 ≈ 0.020

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4, το τελικό πλέγμα τριγώνων του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», όπως προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων, φαίνεται να προσεγγίζει τα γεωδαιτικά δεδομένα της τοπογραφικής μεθόδου με τυπική απόκλιση μόλις 2cm περίπου.

# Κεφάλαιο 5



## 5 Συμπεράσματα & Προτάσεις

### 5.1 Εισαγωγή

Η εκπόνηση της παρούσας μελέτης είχε ως βασικό σκοπό την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου επιφανείας του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» μέσα από την συλλογή και επεξεργασία γεωδαιτικών δεδομένων υψηλής ακριβείας με την χρήση επίγειων σαρωτών laser. Συμπληρωματικά της μεθόδου σάρωσης laser, επιλέχθηκε η εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου με χρήση γεωδαιτικού σταθμού και η θερμογραφική αποτύπωση με χρήση θερμοκάμερας, με στόχο την συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων για την γάστρα του πλοίου, καθώς μεγάλο τμήμα της στάθηκε αδύνατο να αποτυπωθεί με την χρήση του επίγειου σαρωτή. Ωστόσο, τα συμπληρωματικά γεωδαιτικά δεδομένα δεν ήταν επαρκή σε ποσότητα, ποιότητα και ακρίβεια ώστε να συνδυαστούν με τα δεδομένα των σαρώσεων. Ταυτόχρονα, ο χρονοβόρος χαρακτήρας της επεξεργασίας των νεφών σημείων των σαρώσεων και της διαδικασίας μοντελοποίησης, καθώς και τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την διάρκειά τους, απέκλεισαν από το μοντέλο την γεωμετρική πληροφορία που αφορούσε το κατάστρωμα και την υπερκατασκευή του πλοίου. Το τελικό παραχθέν προϊόν της μελέτης ήταν το τρισδιάστατο μοντέλο επιφανείας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» σε πλέγμα τριγώνων (*mesh*), απουσία μεγάλου τμήματος της γάστρας του πλοίου για την οποία στάθηκε αδύνατο να συλλεχθεί η απαραίτητη γεωμετρική πληροφορία. Ενώ, το παραχθέν μοντέλο αποτελεί μια βάση για την ψηφιακή τρισδιάστατη τεκμηρίωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ» στο πλαίσιο ενίσχυσης μιας ψηφιακής βιβλιοθήκης για την Διατήρηση της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς.



## 5.2 Συμπεράσματα

### 5.2.1 Συλλογή Δεδομένων

Στην παρούσα μελέτη για την ψηφιακή τρισδιάστατη τεκμηρίωση του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου πραγματοποιήθηκε η συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων υψηλής ακριβείας του πλοίου με την εφαρμογή της μεθόδου σάρωσης laser και συγκεκριμένα:

- σαρώσεις laser με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 της Leica
  - (Μαρίνα Φλοίσβου, Απρίλιος 2016) από 10 στάσεις του οργάνου επί του πλοίου και 1 στάση του οργάνου επί της αποβάθρας, με αποτέλεσμα τα νέφη σημείων απεικόνισης του μεγαλύτερου τμήματος του καταστρώματος και της υπερκατασκευής του πλοίου
  - (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος-Ιούλιος 2017), συνολικής διάρκειας 15 ωρών μοιρασμένων σε 3 ημέρες (5 ώρες κάθε μέρα) από 2 στάσεις του οργάνου επί του πλοίου και 11 στάσεις του οργάνου έξω από αυτό, περιμετρικά της δεξαμενής επισκευής του, με αποτέλεσμα συμπληρωματικά νέφη σημείων απεικόνισης καταστρώματος-υπερκατασκευής και τα νέφη σημείων απεικόνισης του κοίλου του πλοίου
- σαρώσεις laser με τον επίγειο σαρωτή Focus<sup>M</sup> 70 της FARO (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017), με στάσεις του οργάνου εκτός του πλοίου, στο όριο της δεξαμενής επισκευής του, με αποτέλεσμα το νέφος σημείων απεικόνισης της δεξιάς εξωτερικής πλευράς (υπερκατασκευής-κοίλου) του πλοίου
- σαρώσεις laser με τον επίγειο σαρωτή P30/40 της Leica (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούνιος 2017), με στάσεις του οργάνου επί του πλοίου, με αποτέλεσμα το νέφος σημείων απεικόνισης καταστρώματος-υπερκατασκευής του πλοίου

Ωστόσο, με την εφαρμογή της μεθόδου σάρωσης laser, δεν κατορθώθηκε επιτυχώς η αποτύπωση του τμήματος μαύρου χρώματος του κοίλου του πλοίου, εξαιτίας της απορρόφησης της ακτινοβολίας laser από την συγκεκριμένη επιφάνεια.

Κατά τις εργασίες πεδίου, πραγματοποιήθηκε επίσης η συλλογή γεωδαιτικών δεδομένων με την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου και της θερμογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την συμπλήρωση της πληροφορίας των δεδομένων laser, και συγκεκριμένα:

- ταχυμετρικές μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό TPS 400 (TCR407) της Leica, άνευ πρίσματος (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017), συνολικής διάρκειας 10 ωρών μοιρασμένων σε 2 ημέρες (5 ώρες κάθε μέρα) από 5 στάσεις του οργάνου προς

χαρακτηριστικά σημεία (~310 στο πλήθος) της αριστερής πλευράς του κοίλου του πλοίου εν είδει κατακορύφων

- λήψη εικόνων με την θερμοκάμερα E60 της Flir (Ναυπηγεία Σκαραμαγκά, Ιούλιος 2017), περιμετρικά του πλοίου, με αποτέλεσμα 359 θερμικές εικόνες του κοίλου του και του κεντρικού τμήματος της υπερκατασκευής του (φουγάρα του πλοίου)

Το στάδιο της συλλογής δεδομένων ολοκληρώθηκε με την παραχώρηση των ναυπηγικών σχεδίων του πλοίου από το Μουσείο Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

### 5.2.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων πραγματοποιήθηκε με την χρήση των λογισμικών Cyclone και Geomagic Studio. Στο περιβάλλον του Cyclone πραγματοποιήθηκε ο πρώτος καθαρισμός από τον θόρυβο των μετρήσεων και η συνένωση των 23 από τις 24 σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν με τον ScanStation 2 μεταξύ τους και με το νέφος σημείων που προέκυψε από τις σαρώσεις με τον Focus<sup>M</sup> 70 με το τελικό M.T.Σ. στα 1.9cm. Ενώ δεν επιτεύχθηκε η συνένωση αυτών των δεδομένων με το νέφος σημείων καταστρώματος-υπερκατασκευής που είχε προκύψει από τις σαρώσεις με τον P 30/40. Το τελικό νέφος σημείων όπως προέκυψε από τις συνενώσεις των επί μέρους νεφών αποτελούταν από 71 επιμέρους νέφη συνολικού πλήθους 194,628,321 σημείων. Για την περαιτέρω επεξεργασία του χωρίστηκε σε επτά τμήματα και καθένα από αυτά σε δύο ακόμα.

Τα 14 νέφη σημείων που συνέθεταν την συνολική απεικόνιση του πλοίου δέχθηκαν ξεχωριστή επεξεργασία στο περιβάλλον του Geomagic και για το καθένα, μετά από την εκτέλεση μιας σειράς συναρτήσεων, παράχθηκε το αντίστοιχο πλέγμα τριγώνων (*mesh*). Ο όγκος της πληροφορίας κάθε τμήματος σε συνδυασμό με τον τρόπο λειτουργίας του Geomagic κατέστησαν απαραίτητο τον διαχωρισμό κοίλου και καταστρώματος-υπερκατασκευής. Έτσι, με το πέρας της επεξεργασίας των 14 τμημάτων, προέκυψαν τα πλέγματα τριγώνων της επιφάνειας του κοίλου, τα οποία συνενώθηκαν σε ένα ενιαίο για την δημιουργία του μοντέλου επιφάνειας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ».

Η επεξεργασία στο περιβάλλον του Geomagic ολοκληρώθηκε χωρίς την γεωμετρική πληροφορία που αφορούσε το κατάστρωμα και την υπερκατασκευή του πλοίου, εξαιτίας του όγκου εργασίας που απαιτούσε η επεξεργασία των αντίστοιχων νεφών σημείων κατά την διαδικασία της μοντελοποίησης.

Τα γεωδαιτικά δεδομένα από την εφαρμογή των συμπληρωματικών μεθόδων δεν ήταν δυνατό να αξιοποιηθούν. Η χρήση του γεωδαιτικού σταθμού χωρίς την χρήση πρίσματος (*reflectorless*) είχε τα ίδια αποτελέσματα με την χρήση του επίγειου σαρωτή, καθώς και στις δύο περιπτώσεις

η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφούταν από το μαύρο χρώμα του κοίλου. Οι θερμικές εικόνες από την άλλη αποδείχθηκαν ακατάλληλες, καθώς, λόγω χαμηλής ανάλυσης ήταν αδύνατη η εξαγωγή ομόλογων σημείων για την προσαρμογή τους στα δεδομένα των σαρώσεων.

### 5.2.3 Το Παραγόμενο Μοντέλο

Το μοντέλο επιφανείας του κοίλου του Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», που παράχθηκε για την παρούσα μελέτη, συντίθεται από ένα ενιαίο πλέγμα τριγώνων, ενώ δεν περιλαμβάνει στοιχεία παραμετρικού σχεδιασμού αντίστοιχα με εκείνα που συνθέτουν ένα κτηριακό μοντέλο πληροφοριών (*BIM*). Αποτελεί μια ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση του κοίλου του πλοίου, σε κλίμακα 1:1, που παρέχει την δυνατότητα εξαγωγής μετρητικής πληροφορίας και οπτικής περιήγησης. Απεικονίζει την γεωμετρία των κυρίαρχων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του κοίλου, καθώς πολλά από τα δευτερεύοντα στοιχεία κρίθηκε απαραίτητο να παραλειφθούν κατά την επεξεργασία των νεφών και στην συνέχεια των πλεγμάτων, λόγω ελλιπούς πληροφορίας και για την ευκολότερη διαχείριση των δεδομένων και την κατά το δυνατόν αποφυγή αλλοίωσης της γεωμετρίας των κύριων χαρακτηριστικών. Ενώ σημαντική αδυναμία του μοντέλου αποτελεί η απουσία γεωμετρικής πληροφορίας μεγάλου τμήματος του κοίλου του πλοίου.

Με το τελικό πλέγμα του κοίλου ευθυγραμμίστηκε για λόγους αισθητικής και το πλέγμα καταστρώματος-υπερκατασκευής όπως προέκυψε από σύντομη επεξεργασία του νέφους σημείων των μετρήσεων με τον επίγειο σαρωτή P 30/40 της Leica.

Για την εκτίμηση της εσωτερικής ακρίβειας του μοντέλου πραγματοποιήθηκε η σύγκρισή του με το αντίστοιχο νέφος σημείων απεικόνισης του κοίλου του πλοίου στο περιβάλλον του Geomagic. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας σύγκρισης έδωσε για την σύμπτωση των δύο απεικονίσεων (νέφος σημείων και πλέγματος τριγώνων) τυπική απόκλιση και Μ.Τ.Σ. της τάξης των 41cm. Οι περιοχές απόκλισης των δύο απεικονίσεων εντοπίζονται στα ακραία τμήματά τους καθώς και στην αριστερή πλευρά της πλώρης και της πρύμνης, επιφάνειες για τις οποίες τα δεδομένα σάρωσης προέκυψαν από έναν μόνο σαρωτή, ενώ ταυτόχρονα, λόγω της γεωμετρίας τους και της θέσης του οργάνου κατά την σάρωσή τους, παρουσίαζαν μεγάλη γωνία σάρωσης (*incidence angle*). Ενώ στο μεγαλύτερο μέσο τμήμα του πλοίου, η επιφάνεια του πλέγματος προσεγγίζει το αντίστοιχο νέφος σημείων με ακρίβεια  $\pm 1\text{cm}$ .

Όσον αφορά την εξωτερική ακρίβεια του μοντέλου, με την απουσία στοιχείων παραμετρικού σχεδιασμού για την άμεση σύγκρισή τους με την γεωμετρική πληροφορία των ναυπηγικών σχεδίων και την αδυναμία επίθεσης των αποτελεσμάτων της τοπογραφικής μεθόδου στο τελικό πλέγμα, η εκτίμησή της πραγματοποιήθηκε μέσω συγκριτικών μετρήσεων και υπολογισμών

μεταξύ του πλέγματος και των ταχυμετρικών δεδομένων της τοπογραφικής μεθόδου, κατά αντιστοιχία, δίνοντας τυπική απόκλιση μόλις 2cm.

#### 5.2.4 Σύνοψη

Από τα προβλήματα που προέκυψαν τόσο στις εργασίες υπαίθρου όσο και κατά την επεξεργασία των δεδομένων, αλλά και εκ του αποτελέσματος, κρίνεται πως η υλοποίηση ενός εγχειρήματος για την αποτύπωση ενός αντικειμένου αντίστοιχου μεγέθους και γεωμετρικής πολυπλοκότητας και μάλιστα με την ακρίβεια που απαιτεί το πλαίσιο Διατήρησης της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, είναι επιτακτική μια πολύ προσεκτική και διεξοδική μελέτη και οργάνωση των εργασιών πεδίου και η διεξαγωγή τους σε πλήρη συνεννόηση και συνεργασία με τους αρμοδίους για την φύλαξη και συντήρηση του αντικειμένου. Έτσι, για την ακρίβεια που απαιτεί η παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου δεδομένης της γεωμετρικής πολυπλοκότητας του αντικειμένου, δεν αρκεί μόνο η πυκνή σάρωση του συνόλου του, αλλά και η διασφάλιση της σάρωσης κάθε ιδιαίτερου στοιχείου του για την δυνατότητα και ορθότητα της μοντελοποίησής τους προς την γεωμετρική πληρότητα του μοντέλου.

Ακόμη, η επεξεργασία των δεδομένων των σαρώσεων για την παραγωγή ενός μοντέλου επιφανείας μεγάλης ακρίβειας απαιτεί σαφώς εμπειρία και εξειδίκευση. Πέρα από τον χειρισμό ενός εξειδικευμένου λογισμικού επεξεργασίας τρισδιάστατων νεφών σημείων, είναι πάρα πολύ σημαντικό από τον χρήστη που εκτελεί την διαδικασία μοντελοποίησης να αντιλαμβάνεται πλήρως την γεωμετρία και τις φυσικές ιδιότητες των στοιχείων ενός νέφους και στην συνέχεια του παραγόμενου πλέγματος. Καθώς, παρά την δυνατότητα που παρέχει το λογισμικό για την εκτέλεση αυτόματων ή ημιαυτόματων εργασιών, είναι καθοριστική η παρέμβαση του χρήστη στον ορισμό των παραμέτρων εκτέλεσης (αριθμητικών ή γραφικών) και την εφαρμογή των απαραίτητων συμβάσεων για την καλύτερη ποιοτικά και χρονικά εκτέλεσή τους, αλλά και η ικανότητα εκτίμησης του αποτελέσματος κάθε εκτελούμενης εργασίας.

Όσον αφορά την χρήση επίγειου σαρωτή laser σε εργασίες για την ψηφιακή τρισδιάστατη τεκμηρίωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς με αντίστοιχη ιδιαιτερότητα φύσης, γεωμετρίας και διαστάσεων όπως ένα ιστορικό πλοίο σαν το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ», αποτελεί αδιαμφισβήτητη μέθοδο προς εφαρμογή. Αποδεικνύεται πως παρά τους περιοριστικούς παράγοντες του περιβάλλοντος του αντικειμένου, του ίδιου του αντικειμένου και της εξειδίκευσης των χρηστών εξοπλισμού και λογισμικού επεξεργασίας, επιτυγχάνεται με την συγκεκριμένη μέθοδο η αποτύπωση στοιχείων ιδιαίτερης και πολύπλοκης γεωμετρίας. Ωστόσο, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το δυσανάλογο του χρόνου των μετρήσεων με τον χρόνο

επεξεργασίας των συλλεγόμενων δεδομένων. Ενώ ταυτόχρονα, τα διαθέσιμα λογισμικά επεξεργασίας νεφών ενέχουν επίσης περιοριστικούς παράγοντες στον όγκο δεδομένων που είναι δυνατόν να διαχειριστούν ταυτόχρονα.

Όμως, η καταγραφή μεγάλων πλοίων ως αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς, σε αντίθεση με εκείνη των αρχιτεκτονικών μνημείων, υπολείπεται κατευθυντήριων γραμμών και μόνο τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται ενέργειες προς την σύνθεση ενός τέτοιου πλαισίου. Έτσι, το προϊόν της παρούσας μελέτης είναι αποτέλεσμα λήψης αποφάσεων που συντέθηκαν από τον συνδυασμό πληροφοριών ποικίλης βιβλιογραφίας με μελέτες περιπτώσεων διαφορετικών πρωτοβουλιών και αποτελεσμάτων. Ενώ η αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων, έρχονται ως συμπλήρωμα αυτής της βιβλιογραφίας με πολλά περιθώρια βελτιώσεων. Όλα αυτά συνοδεύονται από έναν μεγάλο όγκο πρωτογενών και παραγμένων δεδομένων που μπορούν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν ως πρωτεύοντα ή συμπληρωματικά.

### 5.3 Προτάσεις

Συμπερασματικά, προτείνονται ως πιθανές μελλοντικές ενέργειες στο πλαίσιο της ψηφιακής τρισδιάστατης τεκμηρίωσης της ναυτικής κληρονομιάς και συγκεκριμένα όσον αφορά το Θ/Κ «Γ. Αβέρωφ»:

- Συμπληρωματική αποτύπωση με χρήση επίγειου σαρωτή των επί μέρους κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και λεπτομερειών του πλοίου, με εφαρμογή ρομποτικού ελέγχου του οργάνου όπου χρειάζεται (σε σημεία που η πρόσβαση είναι δύσκολη ή αδύνατη) και σύνδεσή τους με τα υπάρχοντα δεδομένα σαρώσεων προς την γεωμετρική πληρότητα του μοντέλου και την δυνατότητα παραμετρικού σχεδιασμού
- Επίλυση του προβλήματος αποτύπωσης της γάστρας του πλοίου με την εφαρμογή λύσεων όπως η επίθεση λευκών στόχων (μετά από συνεννόηση με τους αρμοδίους για την φύλαξη και την συντήρησή του)
- Εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων (π.χ. ορθή επανάληψη της θερμογραφικής αποτύπωσης με την παραγωγή εικόνων υψηλής ανάλυσης, εφαρμογή φωτογραμμετρικής μεθόδου) τόσο για την επίτευξη αποτύπωσης της γάστρας όσο και για την απόδοση υφής στο μοντέλο
- Σε ένα πλήρες γεωμετρικά μοντέλο του πλοίου, η ψηφιακή τεχνολογία ευνοεί την ενίσχυση με μεταδεδομένα (ιστορικά ή κατασκευαστικά) κάθε επιμέρους τμήματος του πλοίου, αλλά και με υδροστατικά στοιχεία για την θεωρητική συμπεριφορά του στο φυσικό του υδάτινο περιβάλλον και την μετέπειτα απόδοση κίνησης στο τρισδιάστατο μοντέλο

Ταυτόχρονα με τα παραπάνω, θα ήταν καίρια η ίδρυση ενός εθνικού πλαισίου στήριξης της Ψηφιακής Τεκμηρίωσης της Ναυτικής Πολιτιστικής Κληρονομιάς και η ένταξή του στο αντίστοιχο ευρωπαϊκό. Η Διατήρηση της Ναυτικής Κληρονομιάς είναι από την φύση της περισσότερο παγκόσμιο παρά εθνικό ζήτημα και το ψηφιακό παράθυρο στην ιστορία επιτακτική ανάγκη της σύγχρονης εποχής.

# Βιβλιογραφία

## Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

(Photographer): Abeniacar, C., 1910. *Launching greek armoured cruiser, "Averof", Orlando Shipyard, Livorno, Italy, 12 March 1910.* [Art].

Abmayr, T., Härtl, F., Reinköster, M. & Fröhlich, C., 2005. *Terrestrial laser scanning - applications in cultural heritage conservation and civil engineering.* s.l., ISPRS.

Anon., 1912. *Right elevation and deck plan diagrams depicting Italian Regina Elena class battleship.* [Art].

Anon., 1923. *Right elevation and deck plan diagrams depicting Italian Pisa class armoured cruiser..* [Art].

Bernat, M. et al., 2014. *Studies on the use of terrestrial laser scanning in the maintenance of buildings belonging to the cultural heritage.* Poland, 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, Section Photogrammetry and Remote Sensing.

Boehler, W., Bordas Vincent, M. & Marbs, A., 2003. *Investigating laser scanner accuracy.* Germany, i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology.

Boehler, W., Heinz, G. & Marbs, A., 2005. *The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording.* Torino, Italy, s.n., pp. 430-435.

Böhler, W., 2006. Comparison of 3D laser scanning and other 3D measurement techniques. In: E. Baltsavias, A. Gruen, L. Van Gool & M. Pateraki, ed. *Recording, modeling and visualisation of cultural heritage.* London: Taylor & Francis, pp. 89-99.

Cabrelles, M. et al., 2009. *Integration of 3D laser scanning, photogrammetry and thermography to record architectural monuments.* Kyoto, Japan, s.n.

Chee Wei, O., Siew Chin, C., Majid, Z. & Setan, H., 2010. 3D Documentation and preservation of historical monument using terrestrial laser scanning. *Geoinformation Science Journal*, pp. 73-90.

Colombo, L. & Marana, B., 2010. Terrestrial laser scanning, how it works and what it does. *GIM International*, 3 December, pp. 17-20.

Colson, A., 2017. *Digital documentation of ships in cultural heritage: a european review.* Ottawa, Canada, ISPRS.



- Costa, E. et al., 2016. Digital survey techniques for the documentation of wooden shipwrecks. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016*, 12-19 July, pp. 237-242.
- Fröhlich, C. & Mettenleiter, M., 2004. Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3D surveying. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI - 8/W2*, pp. 7-13.
- Haddad, N. & Akasheh, T., 2005. *Documentation of archaeological sites and monuments: ancient theatres in Jerash*. Torino, Italy, s.n., pp. 350-355.
- Ham, Y. & Golparvar-Fard, M., 2012. *Rapid 3D energy performance modeling of existing buildings using thermal and digital imagery*. West Lafayette, Indiana, United States, s.n., pp. 991-1000.
- Hyttel, F. D., 2011. Digital recording in maritime archaeology - intelligence and interpretation. In: *Digital Recording in Maritime Archaeology - Total station, Rhinoceros and Termit*. s.l.:University of Southern Denmark, pp. 16-18.
- Iwaszczuk, D., Hoegner, L. & Stilla, U., 2011. *Matching of 3D building models with IR images for texture extraction*. Munich, Germany, s.n., pp. 25-28.
- Jeyapalan, K., 1980. Photogrammetry in recording the historic ship Niantic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, No. 12*, 12 December, pp. 1531-1536.
- Kern, F., 2001. *Supplementing laser scanner geometric data with photogrammetric images for modeling*. Potsdam, XVIII International CIPA Symposium.
- Lagüela, S. et al., 2012. *Thermographic 3D models as the foundation for Building Information Models*. Naples, Italy, s.n.
- Lemmens, M., 2004. 3D laser mapping. *GIM International*, pp. 44-47.
- Lemmens, M., 2007a. Laser scanning technology challenged: shortcomings in spatial documentation of heritage sites. *GIM International*, Issue 21(3), pp. 25-29.
- Lemmens, M., 2007b. Merging professions. *GIM International*, 7 July.
- Lemmens, M., 2011. Terrestrial laser scanning. In: *Geo-Information, Geotechnologies and the Environment*. s.l.:Springer Netherlands, Springer Science+Business Media B.V..
- Lerma, J. L., Mileto, C., Vegas, F. & Cabrelles, M., 2012. *Visible and thermal IR documentation of a masonry brickwork building*. Athens, Greece, s.n.
- Lindenbergh, R., Pfeifer, N. & Rabbani, T., 2005. *Accuracy analysis of Leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring*. Enschede, The Netherlands, ISPRS Workshop, pp. 24-29.

- Lingua, A. & Rinaudo, F., 2001. *The statue of Ramsese II - integration of digital photogrammetry and laser scanning technique for 3D modeling*. Potsdam, Germany, s.n., pp. 206-211.
- Logothetis, S., Delinasiou, A. & Stylianidis, E., 2015. Building information modelling for cultural heritage: a review. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W3(25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015), pp. 177-183.
- Lt. Allen, E. E. R. N. c., 1943. *Georgios Averof, guardship, Port Said, 23/2/1943*. [Art] (Imperial War Museum PD. British Crown Copyright, expired June 1, 1957).
- Lt. Oulds, D. C. U. R. N., 1944. *The british navy brings food to Greece. 20 and 21 October 1944, Piraeus harbour, Athens. British merchantmen escorted by ships of the british and greek navies, brought the first food supplies for the relief of Greece. (A 26352)*. [Art].
- Menna, F., Nocerino, E. & Scamardella, A., 2011. *Reverse engineering and 3D modelling for digital documentation of maritime heritage*. Trento, Italy, ISPRS.
- Panasenko, R. A., Alekseev, D. V., Filin, A. P. & Koltsov, D. G., 2016. *The application of thermal imager in the measuring system of the direct heating block of the solid reactants*. s.l., s.n., pp. 611-614.
- Pawłowicz, J. A., 2014. 3D Modelling of historic buildings using data from laser scanner measurments. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*, Volume 8.
- Pfeifer, N. & Briese, C., 2007. *Laser scanning - principles and applications*. s.l., s.n.
- Rangel, J., Soldan, S. & Kroll, A., 2014. *3D thermal imaging: fusion of thermography and depth cameras*. s.l., s.n.
- Raphael, M., 2016. Documenting historic naval architecture with 3D laser scanning. *LiDAR Magazine*, Volume 6.
- Ruther, H., 2007. Laser-scanning and heritage: academic and manufacturer face challenges. *GIM International*, Issue 21(5), pp. 14-17.
- 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..
- Soudarissanane, S., Lindenbergh, R., Menenti, M. & Teunissen, P. J. G., 2009. *Incidence angle influence on the quality of terrestrial laser scanning points*. Paris, France, ISPRS.

UK Royal Navy, 1942. *"RHNS Georgios Averof" in camo paint, RN Bombay Station, 1942, while serving under UK Royal Navy Command.* [Art] (UK Royal Navy -- HM Statutory Crown Copyright, 1942 UK/Gov-PD -- Uncatalogued work encompassed by the "Admiralty Collection" of declassified WW2 images. Administrational jurisdiction: Imperial War Museum, London).

Vidas, S., Moghadam, P. & Bosse, M., 2013. *3D thermal mapping of building interiors using an RGB-D and thermal camera.* s.l., IEEE, pp. 2311-2318.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

HuffPost Greece, 2017. Εργασίες συντήρησης στο θωρηκτό «Αβέρωφ». *HuffPost*, 26 Απρίλιος.

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

Γαρδίκια-Κατσιαδάκη, Ε. & Χαρωνίτης, Γ., 2002. Στο: *Το Θωρηκτό Γεώργιος Αβέρωφ κατά τους Βαλκανικούς Πολέμους 1912-1913.* s.l.:Ελληνικό Λογοτεχνικό και Ιστορικό Αρχείο (Ε.Λ.Ι.Α.), Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών και Μελετών "Ελευθέριος Κ. Βενιζέλος", Μουσείο Μπενάκη.

Γρηγορόπουλος, Ι. Γ., 2000. *Σημειώσεις: Σχεδίαση Ναυπηγικών Γραμμών, Σημειώσεις Μαθήματος.* s.l.:s.n.

Συμεωνίδης, Π., 2007. *Σαρωτές Laser - Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές.* Σέρρες: Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Τ.Ε.Ι. Σερρών.

Χριστοδούλου, Ο., 2014. *Χρήση επίγειου σαρωτή στη ναυπηγική γεωμετρική τεκμηρίωση παραδοσιακού σκάφους.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

## Ιστότοποι

3d Systems, χ.χ. *3D Systems>Solutions>By Products and Services>Software.* [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.3dsystems.com/software>

[Πρόσβαση 2018].

ABA Surveying, 2009-2018. *ABA Surveying.* [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://abasurveying.co.uk/>

[Πρόσβαση 2018].

archaeology & arts, 2015. *archaeology & arts - φωτογραφίες.* [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<https://www.archaiologia.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82/>

[Πρόσβαση 2018].

Bahudhara, 2014. *Wikimedia Commons*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://commons.wikimedia.org/>

[Πρόσβαση 2018].

FARO, χ.χ. *FARO: Products*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.faro.com/en-gb/products/construction-bim-cim/faro-focus/>

[Πρόσβαση 2018].

FLIR®, χ.χ. *FLIR>Support>Products>E60*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.flir.com/support/products/e60/#Specifications>

[Πρόσβαση 2018].

IndiaMART, 1996-2018 . *Home > Office Automation Products & Devices > Digital Scanner > 3D Laser Scanner*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.indiamart.com/proddetail/faro-focus3d-m70-laser-scanner-17524747073.html>

[Πρόσβαση 2018].

Instrument Hire UK, 2018. *Instrument Hire UK>FLIR E60*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://ihuk.biz/wp-content/uploads/2017/07/e60.png>

[Πρόσβαση 2018].

Koosha, M., 2018. *Koosha: Used Cameras > Total Station > Leica > Leica Total Station Ultra Tcr407*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://mohandesi-koosha.com/totalstation/25/Leica-TCR407-Ultra-Total-Station>

[Πρόσβαση 2018].

Leica Geosystems, χ.χ. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://leica-geosystems.com/>

Leica Geosystems, χ.χ. *Home>Products>Laser Scanners>Software>Leica Cyclone*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>

[Πρόσβαση 2018].

Leica Geosystems, χ.χ. *Leica Geosystems: HDS Leica ScanStation 2*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2\\_62189.htm](https://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-2_62189.htm)

[Πρόσβαση 2018].

Leica Geosystems, χ.χ. *Leica Geosystems: Products*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>

[Πρόσβαση 2018].

Maritime intelligence - informa, 2017-2018. *Lloyd's List - Maritime intelligence - informa*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://greekshippingawards.gr/20171127/1097/>

[Πρόσβαση 2018].

Nfutvol, 2012. *Wikimedia Commons*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://commons.wikimedia.org/>

[Πρόσβαση 2018].

Optris, 2015-2018. *Optris Infrared Thermometers*. [Ηλεκτρονικό]

[Πρόσβαση 2018].

ScARF, 2012-2018. *Scottish Archaeological Research Framework*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.scottishheritagehub.com/>

[Πρόσβαση 2018].

The Mary Rose Trust, 2018. *The Mary Rose*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://maryrose.org/>

[Πρόσβαση 2018].

Wikipedia contributors, 2018. *Pisa-class cruiser*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisa-class\\_cruiser&oldid=845912556](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisa-class_cruiser&oldid=845912556)

[Πρόσβαση 2018].

World of Warships: Forum, 2018. *World of Warships: Forum*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://forum.worldofwarships.eu/topic/100340-georgios-averof-armored-cruiserpisa-class%C2%A0/>

[Πρόσβαση 2018].

Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο, Ε. Ι., 2017-2018. *Θωρηκτό Γ. Αβέρωφ - Πλωτό Ναυτικό Μουσείο*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://averof.mil.gr/>

[Πρόσβαση 2018].

ΙΠΕΤ, 2006-2018. *Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.ipet.gr>

[Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2018].

Συντάκτες της Βικιπαίδειας, 2018. *Γεώργιος Αβέρωφ (θωρακισμένο καταδρομικό)*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://el.wikipedia.org/wiki/Γεώργιος\\_Αβέρωφ\\_\(θωρακισμένο\\_καταδρομικό\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Γεώργιος_Αβέρωφ_(θωρακισμένο_καταδρομικό))

[Πρόσβαση 2018].