

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



Ανίχνευση γεωμετρικών παραμορφώσεων πλευρών πλοίου
μεταφοράς καυσίμων με χρήση τρισδιάστατης απεικονιστικής
αποτύπωσης
Διπλωματική Εργασία

Χανιά, 2018

Σίλβια Γ. Σίμου

Εξεταστική Επιτροπή

Παναγιώτης Παρτσινέβελος, Επίκουρος
Καθηγητής (επιβλέπων)

Γκίνης Αλέξανδρος Αλβέρτος,
Αναπληρωτής Καθηγητής

Δρ. Παπαδάκης Γεώργιος, Ε.ΔΙ.Π.

Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η τρισδιάστατη απεικονιστική αποτύπωση επιφανειών για την ανίχνευση παραμορφώσεων που δυνητικά επηρεάζουν τα δομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Η τεχνική της επίγειας φωτογραμμετρίας με λήψη επικαλυπτόμενων φωτογραφιών έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για γεωμορφολογική και τοπογραφική αποτύπωση της γήινης επιφάνειας αλλά και για τον εντοπισμό και απόδοση γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε ασυνέχειες τεχνικών έργων και κατασκευών (π.χ. κτήρια, φράγματα, κ.ά).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αντιμετωπίζεται η γεωμετρική τεκμηρίωση παραμορφώσεων των τοιχωμάτων πλοίων συνδυάζοντας την επιστήμη της Τοπογραφίας με αυτή της Ναυπηγικής καθώς προτείνεται μια νέα ημιαυτόματη μεθοδολογία ελέγχου της γεωμετρικής κανονικότητας των δομικών στοιχείων πλοίων μεταφοράς υγρών/αέριων καυσίμων. Η γεωμετρική τεκμηρίωση των πλοίων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι στη ναυπηγική καθώς με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα καταγραφής πιθανών μεταβολών στη μορφή των πλοίων (π.χ. φυσιολογικές φθορές, προσθήκες,) συνεπώς και της δυνατότητας παρέμβασης με σκοπό την αποκατάσταση, την προστασία και τη συντήρησή του.

Στα πλαίσια της εργασίας διερευνήθηκαν, προσαρμόστηκαν και εφαρμόστηκαν πρωτότυπες μεθοδολογίες φωτογραμμετρικής απεικόνισης στις ιδιαίτερες συνθήκες λήψης δεδομένων επί των καμπύλων επιφανειών των τοιχωμάτων των πλοίων και υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες θέσης του πλοίου. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων και δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο των επιφανειών μελέτης. Το μοντέλο αυτό αναλύθηκε ως προς τις κάθετες τομές του και συγκρίθηκε με θεωρητικές καμπύλες προσαρμογής προκειμένου (α) να ελεγχθεί η αξιοπιστία της προτεινόμενης τεχνικής, και (β) να εντοπιστούν τυχόν αστοχίες επί της επιφάνειας του πλοίου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ισχυρά συγκριτικά πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας (κόστος, χρόνος, ακρίβεια, εποπτικότητα) σε σχέση με τις τρέχουσες πρακτικές ελέγχου.

ABSTRACT

The subject of the present study is the three-dimensional surface representation of ships towards the detection of deformations that potentially influence their structural and morphological characteristics. Photogrammetry has been widely used for geomorphological mapping of the Earth's surface and for the representation of geometrical characteristics in various technical constructions (eg buildings, dams, etc.).

In this diploma thesis we examine the geometrical documentation of a ship hull combining the science of Topography with that of Shipbuilding as a new semi-automatic method for checking the geometrical continuity of structural elements of liquid / gas transport vessels is proposed. Geometric documentation of ships is an important part of shipbuilding, as it allows the monitoring of possible changes in the form of ships (eg normal wear and tear, additions) and therefore the possibility of intervention for rehabilitation, protection and its maintenance.

In the course of the study, novel methods of photogrammetric imaging were investigated, adapted and applied in the particular conditions of data acquisition on the curved surfaces of the platforms of ships and under varying ship mounting conditions. The data was then processed and the three-dimensional surface model was created. This model was analyzed for its vertical cross-sections and compared with the theoretical adjustment curves in order to: a) verify the reliability of the proposed technique; and b) identify any defects on the surface of the ship. The results show strong comparative advantages of the proposed methodology (cost, time, accuracy, supervision) in relation to current control practices.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Παναγιώτη Παρτσινέβελο για την καθοδήγηση και την βοήθεια που προσέφερε για την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Γεώργιο Σαράτση και στον κύριο Αχιλλέα Τριπολιτσιώτη για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Χρήστο Αθητάκη, στον καπετάνιο του ρυμουλκού για την μεταφορά μας περιμετρικά του πλοίου ώστε να διεξαχθούν οι μετρήσεις καθώς και στον καπετάνιο και στο πλήρωμα του πλοίου.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κύριο Αλέξανδρο-Αλβέρτο Γκίνη Αναπληρωτή Καθηγητή στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ και τον κύριο Γεώργιο Παπαδάκη που δέχτηκαν να συμμετάσχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ABSTRACT	III
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	IV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	VIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	10
1.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ	10
1.3 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ	5
2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ	5
2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΛΟΙΟΥ	12
2.3 ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	16
2.4 ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	17
2.5 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	22
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	24
3.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	26
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	26
3.5 ΕΠΙΓΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ.....	27
3.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	28
3.6.1 ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ.....	28
3.6.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ	29
3.6.3 ΣΥΝΘΗΚΗ ΣΥΓΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ	31
3.6.4 ΕΠΙΠΟΛΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	31

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</u>	<u>34</u>
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	34
4.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ	66
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	<u>72</u>
5.1 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	73
5.2 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	73
5.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	75
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>76</u>
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76
ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.5 & Εικόνα 3.6: Απεικόνιση επιπολικής γεωμετρίας.	33
Εικόνα 4.1: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.	36
Εικόνα 4.2: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.	37
Εικόνα 4.3: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.	38
Εικόνα 4.4: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.	39
Εικόνα 4.5: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.	39
Εικόνα 4.6: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.	40
Εικόνα 4.7: Δεύτερο πλοίο μελέτης.	42
Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση γεωδαιτικού σταθμού στο κατάστρωμα του πλοίου.	44
Εικόνα 4.9: Τοποθέτηση γεωδαιτικού σταθμού στο κατάστρωμα του πλοίου.	45
Εικόνα 4.10: Αριστερή πλευρά πλοίου με control points.	45
Εικόνα 4.11: Δεξιά πλευρά πλοίου με control points.	46
Εικόνα 4.12: Τμήμα της δεξιάς πλευράς της πρύμνης.	47
Εικόνα 4.13: Τμήμα της δεξιάς πλευράς.	48
Εικόνα 4.14: Τμήμα της δεξιάς πλευράς.	49
Εικόνα 4.15: Δεξιά πλευρά πλώρης.	50
Εικόνα 4.16: Τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου.	51
Εικόνα 4.17: Τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου.	52
Εικόνα 4.18: Αριστερό τμήμα πλώρης.	53
Εικόνα 4.19: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου.	55
Εικόνα 4.20: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου.	56
Εικόνα 4.21: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε shaded μορφή.	56
Εικόνα 4.22: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε solid μορφή.	57
Εικόνα 4.23: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε solid μορφή.	57
Εικόνα 4.24: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου σε wireframe μορφή.	58
Εικόνα 4.25: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.	59
Εικόνα 4.26: Τμήμα αριστερής πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.	60
Εικόνα 4.27: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.	60
Εικόνα 4.28: Τομές του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.	62
Εικόνα 4.29: Τομές στην αριστερή πλευρά του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.	62
Εικόνα 4.30: Τομές στην δεξιά πλευρά του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.	62
Εικόνα 4.31: Απεικόνιση τομής σε λογισμικό σχεδίασης και σε γράφημα.	63
Εικόνα 4.32: Γράφημα τομής.	64
Εικόνα 4.33: Απεικόνιση της τομής με πράσινο χρώμα στην επιφάνεια του πλοίου.	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Βασικά τμήματα ενός πλοίου.	6
Σχέδιο 2.2 : Σχέδιο διαμήκων τομών του πλοίου.	7
Σχέδιο 2.3 : Σχέδιο εγκάρσιων τομών του πλοίου.	8
Σχέδιο 2.4 : Σιμότητα του πλοίου.....	9
Σχέδιο 2.5: Διαμήκης και εγκάρσια ενίσχυση σκάφους με υπόφραγμα.....	10
Σχήμα 2.6: Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών.	15
Σχήμα 3.1: Αρχική φωτογραφία που λαμβάνεται από κινούμενο παρατηρητή.....	29
Σχήμα 3.2: Τελική φωτογραφία στην οποία φαίνεται η παράλλαξη του κοντινού αντικειμένου.	29
Σχήμα 3.3: Επιπολικό επίπεδο και επιπολικές ευθείες.....	32
Σχήμα 3.4: Επιπολική γεωμετρία για την σύγκλιση των φωτογραφικών μηχανών.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωμετρική τεκμηρίωση πλοίων στη Ναυπηγική πραγματοποιείται κυρίως μέσω εποπτικών και απλών φωτογραφικών μεθοδολογιών. Πρωτίστως, τα πλοία υποβάλλονται σε οπτική εκτίμηση για την ανίχνευση ελαττωμάτων και φθοράς της μεταλλικής τους δομής, που υποδεικνύεται από εκτεταμένη σκουριά, σκασίματα, στρεβλώσεις, παρουσία ρωγμών ή ακόμη και σφαλμάτων συγκόλλησης ή και ραφής. Σε πολλές περιπτώσεις συλλέγονται δεδομένα τα οποία ενδέχεται να παρέχουν κατακερματισμένες πληροφορίες που δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική και ολοκληρωμένη κατάσταση του πλοίου. Τα συλεχθέντα δεδομένα είναι δύσκολο να αξιολογηθούν με ακρίβεια, λόγω της πιθανής απόκλισης των μέσων απεικόνισης (π.χ. σφάλμα φωτογραφιών ή παρατηρητή) ή λόγω έλλειψης γνώσεων, εμπειρίας, ή ακόμη και λανθασμένης αξιολόγησης του επιθεωρητή.

Έτσι, τα δεδομένα που συλλέγονται με παραδοσιακούς τρόπους ενδέχεται να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες σε μικρές επιφάνειες, αλλά δεν είναι αντιπροσωπευτικά του συνολικού διαρθρωτικού χαρακτήρα ενός πλοίου, δεδομένου ότι δεν αναπαρίσταται το συνολικό αντικείμενο. Έτσι τα σφάλματα και οι αβεβαιότητες που απορρέουν από την μέθοδο είναι κυρίως υποκειμενικά.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση πλοίων απαιτεί ορθότητα και ακρίβεια, και για αυτό το λόγο είναι σημαντική η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου αποτύπωσης, που να συνδυάζει, μαζί με την απαιτούμενη ακρίβεια και την οικονομία τόσο σε κόστος εξοπλισμού αποτύπωσης, όσο και σε χρονική απαίτηση μιας ολοκληρωμένης αποτύπωσης. Έτσι καθίσταται αναγκαία η αποτίμηση της χρήσης της ψηφιακής επεξεργασίας και αναπαράστασης στον κλάδο της ναυπηγικής, πράγμα το οποίο επιχειρείται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της μεθόδου ανίχνευσης γεωμετρικών παραμορφώσεων πλευρών πλοίου μεταφοράς καυσίμων με χρήση τρισδιάστατης απεικονιστικής αποτύπωσης, καθώς η γεωμετρική τεκμηρίωση των πλοίων αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο στον τομέα της ναυπηγικής. Για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας πραγματοποιούνται τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μετρήσεις σε ένα πλοίο τύπου tanker για τη δημιουργία τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας, το οποίο χρησιμοποιείται ως βάση για την εξαγωγή κάθετων τομών που αποτελούν τις κύριες ναυπηγικές γραμμές του πλοίου.

1.2 Ερευνητικό ερώτημα

Τα ερευνητικά - επιχειρησιακά ερωτήματα τα οποία καλείται να απαντήσει η συγκεκριμένη εργασία συνοψίζονται στην παρακάτω διατύπωση:

Μπορεί να αποτελέσει η φωτογραμμετρική αποτύπωση κατάλληλη μέθοδο για τον εντοπισμό γεωμετρικών παραμορφώσεων των πλευρών πλοίων;

Η καταλληλότητα εκφράζεται σε σχέση με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- ✓ Εξοπλισμός: Κατά πόσον θεωρείται οικονομικά αποδεκτή η επιλογή του απαραίτητου εξοπλισμού για την φωτογραμμετρική αποτύπωση;
- ✓ Χρόνος: Ο χρόνος παραμονής στο πλοίο και ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων είναι αποδεκτός στις συνήθεις εφαρμογές ναυπηγικής και σε ποια πλαίσια επαναληψιμότητας;

- ✓ Ακρίβεια: Ποια η ακρίβεια αποτίμησης της παραμόρφωσης των γεωμετρικών πλευρών του πλοίου; Τα σφάλματα των πλευρικών τμημάτων του πλοίου τα οποία προκύπτουν από την μέθοδο η οποία αναφέρεται άνωθεν κατά πόσο είναι αποδεκτά; (Να σημειωθεί ότι αποδεκτό θεωρείται το σφάλμα της τάξεως των cm).
- ✓ Κατά πόσο τα παράγωγα προϊόντα από τη φωτογραμμετρική αποτύπωση μπορούν να προσφέρουν βοηθητικές πληροφορίες για την περαιτέρω αποτίμηση των παραμορφώσεων;

1.3 Γενικό πλαίσιο του αντικειμένου της εργασίας

Η παρούσα εργασία στηρίζεται σε μία προσπάθεια προσέγγισης και ψηφιακής απόδοσης της επιφάνειας των πλοίων. Δεδομένου ότι τα πλοία κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους χρήσης βρίσκονται επί το πλείστον εντός της θάλασσας, δυσχεραίνονται σημαντικά οι συνθήκες γεωμετρικής σταθερότητας που είναι σημαντική για την γεωμετρική αποτύπωσή του. Η παρούσα μελέτη είναι μία πρώτη προσπάθεια αποτίμησης της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας γεωμετρικής τεκμηρίωσης πλοίου επί της θάλασσας από τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και θεωρείται ως ένα σημαντικό βήμα για την αντίληψη και γνώση των μηχανικών στην οριζόντια αντιμετώπιση σχετικών προκλήσεων. Για παράδειγμα, κατά τη σχεδίαση ναυπηγικών κατασκευών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι φορτίσεις του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, όλα τα πλοία είναι σχεδιασμένα με βάση κάποια πλαίσια ώστε να παραμένουν ακέραια τα δομικά στοιχεία τους. **Η περίπτωση υπέρβασης των ορίων**, έχει ως αποτέλεσμα την υπερφόρτιση της κατασκευής του πλοίου, η οποία επηρεάζει **την ανάπτυξη της ρωγμής και την αστοχία** των δομικών στοιχείων. Έτσι, κατά τη μεταφορά υγρών καυσίμων σε πλατφόρμες πετρελαίου είναι σημαντικό να αποτιμάται η γεωμετρική κατάσταση των πλοίων από τους μηχανικούς που βρίσκονται επί της πλατφόρμας, καθώς πιθανή αστοχία θα επιφέρει τεράστια περιβαλλοντική καταστροφή.

Σημειώνεται ότι είναι εκτός του αντικειμένου της συγκεκριμένης εργασίας η σύγκριση των αποτελεσμάτων των κάθετων τομών που δημιουργήθηκαν κατά την επεξεργασία, με τις ναυπηγικές γραμμές που προκύπτουν είτε από την θεωρία της Ναυπηγικής είτε από τα σχέδια του συγκεκριμένου πλοίου, καθώς δεν είχαμε στη διάθεσή μας τις απαιτούμενες πληροφορίες.

1.4 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δομηθεί από 5 κεφάλαια εκ των οποίων το πρώτο είναι εισαγωγικό, το δεύτερο και το τρίτο κεφάλαιο περιέχουν θεωρητικές έννοιες και είναι σημαντικά για την κατανόηση στοιχείων της ναυπηγικής καθώς και τον τρόπο λειτουργίας της επιστήμης της φωτογραμμετρίας. Το τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στην πειραματική διαδικασία της εργασίας και στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα και συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά τα κεφάλαια χωρίζονται ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε βασικούς ναυπηγικούς όρους που είναι σημαντικοί για την σχεδίαση ενός πλοίου, στα βασικά τμήματα που το συναρμολογούν, στις κύριες διαστάσεις του και στο τέλος δίνονται οι έννοιες των συντελεστών φόρτισης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές έννοιες για την κατανόηση της επιστήμης της Φωτογραμμετρίας, γίνεται αναφορά σε σημαντικούς σταθμούς που βοήθησαν στην εξέλιξη της, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα κριτήρια επιλογής του πλοίου, ο τρόπος διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας, ο εξοπλισμός που επιλέχθηκε και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα σφάλματα που απορρέουν από την υλοποίηση της πειραματικής μεθόδου, καθώς και προτάσεις βελτίωσης της εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε στοιχεία που είναι απαραίτητα για την μελέτη και σχεδίαση ενός πλοίου και τα οποία βασίζονται στα μαθηματικά, την εφαρμοσμένη μηχανική και τη φυσική. Οι ορισμοί και οι μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση ενός πλοίου προσαρμόζονται στις ανάγκες και στα προβλήματα της συγκεκριμένης εφαρμογής με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μία μοναδική μεθοδολογία σχεδίασης και θεωρητικής γεωμετρικής απόδοσης των στοιχείων του πλοίου τα οποία καλούμαστε να τεκμηριώσουμε. Ωστόσο, η γνώση των παρακάτω παραμέτρων κρίνεται χρήσιμη για την κατανόηση της σπουδαιότητας της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των επιφανειών του πλοίου.

2.1 Γενική σχεδίαση πλοίου

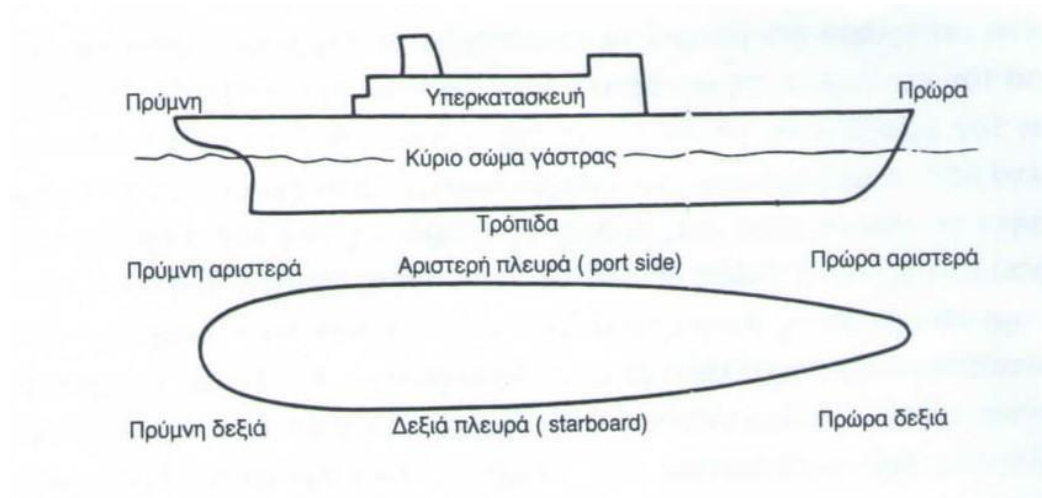
Η σχεδίαση των πλοίων πρέπει να γίνεται με βάση τις τεχνικές ιδιότητες που θα αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες και απαιτήσεις των ενδιαφερόμενων μελών και να στοχεύει στο κατά το δυνατόν πιο άρτιο και κερδοφόρο αποτέλεσμα. Για να καθοριστούν οι διαστάσεις του πλοίου χρειάζεται να υπολογισθεί τόσο η γνώμη του κατόχου του όσο και τη γεωγραφική περιοχή στην οποία θα βρίσκεται και θα εκτελεί αποστολές. Επιπροσθέτως, χρειάζεται πριν την έναρξη σχεδίασης του πλοίου να υπάρχει μέριμνα σχετικά με την επιθυμητή ταχύτητα που θα μπορεί να αναπτύξει, το είδος και το μέγεθος του φορτίου, αλλά και τις αποστάσεις που θα χρειάζεται να ολοκληρώνει. Τέλος, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν οι ισχύοντες νόμοι σχετικά με το κράτος στο οποίο έχει ναυπηγηθεί καθώς και με τη χρήση του.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά τμήματα ενός πλοίου:

Γάστρα: ορίζεται το μέρος του πλοίου το οποίο είναι εντός του ύδατος και αποτελεί το ζωντανό τμήμα των πλοίων ενώ αλλιώς μπορεί να ονομαστεί **καρένα** και **ύφαλα**. Από γεωμετρικής απόψεως θεωρείται ως ένα κοίλο σώμα, καμπύλο σε όλες τις κατευθύνσεις, καλυμμένο με ένα υδατοστεγές κατάστρωμα (Σχήμα 2.1).

Πλώρη: ονομάζεται το μπροστινό μέρος του πλοίου ή οποιουδήποτε σκάφους (Σχήμα 2.1).

Πρύμνη: ονομάζεται το πίσω μέρος του πλοίου όπου και αρχίζει η σύγκλιση των πλευρών μέχρι που ενώνονται (Σχήμα 2.1).



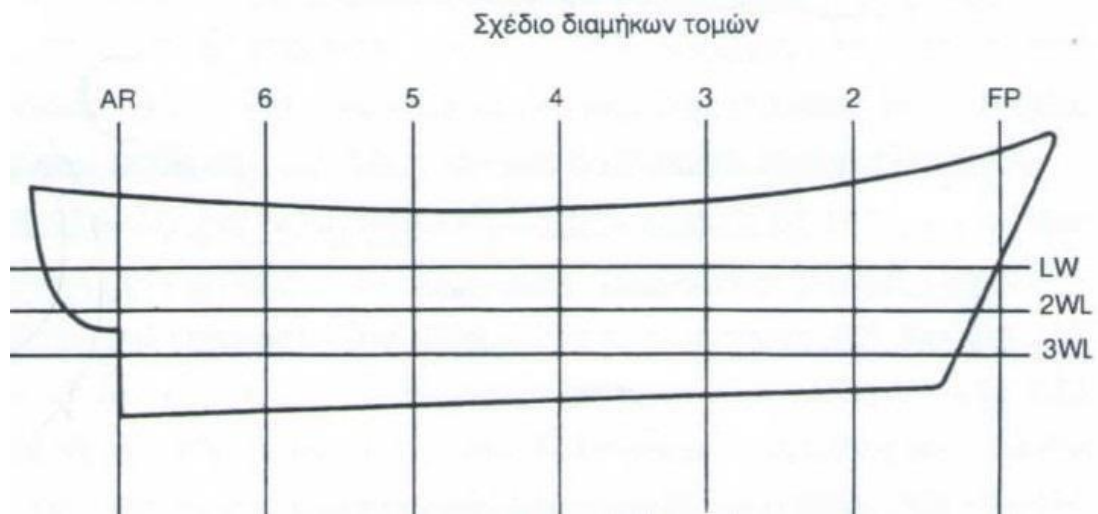
Σχήμα 2.1: Βασικά τμήματα ενός πλοίου (πηγή: K.J. Rawson & E. C. Tupper).

Ίσαλος γραμμή (Water line): καλείται η τομή της επιφάνειας της θάλασσας (όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας) με την επιφάνεια της γάστρας (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003). Είναι αυτονόητο ότι η ίσαλος γραμμή είναι οριζόντια. Ανάλογα με το φορτίο του σκάφους, προκύπτει μικρότερη ή μεγαλύτερη βύθιση του σκάφους, με αποτέλεσμα την δημιουργία των αντίστοιχων ίσαλων, πάντα παράλληλων μεταξύ τους.

Τρόπιδα: είναι το κατώτερο μέρος του πλοίου, πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ναυπήγηση αυτού. Στα μεγάλα μεταλλικά πλοία, αποτελείται από μια σειρά ελασμάτων

στο κεντρικό πυθμένα με πάχος μεγαλύτερο από αυτό των υπόλοιπων ελασμάτων του εξωτερικού περιβλήματος και είναι κατά κανόνα επίπεδη. Στα μικρά πλοία – ξύλινα , πλαστικά ακόμη και μεταλλικά – αποτελείται από δοκό ξύλινη ή μεταλλική ή πλαστική ιδιοκατασκευή και ονομάζεται όρθια τρόπιδα (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003) (Σχήμα 2.1).

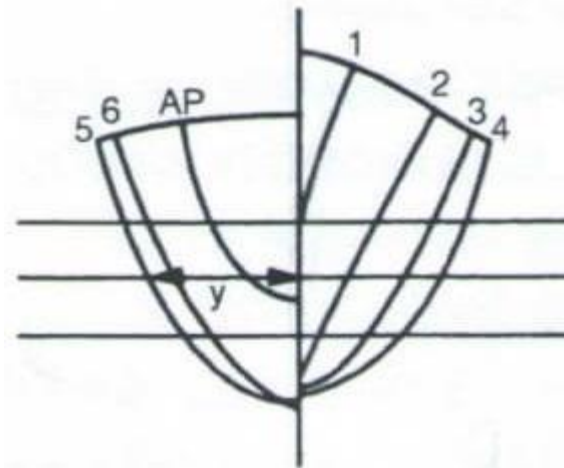
Τα περισσότερα πλοία έχουν ένα μόνο επίπεδο συμμετρίας, που ονομάζεται διάμηκες επίπεδο συμμετρίας το οποίο και θεωρείται ως το βασικό επίπεδο αναφοράς. Ως **σχέδιο διαμήκων τομών** (Σχέδιο 2.2.) ορίζεται το σχήμα ενός πλοίου που προκύπτει από τομές παράλληλες σε αυτό το επίπεδο (K.J. Rawson & E. C. Tupper, 1968).



Σχέδιο 2.2 : Σχέδιο διαμήκων τομών του πλοίου (πηγή: K.J. Rawson&E. C. Tupper, 1968).

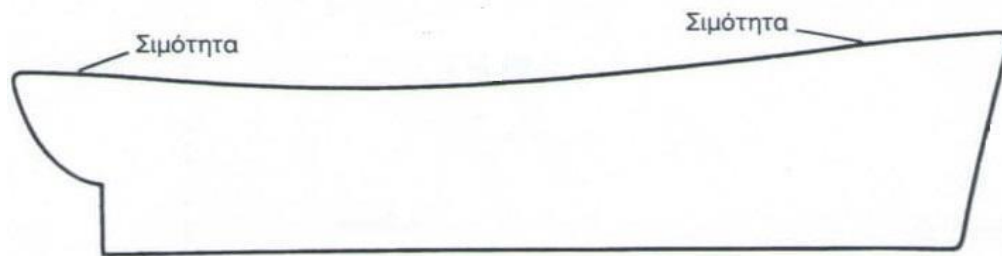
Εγκάρσιες τομές τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη σχηματίζουν ένα **σχέδιο εγκάρσιων τομών** (Σχέδιο 2.3), στο οποίο κατά σύμβαση , όταν οι τομές είναι συμμετρικές, δείχνονται οι προωαίες τομές στη δεξιά πλευρά του άξονα συμμετρίας και οι πυρμναίες τομές στην αριστερή (K.J. Rawson & E. C. Tupper, 1968).

Σχέδιο εγκάρσιων τομών (νομέων)



Σχέδιο 2.3 : Σχέδιο εγκάρσιων τομών του πλοίου (πηγή: K.J. Rawson&E. C. Tupper, 1968).

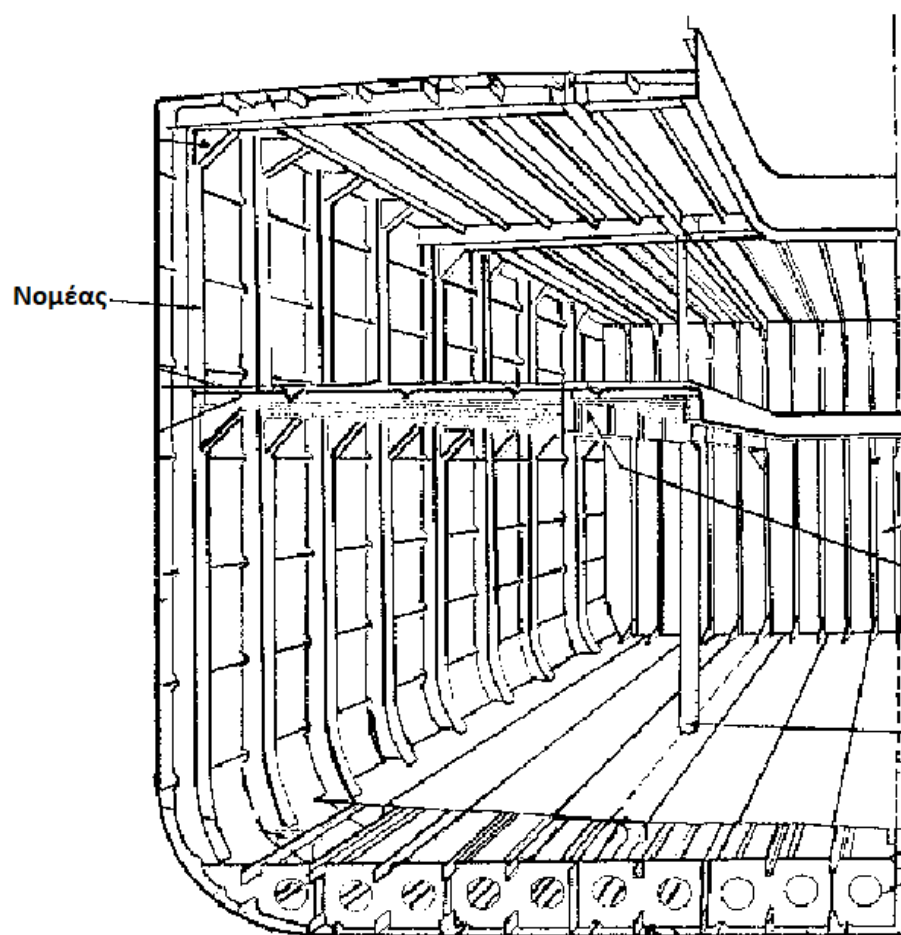
Σιμότητα: Η καμπυλότητα κατά το διάμηκες ονομάζεται σιμότητα και είναι στραμμένη προς τα άνω ώστε να απομακρύνεται το νερό από το πρωραίο και πρυμναίο άκρο του καταστρώματος και να διοχετεύεται προς το μέσον του πλοίου (Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2010) (Σχήμα 2.4). Για κατασκευαστικούς λόγους, σε πλοία με μεγάλο παράλληλο σώμα όπως δεξαμενόπλοια αλλά και φορτηγά πλοία, το μεσαίο τμήμα του σκάφους κατασκευάζεται χωρίς σιμότητα και το κατάστρωμα ανυψώνεται ευθύγραμμα μόνο στα άκρα.



Σχέδιο 2.4 : Σιμότητα του πλοίου (πηγή: K.J. Rawson&E. C. Tupper).

Επιφάνεια αναφοράς ή αλλιώς molded surface: ορίζεται ένας νοερός χώρος του οποίου η χρήση είναι ο καθορισμός του συνόλου των διαστάσεων ενός πλοίου. Για τα πλοία τα οποία είναι κατασκευασμένα από χάλυβα ως επιφάνεια αναφοράς λειτουργεί η εξωτερική πλευρά των στοιχείων που ενισχύουν και στελεχώνουν τον σκελετό του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, δεν προσμετράτε το πάχος που έχουν τα ελάσματα που βρίσκονται στο εξωτερικό περίβλημα. Επίσης, τα πλοία που είναι κατασκευασμένα από χάλυβα έχουν ως επιφάνεια αναφοράς την διερχόμενη εκ των άνω πλευρών και το έλασμα της τρόπιδας. Τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί από ξύλο ή πλαστικό που προέρχεται από ναυπηγεία, χρησιμοποιούν για επιφάνεια αναφοράς όχι την εσωτερική αλλά την έξω πλευρά των επενδύσεων, δηλαδή την δομή του πάχους που έχει το περίβλημα από έξω (J. K. Paik, A. K. Thayamballi, 2007).

Νομείς: Είναι δοκάρια (χαλύβδινα στα σιδερένια πλοία) με διατομή συνήθως σχήματος «L» ή «T», τα οποία τοποθετούνται κατακόρυφα στις πλευρές του πλοίου, παράλληλα μεταξύ τους σε μια απόσταση 40 μέχρι 60 εκατοστών και εκτείνονται σε όλο το μήκος του σκάφους (Σχήμα 2.5). Οι νομείς, μαζί με τα ενισχυτικά δοκάρια του πυθμένα αποτελούν το σκελετό του σκάφους πάνω στον οποίο (εξωτερικά δηλαδή από τους νομείς) προσαρτώνται και στηρίζονται οι λαμαρίνες του εξωτερικού περιβλήματος. Επειδή είναι πάρα πολλοί, αριθμούνται (συνήθως αρχίζοντας από πρύμνη προς τη πλώρη) για να είναι εύκολη η αναγνώριση τους. Με βάση δε την αρίθμηση των νομέων, προσδιορίζεται εύκολα και η θέση ενός συγκεκριμένου χώρου ή τμήματος του πλοίου.



Σχέδιο 2.5: Διαμήκης και εγκάρσια ενίσχυση σκάφους με υπόφραγμα (πηγή: www.pischools.gr/lessons/tee/maritime).

2.2 Αποτύπωση πλοίου

Σε παλιότερες περιόδους, αρκετές φορές δεν υπήρχαν σχέδια πλοίων, καθότι οι κατασκευαστές τους τα έφτιαχναν έχοντας ως μόνη βοήθεια την εμπειρία τους. Στη σύγχρονη εποχή, όμως, όπου υπάρχει μεγάλη απαίτηση δεδομένων σε κάθε εργασιακό τομέα, έτσι και στη Ναυπηγική είναι απαραίτητη η ύπαρξη σχεδίων σε έντυπη ή/και ψηφιακή μορφή. Ιδιαίτερα, η ύπαρξη ψηφιακών μοντέλων βοηθά περισσότερο στην ανάγνωση, κατανόηση και επεξεργασία των δεδομένων και γεωμετρικών στοιχείων του αντικειμένου.

Στη Ναυπηγική υπάρχουν πλέον διάφοροι λόγοι για να αποτυπωθεί ένα σκάφος. Οι λόγοι που σχετίζονται με την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η εξαγωγή σχεδίων πλοίων, η αποκατάσταση ζημιών λόγω ατυχήματος και τέλος η παρακολούθηση παραμορφώσεων τόσο στη γάστρα όσο και στις πλευρές των πλοίων. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι η αποτύπωση πλοίων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και σε περιπτώσεις παραδοσιακών σκαφών, για τα οποία δεν υπάρχουν σχέδια, γιατί καθίσταται δυνατή η **επανα-παραγωγή τους για εμπορικούς λόγους**, αλλά ακόμα καταγράφεται και διατηρείται η **πολιτιστική κληρονομιά**, της οποίας τα παλαιά σκάφη είναι μέρος.

Απαραίτητο εργαλείο για την αποτύπωση ενός πλοίου αποτελεί το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών. Είναι ένα σχέδιο πάνω στο οποίο μεταφέρονται τα ίχνη των επιπέδων που τέμνουν τη γάστρα και τα επίπεδα που επιλέγονται περιγράφουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη γεωμετρία της επιφάνειας του πλοίου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρεις κατηγορίες στις οποίες ανήκουν τα επίπεδα αυτά:

1^η Κατηγορία

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από επίπεδα παράλληλα προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, δηλαδή κατακόρυφα διαμήκη επίπεδα. Τα ίχνη των τομών αυτών επιπέδων – γάστρας, απεικονίζονται σαν προβολές στο επίπεδο συμμετρίας και ονομάζονται διαμήκεις ναυπηγικές γραμμές ή κάθετοι “Longitudinal lines or Buttock lines or vertical lines” (Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2010). Το επίπεδο αυτό συμπίπτει με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και αποτελεί το διάμηκες περίγραμμα ή προφίλ του πλοίου. Λόγω της συμμετρικότητας του σκάφους οι διαμήκεις γραμμές του δεξιού τμήματος του πλοίου συμπίπτουν με τις αντίστοιχες του αριστερού τμήματος και ισαπέχουν μεταξύ τους (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003) (Σχήμα 2.6).

2^η Κατηγορία

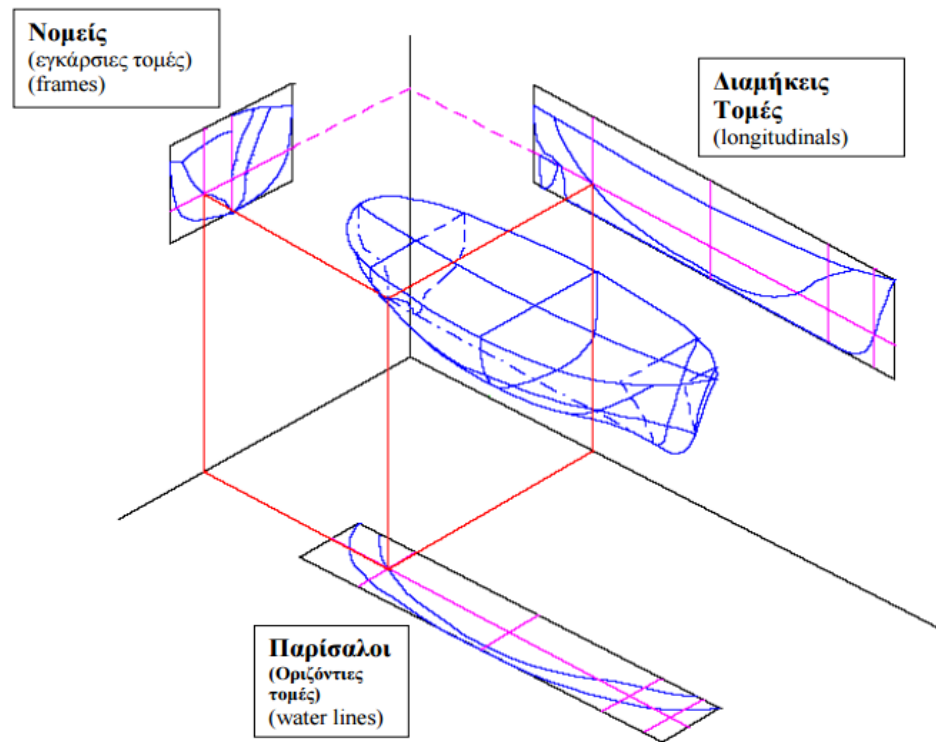
Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από επίπεδα παράλληλα προς την ίσαλο σχεδίασης δηλαδή από οριζόντια επίπεδα. Τα ίχνη των τομών των οριζόντιων αυτών επιπέδων γάστρας, απεικονίζονται σαν προβολές της αριστερής πλευράς του πλοίου πάνω σε ένα οριζόντιο επίπεδο και ονομάζονται οριζόντιες ναυπηγικές γραμμές ή παρίσαλοι ή ίσαλοι “water lines”. Οι παρίσαλοι ισαπέχουν μεταξύ τους και ο αριθμός των ισαποστάσεων είναι όπως και στη περίπτωση των διαμήκων τομών (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003) (Σχήμα 2.6).

3^η Κατηγορία

Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από εγκάρσια κατακόρυφα επίπεδα, δηλαδή κάθετα στο επίπεδο συμμετρίας και στην ίσαλο σχεδίασης. Τα ίχνη των τομών των εγκάρσιων αυτών επιπέδων-γάστρας, απεικονίζονται ως προβολές, πάνω σε ένα εγκάρσιο επίπεδο και ονομάζονται εγκάρσιες ναυπηγικές γραμμές ή γραμμές νομέων “Frames lines” (Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2010) (Σχήμα 2.6).

Επίσης, οι ναυπηγικές γραμμές εκτός από τον προσδιορισμό του σχήματος του σκάφους, χρησιμοποιούνται και για τον υπολογισμό του εκτοπίσματος, της ευστάθειας, της κατάκλισης, της αντίστασης κατά του πλουν κ.λ.π. Τέλος, χρησιμεύουν για τη χάραξη και συναρμολόγηση των ελασμάτων και των μορφοσιδήρων στη προπαρασκευή καθώς επίσης, και για τη συναρμολόγηση των τομέων στην ανέγερση του σκάφους (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003).

Συνοψίζοντας από τις παραπάνω 3 κατηγορίες προκύπτει το ακόλουθο σχέδιο:



Σχήμα 2.6: Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών (πηγή: Α.Πουλής& Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής).

2.3 Επικρατούσες διαστάσεις

Συνολικά, οι κύριες διαστάσεις ενός πλοίου είναι οι ακόλουθες:

Ολικό ή μέγιστο μήκος: Είναι η απόσταση μεταξύ του ακρότατου σημείου της πλώρας και του ακρότατου σημείου της πρύμνης εσωτερικά του περιβλήματος, μετρούμενη παράλληλα προς τη BL (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003).

Ολικό πλάτος: Είναι η απόσταση μεταξύ των ακρότατων σημείων της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των προεξοχών (Α. Πουλής & Γ.Κ. Χατζηκωνσταντής, 2003).

Ύψος: Είναι το σύνολο των διαστάσεων οι οποίες προσδιορίζονται μέσα από την δομή του κατακόρυφου άξονα.

Βύθισμα: Είναι το ύψος του τμήματος του πλοίου που βρίσκεται μέσα στο νερό, δηλαδή η κάθετη απόσταση που μετριέται από το κατώτερο σημείο της τρόπιδας μέχρι την ίσαλο επιφάνεια. Η εύρεση του βυθίσματος αποτελεί μια εύκολη διαδικασία καθώς υπάρχουν χαραγμένες ενδείξεις (σε μέτρα ή πόδια) στη μέση του πλοίου, αριστερά και δεξιά ακριβώς δίπλα από τη σήμανση των γραμμών φόρτωσης, καθώς επίσης και στην πλώρη, αριστερά και δεξιά.

2.4 Μορφή του πλοίου

Η εξωτερική επιφάνεια του πλοίου δεν έχει μια απλή κανονική μορφή που να μπορεί να εκφραστεί αποκλειστικά και μονοσήμαντα με ένα ή περισσότερους αριθμούς και το χαρακτηρισμό κάποιου σχήματος, όπως συμβαίνει με τα συνηθισμένα επίπεδα γεωμετρικά σχήματα. Η ακριβής περιγραφή γίνεται μέσω των ναυπηγικών γραμμών.

Η μορφή της γάστρας ενός πλοίου αποτελεί βασικό δεδομένο για τη σχεδίαση και τη λειτουργία του. Έτσι, η ευστάθειά του, η αντίστασή του, η συμπεριφορά του σε κυματισμούς καθώς και άλλες ιδιότητες του συνδέονται άμεσα με την εξωτερική μορφή της γάστρας του.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε ήδη η μορφή της γάστρας δεν αντιστοιχεί σε κάποιο κανονικό γεωμετρικό σχήμα. Επομένως, η περιγραφή της δεν μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων κυρίων διαστάσεων. Ο ισχυρισμός αυτός μπορεί να διατυπωθεί και διαφορετικά: υπάρχουν άπειρες μορφές γάστρας πλοίων που έχουν τις ίδιες κύριες διαστάσεις και εν τούτοις είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους.

Για την απεικόνιση της μορφής της γάστρας απαιτείται η χάραξη του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών (lines plan). Οι γραμμές αυτές αποτελούν διάφορες τομές της επιφάνειας της γάστρας με τα επίπεδα του. Έτσι, προκύπτουν τα εξής επιμέρους σχέδια:

- σχέδιο διαμήκων τομών (sheer plan), το οποίο αντιστοιχεί στην πλάγια όψη.
- σχέδιο ισάλων (half breadth plan), το οποίο αντιστοιχεί στην κάτωψη.
- σχέδιο εγκαρσίων τομών (body plan), που αντιστοιχεί στην πρόσοψη.

Για τη χάραξή τους απαιτούνται τα εξής δεδομένα:

- οι κύριες διαστάσεις του πλοίου.
- πίνακας συντεταγμένων ή ημι-πλατών (table of offsets) διαφόρων εγκαρσίων τομών της επιφάνειας που ονομάζονται σταθμοί ή θεωρητικοί νομείς.
- στοιχεία περιγραφής των περιγραμμάτων της πλώρας, της πρύμνης, της τρόπιδας και των καταστρωμάτων.

Δεδομένου ότι η εξωτερική επιφάνεια της γάστρας είναι μια ομαλή επιφάνεια, το ίδιο ισχύει και για την τομή της με οποιοδήποτε επίπεδο. Στην παραπάνω παρατήρηση βασίζεται και η διαδικασία σχεδίασης των ναυπηγικών γραμμών (μη ψηφιακής). Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται λεπτές λωρίδες από ξύλο ή συνθετικό υλικό, με επαρκή αντοχή και μεγάλη ελαστικότητα που λέγονται τερίζια (battens). Τα τερίζια στερεώνονται πάνω στο χαρτί σχεδίασης με τη βοήθεια ειδικά διαμορφωμένων χυτοσιδηρών ή μολύβδινων βαριδίων. Επιπλέον, στο σχέδιο εγκαρσίων τομών χρησιμοποιούνται και ειδικά ναυπηγικά καμπυλόγραμμα.

Μετά τη χάραξή τους, οι ναυπηγικές γραμμές ελέγχονται για την ομαλότητά τους και τη συμβατότητα στις τρεις όψεις του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών. Η ομαλότητά τους ελέγχεται με τα τερίζια, ενώ η συμβατότητα διαπιστώνεται με τη σύγκριση των συντεταγμένων μιας σειράς σημείων στις τρεις όψεις. Είναι προφανές ότι κάθε σημείο της γάστρας πρέπει να έχει τις ίδιες συντεταγμένες και στις τρεις όψεις. Για τη μεταφορά μηκών χρησιμοποιούνται λωρίδες χαρτιού. Η παραπάνω διαδικασία καλείται εξομάλυνση.

2.5 Μεταλλικές κατασκευές και φορτίσεις

Όλες οι διαδικασίες από το σχεδιαστικό στάδιο, το στάδιο ανέγερσης αλλά και το κατασκευαστικό είναι απαραίτητο να διεξάγονται με ασφαλείς τρόπους ώστε να καλύπτεται σε ικανοποιητικό βαθμό η προσδοκία που έχει δημιουργηθεί από το στάδιο προμελέτης του πλοίου. Ο τρόπος κατασκευής του πλοίου θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις δράσεις που χρειάζεται να καλύψει κατά το χρονικό διάστημα που θα είναι λειτουργικό. Ο έλεγχος του πλοίου γίνεται υπό οριακές συνθήκες καθώς καλείται να αντιμετωπίσει δύσκολες καταστάσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας του. Οι συνθήκες αυτές αφορούν τις αστοχίες που προκύπτουν υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας (Service ability Limit State), τις οριακές συνθήκες στις οποίες υποβάλλεται (Ultimate Limit State), την εμφάνιση ρωγμών κόπωσης Fatigue Limit State- FLS καθώς και δομικές βλάβες που οφείλονται σε ατυχήματα Accidental Limit State -ALS. Παρακάτω γίνεται ανάλυση αυτών των συνθηκών, πιο συγκεκριμένα έχουμε:

1. Την οριακή κατάσταση ικανοτήτων υπηρεσίας (Service Ability Limit State-SLS)

Το SLS συμβατικά αντιπροσωπεύει αστοχίες υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας που οφείλονται στην αλλοίωση λιγότερο ζωτικών λειτουργιών όπως:

- Τοπική ζημιά που μπορεί να μειώσει την αντοχή της κατασκευής ή να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των δομικών ή μη δομικών στοιχείων.
- Μη αποδεκτές παραμορφώσεις που επηρεάζουν την αποτελεσματική χρήση των δομικών ή μη δομικών στοιχείων ή τη λειτουργία του εξοπλισμού.
- Υπερβολική δόνηση ή θόρυβος που προκαλεί δυσφορία για τους ανθρώπους ή επηρεάζει μη δομικά στοιχεία ή τη λειτουργία του εξοπλισμού.
- Παραμορφώσεις και εκτροπές που μπορεί να χαλάσουν την αισθητική εμφάνιση της κατασκευής.

2. Την απόλυτη κατάσταση ορίου (Ultimate Limit State- ULS)

Η απόλυτη κατάσταση ορίου αντιπροσωπεύει την κατάρρευση της δομής λόγω απώλειας δομικής ακαμψίας και αντοχής και σχετίζεται με:

- Την απώλεια της ισορροπίας σε μέρος ή σε ολόκληρη τη δομή, θεωρείται ως άκαμπτο σώμα (π.χ. ανατροπή).
- Την επίτευξη του ανώτατου ορίου αντοχής τμημάτων, μελών ή συνδέσμων σε ακαθόριστη απόσπαση με αποτέλεσμα την ρήξη ή την θραύση.
- Αστάθεια σε μέρος ή σε ολόκληρη τη δομή που προκύπτει από λυγισμό ή πλαστική θραύση της επιμετάλλωσης, των ενισχυμένων πάνελ καθώς και μελών υποστήριξης.

3. Το Fatigue Limit State- FLS

Το FLS αντιπροσωπεύει την εμφάνιση ρωγμών κόπωσης στις δομικές λεπτομέρειες λόγω συγκέντρωσης τάσεων και ρωγμών τη συσσώρευση ζημιών υπό την επανάληψη φόρτωση.

4. Την τυχαία οριακή κατάσταση (Accidental Limit State -ALS)

Το ALS αντιπροσωπεύει υπερβολική βλάβη ως αποτέλεσμα ατυχημάτων, π.χ., συγκρούσεις, εκρήξεις και πυρκαγιές, που επηρεάζουν την ασφάλεια τόσο της δομής όσο και του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Η φωτογραμμετρία έχει οριστεί ως η επιστήμη εκείνη που χρησιμοποιεί διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων, αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον. Αποσκοπεί στην μελέτη και καθορισμό του σχήματος, των διαστάσεων και της θέσης, οποιουδήποτε αντικειμένου στον χώρο με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες φωτογραφίες του αντικειμένου αυτού (Πατιάς, 1994). Ο όρος φωτογραμμετρία αναφέρεται λοιπόν σε ένα σύνολο τεχνικών που στοχεύουν στον κατά το δυνατόν πιστότερο γεωμετρικό προσδιορισμό της μορφολογίας αντικειμένων του τρισδιάστατου χώρου από μετρήσεις σε εικόνες (Πέτσα, 2000).

Η δυνατότητα της χρήσης της εικόνας για μετρητικούς σκοπούς στηρίζεται στο γεγονός ότι η σχέση του αντικειμένου στον χώρο και στην εικόνα μπορεί να εκφραστεί μέσω μαθηματικών σχέσεων. Κατά συνέπεια ακριβείς μετρήσεις στην εικόνα μπορούν να αναχθούν σε μετρήσεις του χώρου. Καθώς όμως η φωτογραφία απεικονίζει τρισδιάστατα αντικείμενα σε δυο διαστάσεις, πληροφορίες από μία φωτογραφία δεν μπορούν να προσδιορίσουν επαρκώς τον χώρο της τρίτης διάστασης. Ο προσδιορισμός του χώρου αυτού, επιτυγχάνεται με την λήψη και κατάλληλη συσχέτιση δύο ή περισσότερων επικαλυπτόμενων φωτογραφιών, χρησιμοποιώντας την αρχή της στερεοσκοπικής όρασης. Η φωτογραμμετρία έτσι χρησιμοποιεί την ίδια αρχή που χρησιμοποιεί και ο άνθρωπος, δηλαδή μέσω δύο εικόνων του ίδιου αντικειμένου που έχουν ληφθεί από δυο διαφορετικά σημεία, προσδιορίζει τον τρισδιάστατο χώρο κατ' αντιστοιχία με την ανθρώπινη όραση (Μπαντέκας, 1980).

Τα βήματα που ακολουθεί μία τυπική διαδικασία φωτογραμμετρικής αποτύπωσης παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.1: Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής μεθόδου.

Ακολουθεί μία ανάλυση της παραπάνω εικόνας. Αρχικά είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός που θα πετύχει με βεβαιότητα, ότι οι εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν, πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για τον σκοπό της απόδοσης. Το δεύτερο στάδιο είναι η συλλογή δεδομένων, δηλαδή η λήψη των φωτογραφιών. Οι εικόνες μαζί με συντεταγμένες σημείων ελέγχου αποτελούν τα βασικά δεδομένα για την έναρξη της επεξεργασίας, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό γεωδαιτικών ή τοπικών συντεταγμένων X, Y, Z επί των εικόνων. Τα προϊόντα που προκύπτουν αποθηκεύονται, με προοπτικές είτε

να σχεδιαστούν είτε να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία για την δημιουργία επιπλέον προϊόντων.

Όλα τα βήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου ορίζουν τα δικά τους προβλήματα και αξίζει να αναφερθούν. Για παράδειγμα στο στάδιο του σχεδιασμού είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη ο τύπος της φωτογραφικής μηχανής, οι διαστάσεις του αντικειμένου, η απαιτούμενη ακρίβεια. Τα προβλήματα που τίθενται στο στάδιο της συλλογής δεδομένων, σχετίζονται με τις λήψεις των φωτογραφιών είτε είναι αεροφωτογραφίες, είτε επίγειες ή ακόμη και δορυφορικές. Επίσης, υπάρχουν διαφορές στον τρόπο χειρισμού των επαγγελματικών φωτογραφικών μηχανών σε σχέση με τις ερασιτεχνικές. Η λήψη των συντεταγμένων και η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, επιλέγοντας το κατάλληλο λογισμικό.

Συμπερασματικά, η δημιουργία και απόδοση ενός τρισδιάστατου μοντέλου αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία που εμπεριέχει πολλές παραμέτρους αλλά και σφάλματα.

3.2 Χαρακτηριστικά φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία, ως επιστήμη συλλογής στοιχείων από τον φυσικό κόσμο έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων όπως η Τοπογραφία και η Γεωδαισία. Ωστόσο η σημαντική διαφορά της από αυτές είναι ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι έμμεσες και γίνονται πάνω σε κάποιο μέσο, όπου αποτυπώνεται ο φυσικός κόσμος και όχι απευθείας στον ίδιο το φυσικό κόσμο. Αυτή είναι και η αιτία, από την οποία πηγάζουν τα κύρια πλεονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας (Πέτσα, 2003).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Θεωρείται μια από τις ταχύτερες διαδικασίες αποτύπωσης.
- Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη σκαριφημάτων – προϋπαρχόντων σχεδίων.
- Δεν είναι απαραίτητη η επαφή με τα προς αποτύπωση αντικείμενα.
- Ο εξοπλισμός κυμαίνεται από χαμηλό έως μέτριο κόστος.
- Επιτυγχάνεται διαβαθμισμένη γεωμετρική πιστότητα της απεικονιζόμενης περιοχής.
- Υπάρχει η δυνατότητα λήψης μεγάλου αριθμού σημείων αποτύπωσης.
- Η αποτύπωση μπορεί να γίνει ως επί το πλείστον στο γραφείο.
- Υπάρχει περιθώριο ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια.
- Τα προϊόντα περιέχουν στοιχεία εικόνων οι οποίες διευκολύνουν την ανθρώπινη αντίληψη.
- Επιτυγχάνεται παράλληλη καταγραφή ποσοτικής και ποιοτικής πληροφορίας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η επεξεργασία των αλγορίθμων απαιτεί αυξημένους υπολογιστικούς πόρους.
- Η μεθοδολογία συλλογής δεδομένων εξαρτάται από τις καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Υπάρχουν αρκετές πηγές σφαλμάτων κατά την διάρκεια συλλογής δεδομένων.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες τοπογραφικές εργασίες (στις περιπτώσεις χρήσης φωτοσταθερών).

3.3 Σημαντικοί σταθμοί στην εξέλιξη της φωτογραμμετρίας

Η εξέλιξη της Φωτογραμμετρίας περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω:

- 350 π.Χ.: ο Αριστοτέλης αναφέρει την αρχή λειτουργίας του σκοτεινού θαλάμου και θέτει τα θεμέλια της προβολικής γεωμετρίας.
- 15^{ος} αιώνας: ο Leonardo da Vinci αναφέρει σχέσεις προοπτικής απεικόνισης και γραφικούς τρόπους επίλυσης.
- 1851: κατασκευή και εφαρμογή της πρώτης μετρικής κάμερας σε τοπογραφικές αποτυπώσεις από τον A. Laussedat (‘‘Metrographie’’) που θεωρείται ο πατέρας της Φωτογραμμετρίας.
- 1903: κατασκευάζεται ο πρώτος χάρτης με την βοήθεια αεροφωτογραφιών (από αερόστατο) από S. Finsterwalder, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται η θεωρία του προσανατολισμού ζεύγους φωτογραφιών.

3.4 Εφαρμογές της φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία ως επιστήμη έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών καθώς ακολουθεί μια γρήγορη και οικονομική μεθοδολογία. και δεν απαιτείται επαφή με το αντικείμενο προς μέτρηση. Μερικές από τις σχετικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Τοπογραφία, Χαρτογραφία (αποτυπώσεις, φωτογραμμετρικά διαγράμματα, παραγωγή χαρτών, κτηματολόγιο).
- Μελέτες και κατασκευές έργων (σχεδιασμός και μελέτη δρόμων, φραγμάτων, έλεγχος μικρομετακινήσεων των κατασκευών).
- Γεωλογία, Γεωργία, Δασολογία (μελέτη πετρωμάτων, εξορύξεις ορυκτών).
- Αρχαιολογία (αποτυπώσεις ανασκαφών και μελέτες αρχαιολογικών χώρων, αποτυπώσεις αγαλμάτων, αγγείων και γενικά αρχαιολογικών ευρημάτων).
- Περιβάλλον (ειδικές χρήσεις υπέρυθρων και θερμικών απεικονίσεων για μελέτες της ατμόσφαιρας, των υδάτινων πόρων και του εδάφους).

- Πρόληψη και αποτίμηση φυσικών καταστροφών, (μελέτες σχετικές με πυρκαγιές, σεισμούς, παγετούς, ηφαίστεια).
- Ιατρική.
- Σύγχρονα συστήματα ασφαλείας.

3.5 Επίγεια φωτογραμμετρία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση επίγειας φωτογραμμετρίας με κάποια παραλλαγμένη μεθοδολογία. Ο όρος επίγεια φωτογραμμετρία, έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά σε συστήματα αποτύπωσης και χαρτογράφησης μέσω φωτογραφιών που λαμβάνονται με τη βοήθεια επίγειων σταθμών. Σε μία τυπική διαδικασία επίγειας φωτογραμμετρίας η κάμερα τοποθετείται σε ένα τρίποδο και ο άξονας της προσανατολίζεται σε οριζόντιο επίπεδο. Η επίγεια φωτογραμμετρία ιστορικά ταξινομείται περαιτέρω στους παρακάτω τομείς (US Army Corps of Engineers, 2002; Seker και Duran):

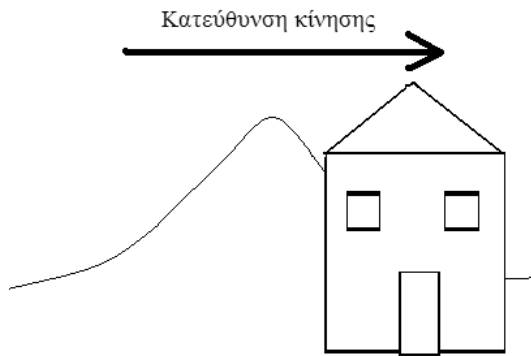
- Φωτογραμμετρία κοντινής εμβέλειας (close-range photogrammetry), στην περίπτωση που η απόσταση κάμερας-αντικειμένου είναι κάπου μεταξύ 1:10 m έως 100 m.
- Μακροφωτογραμμετρία (macrophotogrammetry), στην περίπτωση που η απόσταση κάμερας-αντικειμένου είναι μεταξύ 0,10 και 0,01 m.
- Μικροφωτογραμμετρία (microphotogrammetry), στην περίπτωση που οι φωτογραφίες εκτίθενται μέσα από ένα μικροσκόπιο.

3.6 Βασικές έννοιες φωτογραμμετρίας

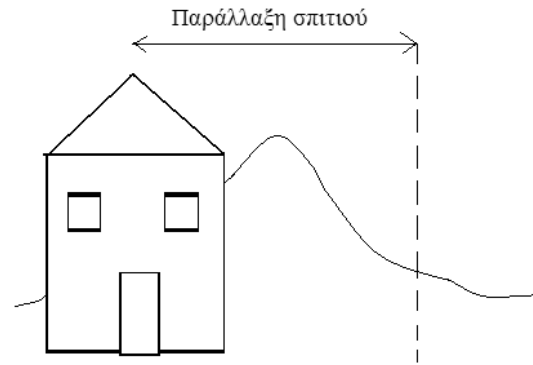
Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, του λεγόμενου στερεομοντέλου, από το οποίο μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες της γεωμετρίας του αντικειμένου που αποτυπώνεται, στηρίζεται σε βασικές έννοιες της Φωτογραμμετρίας. Στη συνέχεια παρατίθενται αυτές οι βασικές έννοιες και γίνεται συνοπτική ανάλυση αυτών, για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της μεθόδου που εφαρμόστηκε στη παρούσα εργασία.

3.6.1 Στερεοσκοπική παράλλαξη

Η διαφορά των θέσεων ενός σημείου σε δύο εικόνες χαρακτηρίζεται στην φωτογραμμετρία ως παράλλαξη του σημείου. Διαφορετικές εκτροπές στις δύο εικόνες λόγω διακυμάνσεων του ανάγλυφου δημιουργούν διαφορές παράλλαξης (Πέτσα, 2003). Πιο αναλυτικά η έννοια της παράλλαξης μπορεί να γίνει κατανοητή παρατηρώντας τα σχήματα 3.1 και 3.2, που μπορεί κανείς να τα δει ως δύο διαδοχικές φωτογραφίες που ελήφθησαν από έναν κινούμενο παρατηρητή. Στο σχήμα 3.1, το σπίτι, που είναι πιο κοντά στον παρατηρητή από τον ορεινό όγκο που είναι στο βάθος, εμφανίζεται στη δεξιά πλευρά της εικόνας. Στο βαθμό που ο παρατηρητής απομακρύνεται από το κοντινότερο σε αυτόν αντικείμενο, το βλέπει πλέον μετατοπισμένο προς την αριστερή πλευρά της εικόνας, ενώ ο απόμακρος ορεινός όγκος έχει μετατοπιστεί πολύ λίγο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής θέσης του κοντινού αντικειμένου, που μπορεί να προσδιοριστεί από τα σχήματα 3.1 και 3.2, είναι η **παράλλαξη** του αντικειμένου.



Σχήμα 3.1: Αρχική φωτογραφία που λαμβάνεται από κινούμενο παρατηρητή.



Σχήμα 3.2: Τελική φωτογραφία στην οποία φαίνεται η παράλλαξη του κοντινού αντικειμένου.

3.6.2 Προσανατολισμός απεικονίσεων

Στην Φωτογραμμετρία αναφερόμαστε σε δυο τύπους προσανατολισμού: στον εσωτερικό και στον εξωτερικό προσανατολισμό. Ο εσωτερικός αναφέρεται στην εσωτερική γεωμετρία της φωτομηχανής κατά τη στιγμή της λήψης της κάθε εικόνας ενώ ο εξωτερικός αναφέρεται στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και σε ένα αυθαίρετο ή μη επίγειο σύστημα αναφοράς. Τόσο ο εσωτερικός όσο και ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας ή ενός στερεοζεύγους μας είναι συνήθως άγνωστοι, ωστόσο πρέπει να προσδιοριστούν αν θέλουμε να εξάγουμε αξιόπιστη τρισδιάστατη πληροφορία από μετρήσεις σε φωτογραφίες.

3.6.2.1 Εσωτερικός προσανατολισμός

Σκοπός του εσωτερικού προσανατολισμού είναι να δημιουργηθεί μια σχέση μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων των εικονοστοιχείων και του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας. Η σχέση αυτή προσδιορίζεται κατά την διαδικασία βαθμονόμησης της κάμερας (<http://www.isprs.org>).

3.6.2.2 Εξωτερικός προσανατολισμός

Ο εξωτερικός προσανατολισμός αποτελεί τον μετασχηματισμό που συνδέει το σύστημα συντεταγμένων εδάφους με το σύστημα συντεταγμένων εικόνας. Ο εξωτερικός προσανατολισμός προσδιορίζει τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας κατά τη λήψη της εικόνας. Με άλλα λόγια, είναι η σχέση ανάμεσα στο έδαφος και την εικόνα (<http://www.pcigeomatics.com>). Ο εξωτερικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται με δύο φωτογραμμετρικές διαδικασίες: τον **σχετικό** και τον **απόλυτο** προσανατολισμό.

3.6.2.3 Σχετικός προσανατολισμός

Για τη δημιουργία του στερεοσκοπικού μοντέλου επιτυγχάνεται η στερεοσκοπική όραση και η ορθή τρισδιάστατη ανάπλαση του σχήματος του αντικειμένου χωρίς κλίμακα και προσανατολισμό. Η διαδικασία του σχετικού προσανατολισμού επιτυγχάνεται με την εύρεση και συσχέτιση συζυγών ή ομόλογων σημείων μεταξύ των απεικονίσεων, προσδιορίζοντας τη σχετική θέση τους κατά την στιγμή της λήψης.

3.6.2.4 Απόλυτος προσανατολισμός

Ο απόλυτος προσανατολισμός απαιτεί έναν επιτυχημένο εσωτερικό και σχετικό προσανατολισμό. Με τον απόλυτο προσανατολισμό αναφερόμαστε στη διαδικασία προσανατολισμού ενός στερεομοντέλου στο σύστημα συντεταγμένων, τοπικό ή γεωδαιτικό (Schenk T., 2005). Η συσχέτισή του με το γεωδαιτικό σύστημα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της κατάλληλης κλίμακας – μεγέθους και τον προσδιορισμό της απόλυτης πλέον θέσης του αντικειμένου. Η διαδικασία βασίζεται στη συσχέτιση σημείων στη φωτογραφία με γνωστές συντεταγμένες επί του εδάφους, που αποτελούν τα επίγεια σημεία ελέγχου (Ground Control Points- GCP).

3.6.3 Συνθήκη συγγραμμικότητας

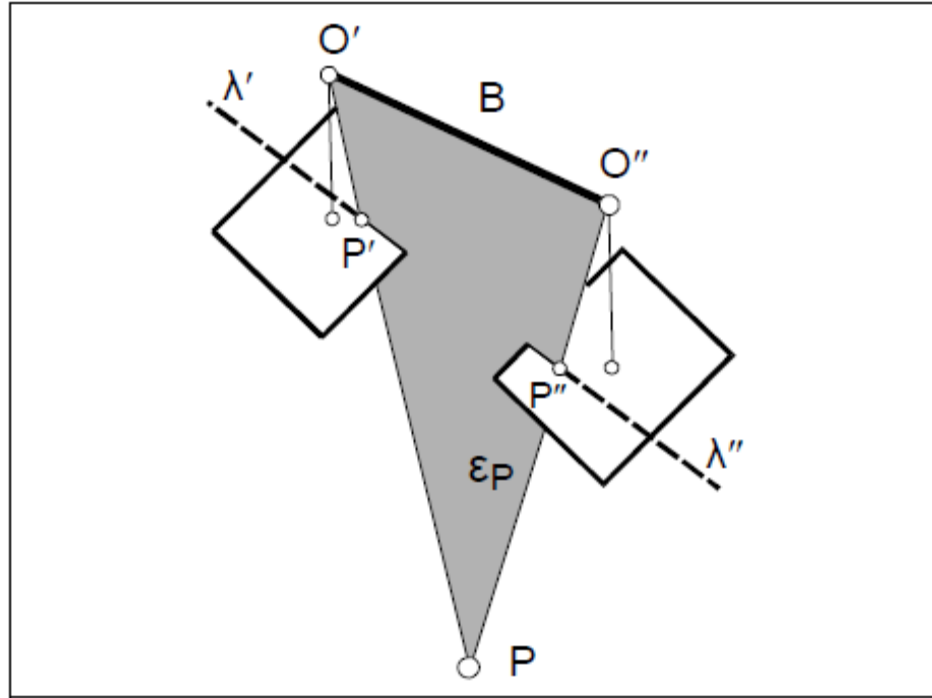
Στο σύστημα δέκτης - εικόνα - έδαφος, ο προσδιορισμός της θέσης μιας ακτίνας – ευθείας στον τρισδιάστατο χώρο, πραγματοποιείται μέσω της συνθήκης της συγγραμμικότητας που συνδέει σε μία ευθεία τη θέση ενός σημείου στην εικόνα, τη θέση του κέντρου προβολής του δέκτη, και τις συντεταγμένες του συγκεκριμένου σημείου στο χώρο.

3.6.4 Επιπολική γεωμετρία

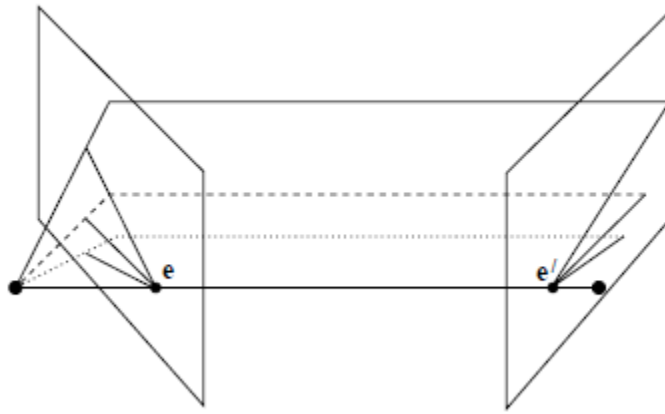
Τέλος γίνεται αναφορά στη συνθήκη της επιπολικής γεωμετρίας, με σκοπό την προσέγγιση της λειτουργίας των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την υπολογιστική βελτίωση των αλγορίθμων δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου.

Η επιπολική γεωμετρία αποτελεί άκρως σημαντικό ζήτημα για τη φωτογραμμετρία. Η έννοιά της περιγράφει την προβολική γεωμετρική σχέση που υπάρχει μεταξύ δύο εικόνων (Hartley&Zisserman, 2003). Για αυτό τον λόγο παρατίθενται οι παρακάτω έννοιες:

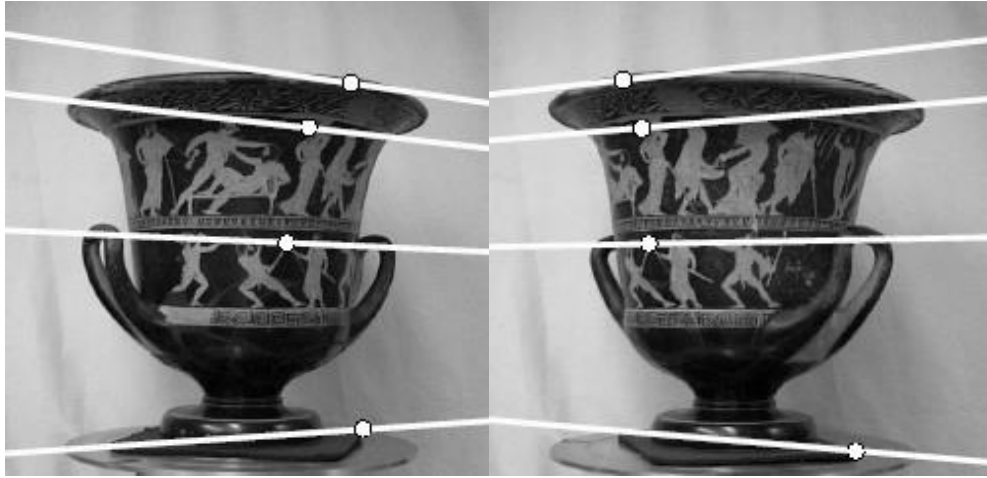
- Baseline: είναι η γραμμή που συνδέει τα δύο κέντρα των φωτογραφικών μηχανών (Derek Hoiem, 2011) (Σχήμα 3.3).
- Επιπολικές ευθείες: οι τομές του εP με τα επίπεδα των εικόνων ορίζουν τις επιπολικές ευθείες λ' και λ'' (Πέτσα, 2003) (Σχήμα 3.3).
- Επιπολικό επίπεδο: ορίζεται από την βάση B του στερεοζεύγους και τις ομόλογες ακτίνες προβολής $O'P'$, $O''P''$ (Πέτσα, 2003) (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Επιπολικό επίπεδο και επιπολικές ευθείες (Πέτσα, 2003).



Σχήμα 3.4: Επιπολική γεωμετρία για την σύγκλιση των φωτογραφικών μηχανών (Πηγή: www.robots.ox.ac.uk).



Εικόνα 3.5 και Εικόνα 3.6 (Πηγή: www.robots.ox.ac.uk).

Στις παραπάνω εικόνες περιγράφεται παραστατικά η έννοια της επιπολικής γεωμετρίας. Τα σημεία και οι επιπολικές γραμμές της αριστερής εικόνας 3.5 αντιστοιχούν με τα σημεία και τις επιπολικές γραμμές της δεξιάς εικόνας 3.6.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η γεωμετρική τεκμηρίωση των πλοίων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι στη ναυπηγική καθώς με τον τρόπο αυτό δίδεται η δυνατότητα καταγραφής τυχόν μεταβολών στη μορφή των πλοίων (π.χ. φυσιολογικές φθορές, προσθήκες) συνεπώς και της δυνατότητας παρέμβασης με σκοπό την αποκατάσταση, την προστασία και τη συντήρησή του.

4.1 Περιγραφή της πρώτης προσπάθειας αποτύπωσης

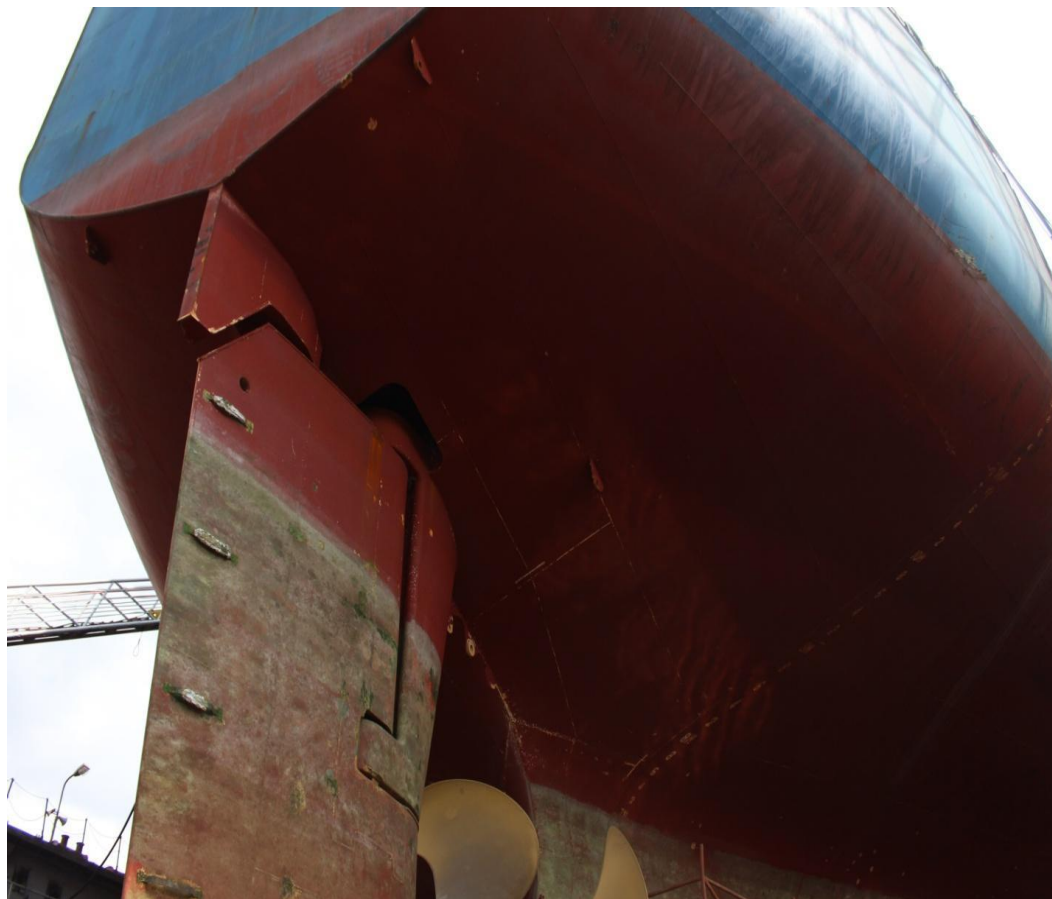
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η πρώτη προσπάθεια αποτύπωσης έγινε σε Ναυπηγείο στην περιοχή της Ελευσίνας λόγω της δυνατότητας πρόσβασης που μας δόθηκε.

Το προς μελέτη πλοίο ήταν σε διαδικασία δεξαμενισμού, πράγμα πολύ σημαντικό, καθώς ήταν σταθερό χωρίς την επήρεια της κίνησης της θάλασσας και υπήρχε (θεωρητικά) πρόσβαση σε όλη την εξωτερική του επιφάνεια. Παρόλα αυτά δημιουργήθηκαν εμπόδια κατά την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας συλλογής δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος παραμονής στο Ναυπηγείο ήταν περιορισμένος λόγω των εργασιών, ο όγκος του πλοίου (μήκος: 184m και πλάτος: 32.2m) σε συνδυασμό με τις δεξαμενές που υπήρχαν δεξιά και αριστερά από αυτό για την στήριξη του, στένεψαν τα όρια και δυσκόλεψαν σε μεγάλο βαθμό την προσβασιμότητα και την ικανοποιητική λήψη φωτογραφιών. Επίσης οι συνθήκες που επικρατούσαν στην πλωτή δεξαμενή δεν ήταν ιδανικές. Η ώρα προσέλευσης μας διαπιστώθηκε πως ήταν ακατάλληλη και ο λόγος είναι ότι υπήρχε έντονη κινητικότητα στην δεξαμενή, καθώς τα συνεργεία είχαν μόλις ξεκινήσει τις εργασίες τους. Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά τους δεξαμενισμούς των πλοίων οι βασικές εργασίες είναι οι επιθεωρήσεις υφάλων, έλεγχοι ελίκων, πηδαλίων αντικατάσταση

ανοδίων, καθαρισμοί υφάλων συνήθως με υδροβολή, αντικατάσταση υλικών, καταβίβαση αλυσίδων αγκυρών και έλεγχος αυτών, καθώς και έλεγχος καλής λειτουργίας υφάλων απολήξεων οργάνων, στομίων αναρροφήσεων και με τελική συνήθως εργασία τον υφαλοχρωματισμό. Η διεργασία της υδροβολής πραγματοποιείται από μηχανήματα με δυνατότητα λειτουργίας από χαμηλής έως υψηλής πίεσης με σκοπό την ευκολότερη απομάκρυνση των αλάτων, σκουριών και οργανισμών που δημιουργούνται ή προσκολλώνται στην επιφάνεια του πλοίου (<https://el.wiktionary.org>). Αποτέλεσμα της υδροβολής είναι η δημιουργία νέφους σταγονιδίων στην ατμόσφαιρα που επηρεάζουν την ποιότητα των φωτογραφιών. Ωστόσο καταφέραμε να φωτογραφίσουμε το πηδάλιο, την προπέλα και ένα μικρό τμήμα της γάστρας και της πρύμνης. Έγινε η λήψη 300+ φωτογραφιών και το 3D μοντέλο ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις προσδοκίες μας. Συνοψίζοντας, αποδείχτηκε πολύ δύσκολη η υλοποίηση της αρχικής ιδέας σε μεγάλο πλοίο και ειδικά υπό αυτές τις συνθήκες που περιγράψαμε παραπάνω. Προτείνεται ως ιδανική λύση η λήψη των φωτογραφιών με την χρήση μη επανδρωμένου συστήματος (Unmanned Aerial System - UAS ή drone) για να καλυφτεί όλη η επιφάνεια του προς μελέτη αντικειμένου. Ακολουθούν ενδεικτικές φωτογραφίες (εικόνες 4.1 έως 4.3) για την κατανόηση του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 4.1: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.

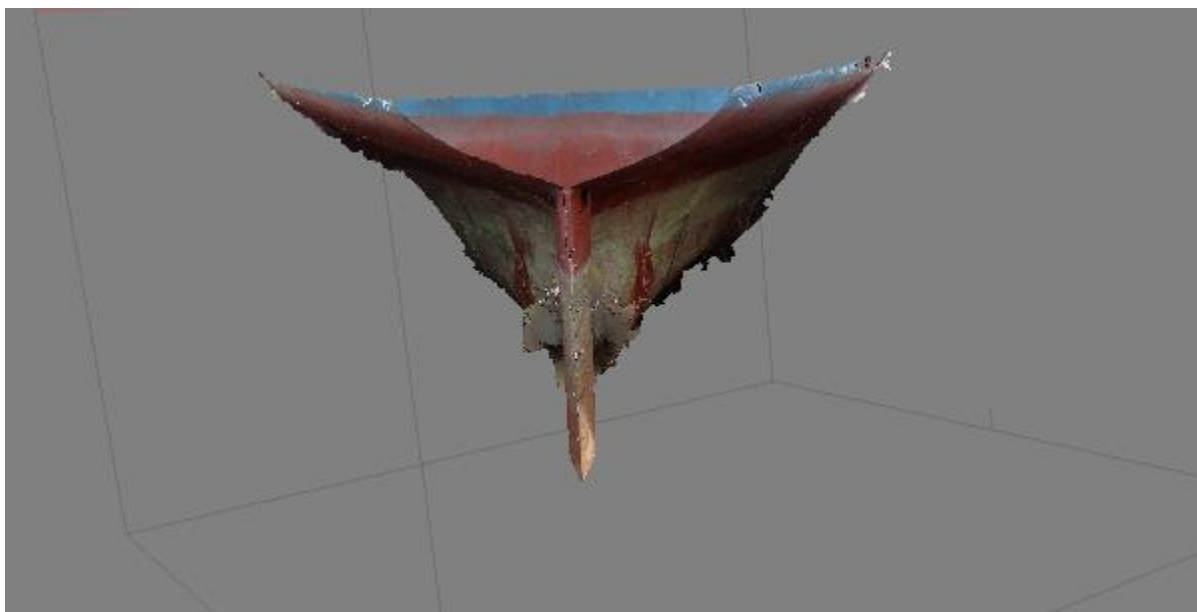


Εικόνα 4.2: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.



Εικόνα 4.3: Τμήμα από το πρώτο πλοίο μελέτης.

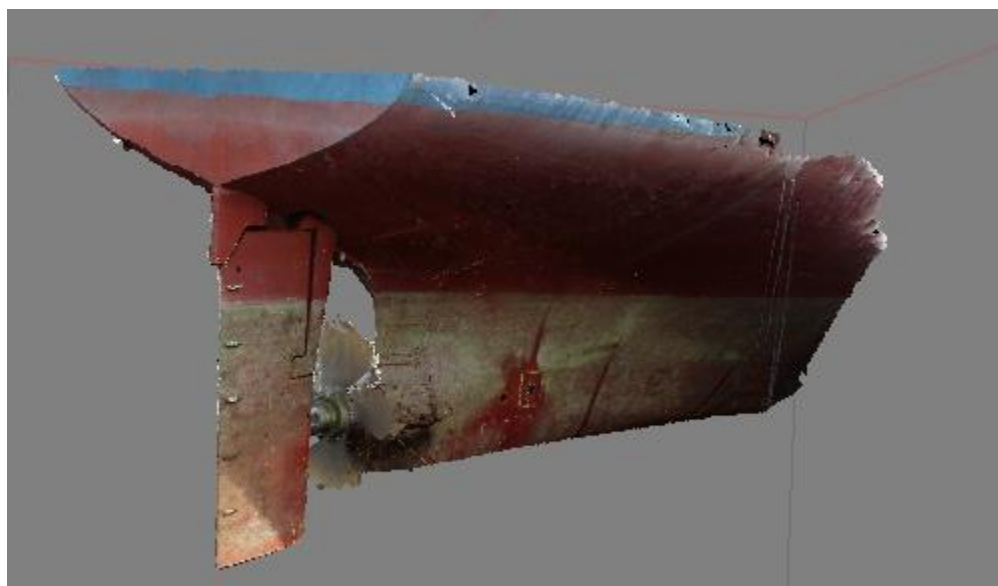
Τέλος παρατίθενται αποτελέσματα από την επεξεργασία των φωτογραφιών, στο λογισμικό δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα στις παρακάτω εικόνες (εικόνες 4.4 έως 4.6) απεικονίζονται το πηδάλιο, η προπέλα και τμήματα της πρύμνης και της γάστρας σε textured μορφή.



Εικόνα 4.4: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.



Εικόνα 4.5: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.



Εικόνα 4.6: Τμήματα από το πρώτο πλοίο μελέτης σε textured μορφή.

Έπειτα από την πρώτη απόπειρα αποτύπωσης, η συλλογιστική διαδικασία επιλογής των κριτηρίων για την εύρεση του κατάλληλου πλοίου, βασίστηκε στην ανάγκη συνεχών επισκέψεων για την εκπόνηση των δοκιμών και την άντληση πληροφοριών από τους υπεύθυνους, μηχανικούς και εργαζόμενους επί του πλοίου. Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του πλοίου ήταν επίσης η ανάγκη ύπαρξης διακριτών αλλοιώσεων στην επιφάνειά του. Κριτήριο επίσης απετέλεσε και η δυνατότητα παραμονής αρκετής ώρας στο χώρο του πλοίου, χωρίς να παρεμποδίζονται οι εργασίες του πληρώματος. Το τελευταίο κριτήριο βασίστηκε στο γεγονός ότι το πλοίο προς μελέτη είναι αρμόδιο για την μεταφορά καυσίμων άρα σχετίζεται άμεσα με το αντικείμενο της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Με βάση τα παραπάνω για την πραγματοποίηση της εργασίας επιλέχθηκε πλοίο τύπου tanker (εικόνα 4.7) το οποίο κατασκευάστηκε το έτος 2006 και κατά την περίοδο των μετρήσεων βρισκόταν στον λιμένα “Άγιος Ονούφριος” του Δήμου Χανίων Κρήτης.



Εικόνα 4.7: Δεύτερο πλοίο μελέτης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα βήματα διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας. Περιγράφεται η διαδικασία λήψης σημείων ελέγχου (control points) με τη βοήθεια ολικού γεωδαιτικού σταθμού, η λήψη φωτογραφιών των πλευρών του πλοίου, και η επεξεργασία των μετρήσεων σε εξειδικευμένα λογισμικά. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από αυτή την επεξεργασία με την υποστήριξη των φωτογραμμετρικών εργαλείων, είχε ως σκοπό την δημιουργία των κάθετων ναυπηγικών τομών. Τέλος, προέκυψαν οι βέλτιστα προσαρμοζόμενες εξισώσεις των τομών από προεπιλεγμένη οικογένεια καμπύλων για την αρτιότερη μαθηματική έκφραση και αποτίμηση σφαλμάτων επί των ναυπηγικών γραμμών.

Βήμα 1: Λήψη σημείων ελέγχου - control points

Ο γεωδαιτικός σταθμός αποτελεί το απαραίτητο όργανο για την λήψη σημείων ελέγχου - control points, ο οποίος είθισται να τοποθετείται στην επιφάνεια εδάφους σε κοντινή απόσταση από το αντικείμενο προς αποτύπωση. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε αναγκαία η παραλλαγή της κλασσικής μεθόδου, με σκοπό την εξάλειψη των σφαλμάτων των μετρήσεων. Για αυτό τον λόγο τοποθετήσαμε τον γεωδαιτικό σταθμό στο ανώτερο κατάστρωμα του πλοίου. Ο λόγος που επιλέχθηκε να διεξαχθεί με τέτοιο τρόπο η διαδικασία λήψης των σημείων ελέγχου είναι ότι το πλοίο βρισκόταν στο νερό και άρα δεν ήταν σταθερό. Αν ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετούνταν στην αποβάθρα για την πραγματοποίηση της διαδικασίας λήψης σημείων ελέγχου, προφανώς θα προέκυπτε σφάλμα στις μετρήσεις καθώς μεταξύ των μετρήσεων το πλοίο θα είχε κινηθεί σε σχέση με το «σταθερό» όργανο. Η επιλογή τοποθέτησης του γεωδαιτικού σταθμού πάνω στο πλοίο ήταν επιτακτική λόγω του ότι την ημέρα που πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία, η θάλασσα βρισκόταν σε κατάσταση αναταραχής. Άρα με την ιδέα τοποθέτησης του γεωδαιτικού σταθμού πάνω στο πλοίο, ανεξάρτητα με τις καιρικές συνθήκες, μπορεί να θεωρηθεί ότι το σφάλμα εξαλείφεται λόγω σχετικής κίνησης οργάνου μέτρησης και αντικειμένου αποτύπωσης. Ο γεωδαιτικός σταθμός προσαρμόστηκε και σταθεροποιήθηκε σε συγκεκριμένο χώρο μορφής σχάρας του καταστρώματος όπου οι βάσεις του τριπόδου δεν επέτρεπαν την ολίσθησή του (εικόνα 4.8 & εικόνα 4.9). Τα σημεία που επιλέχθηκαν ήταν ορατά σε εμάς από το εσωτερικό του πλοίου αλλά και από την εξωτερική του πλευρά (θάλασσα) ούτως ώστε να μπορέσουν να αποτελέσουν σημεία ελέγχου για τις φωτογραμμετρικές απεικονίσεις (εικόνα 4.10 & εικόνα 4.11). Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκε είναι τα ακόλουθα:

1. Τεχνολογία πολλαπλών δεσμών παλμικού Laser (Multi-pulse Laser)
2. Εμβέλεια μέτρησης χωρίς πρίσμα στα 350μ.
3. Εμβέλεια μέτρησης απόστασης με πρίσμα 3.000 μέτρα

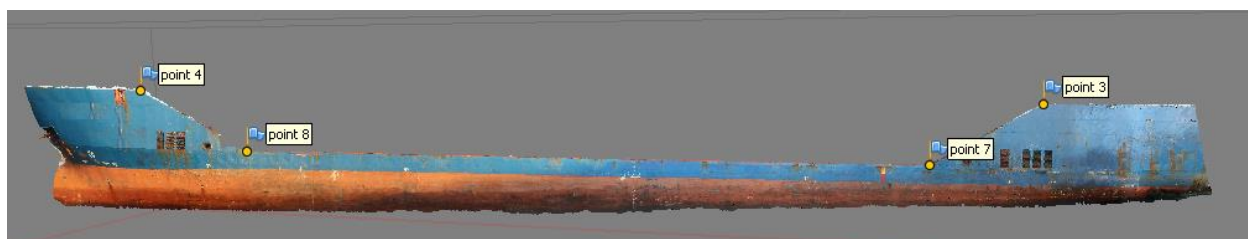
4. Ακρίβεια μέτρησης απόστασης με πρίσμα $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm})$ m.s.e.
5. Ακρίβεια μέτρησης απόστασης χωρίς πρίσμα $\pm (3\text{mm} + 2\text{ppm})$ m.s.e.
6. Πλήρως αδιάβροχο και ανθεκτικό σύμφωνα με το πρότυπο IP66 για σκόνη και υγρασία.



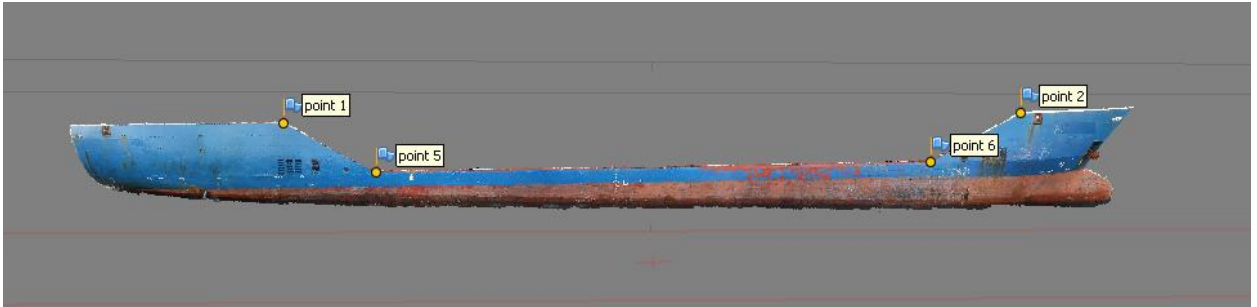
Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση γεωδαιτικού σταθμού στο κατάστρωμα του πλοίου.



Εικόνα 4.9: Τοποθέτηση γεωδαιτικού σταθμού στο κατάστρωμα του πλοίου.



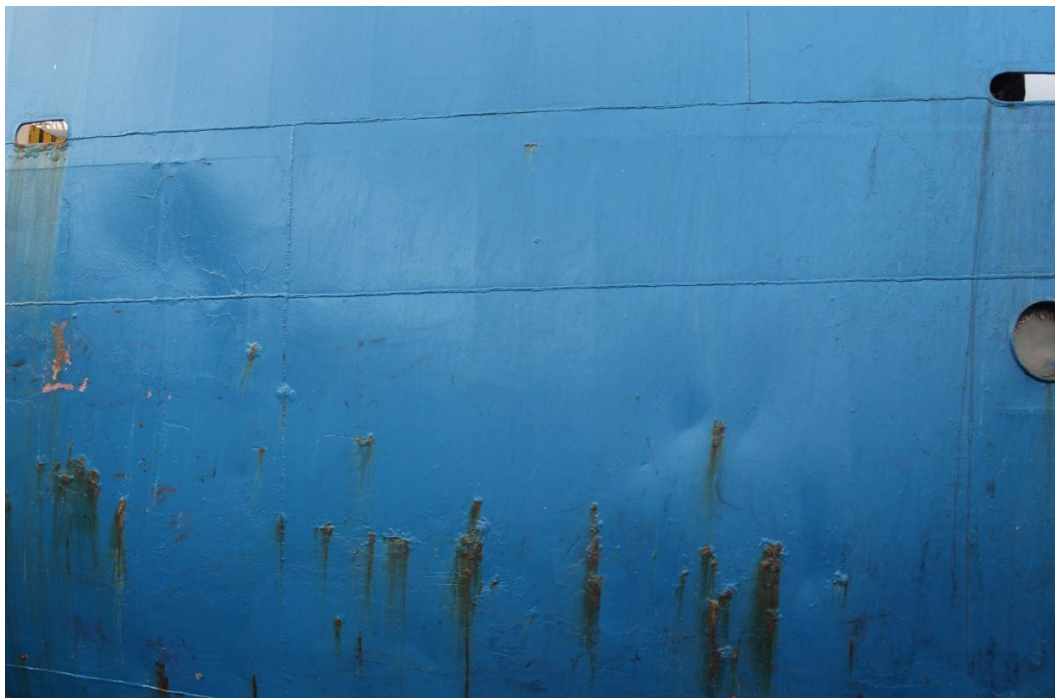
Εικόνα 4.10: Αριστερή πλευρά πλοίου με control points.



Εικόνα 4.11: Δεξιά πλευρά πλοίου με control points.

Βήμα 2: Λήψη φωτογραφιών

Για την λήψη των φωτογραφιών ήταν αναγκαία η μετάβαση μας από το πλοίο σε ένα ρυμουλκό το οποίο έπλευσε γύρω από το tanker. Η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη φωτογραφιών είναι μία ερασιτεχνική κάμερα Canon EOS 600D. Η αρχή της διαδικασίας λήψης των φωτογραφιών ξεκίνησε από την δεξιά πλευρά του πλοίου και ολοκληρώθηκε με την αριστερή πλευρά του πλοίου. Δηλαδή το ρυμουλκό ακολούθησε μία περιμετρική πορεία πλεύσης για να καλυφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο τμήμα του πλοίου. Έγινε λήψη 152 φωτογραφιών.

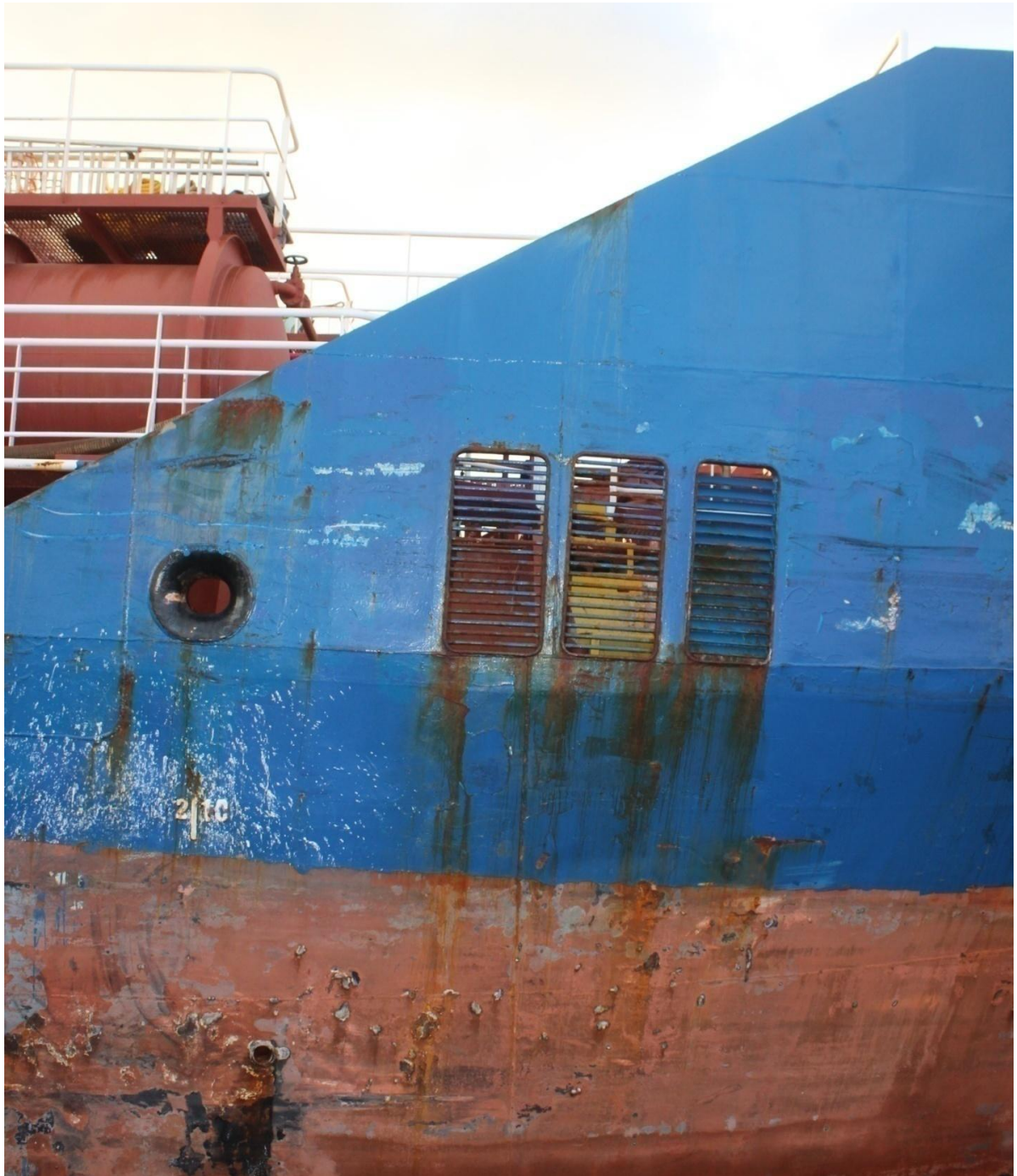


Εικόνα 4.12: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου.

Οι παρακάτω φωτογραφίες(εικόνα 4.13, εικόνα 4.14 & εικόνα 4.15) αποτελούν τμήματα από την δεξιά πλευρά του πλοίου.



Εικόνα 4.13: Τμήμα της δεξιάς πλευράς.



Εικόνα 4.14: Τμήμα της δεξιάς πλευράς.



Εικόνα 4.15: Δεξιά πλευρά πλώρης.

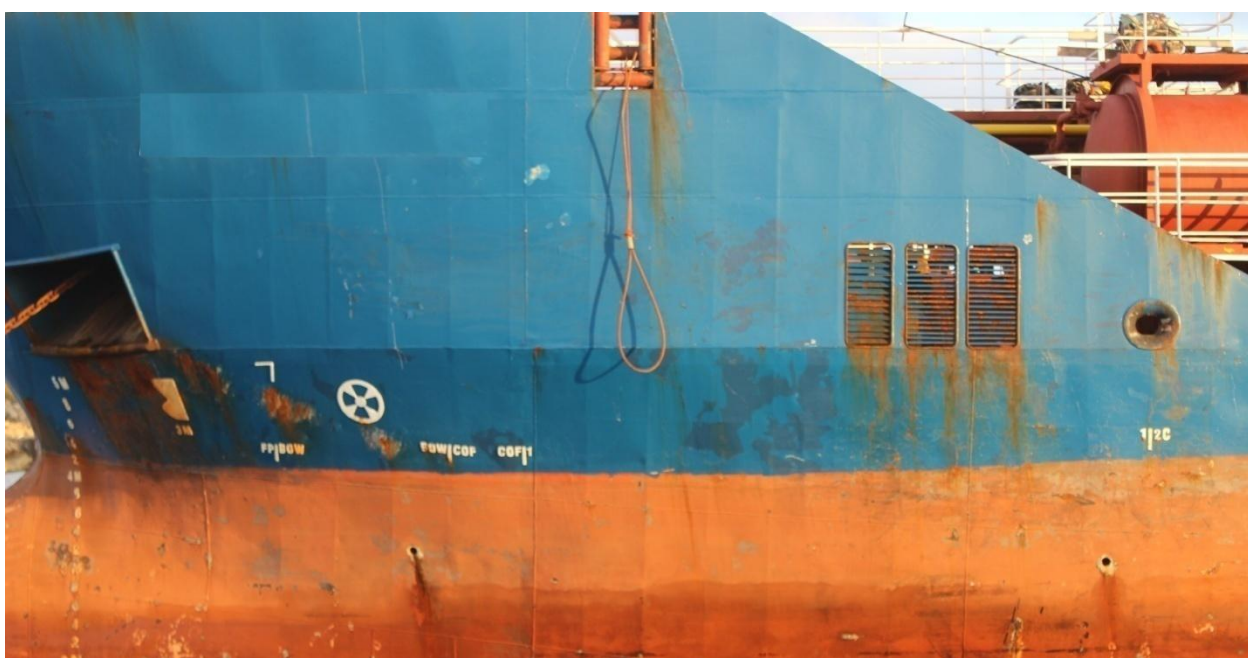
Στις παρακάτω εικόνες(4.16 & 4.17) απεικονίζονται τμήματα της αριστερής πλευράς του πλοίου.



Εικόνα 4.16: Τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου.



Εικόνα 4.17: Τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου.



Εικόνα 4.18: Αριστερό τμήμα πλώρης.

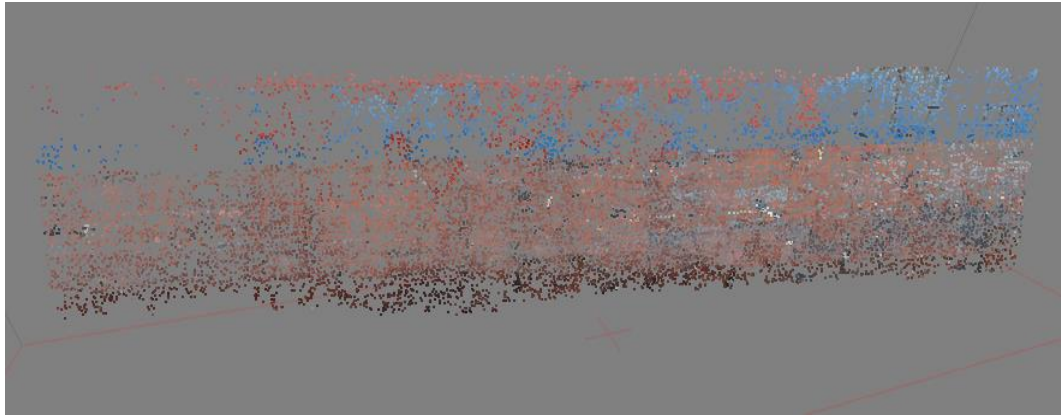
Βήμα 3: Επεξεργασία δεδομένων με την χρήση λογισμικού δημιουργίας 3D μοντέλου

Το λογισμικό επεξεργασίας των επικαλυπτόμενων απεικονίσεων και δημιουργίας 3D μοντέλων που επιλέχθηκε είναι το Agisoft Photoscan. Οι φωτογραφίες προς επεξεργασία μπορούν να λαμβάνονται από οποιαδήποτε σχεδόν θέση, υπό τον όρο ότι το αντικείμενο προς επεξεργασία είναι ορατό σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες. Το λογισμικό επιτρέπει τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων που ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας, δίνοντας πληροφορίες για την δομή του πλοίου. Τέλος, δημιουργεί ένα 3D μοντέλο πλέγματος που προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τη ρεαλιστική μορφή του πλοίου.

Βήμα 3.1: Εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό δημιουργίας 3D μοντέλου

- ✓ Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε λειτουργία είναι απαραίτητη η επιλογή των φωτογραφιών που θα χρησιμοποιηθούν ως πηγή για την δημιουργία του 3D μοντέλου.
- ✓ Μετά τη διαδικασία φόρτωσης των φωτογραφιών στο λογισμικό, ακολουθεί ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εντοπισμό των ομόλογων σημείων στις εικόνες (εικόνα 4.19). Επίσης σε αυτή τη διεργασία, το λογισμικό προσδιορίζει τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας στις διάφορες χρονικές στιγμές λήψης και δημιουργεί ένα αρχικό νέφος σημείων.

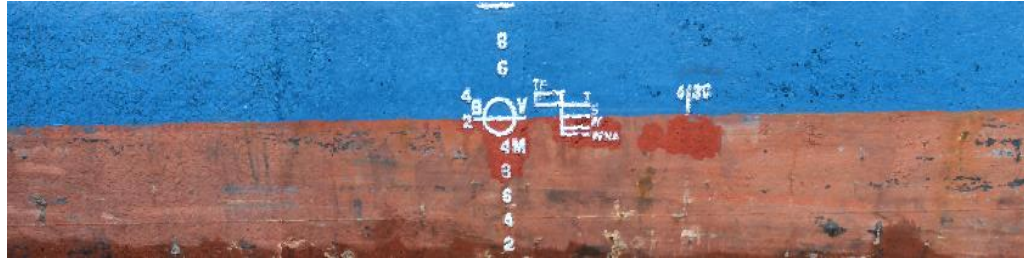
Αποτελέσματα διεργασίας εύρεσης ομόλογων σημείων :



Εικόνα 4.19: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου.

- ✓ Με την ευθυγράμμιση των φωτογραφιών, το λογισμικό δημιουργεί νέφος σημείων το οποίο όμως δύναται να γίνει πολύ πυκνότερο. Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (εικόνα 4.20). Αυτό υλοποιείται με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας και των εικόνων.

Αποτελέσματα της ανοικοδόμησης του πυκνού νέφους σημείων:



Εικόνα 4.20: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου.

- ✓ Το τρίτο στάδιο είναι η κατασκευή του τρισδιάστατου πλέγματος (εικόνες 4.21 έως 4.24). Το λογισμικό παράγει ένα δίκτυο τριγώνων (κατά το πρότυπο του Triangulated Irregular Network), το οποίο αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του αντικειμένου, με βάση το προηγούμενο στάδιο δηλαδή την ανοικοδόμηση του πυκνού νέφους σημείων.

Αποτελέσματα της διεργασίας :



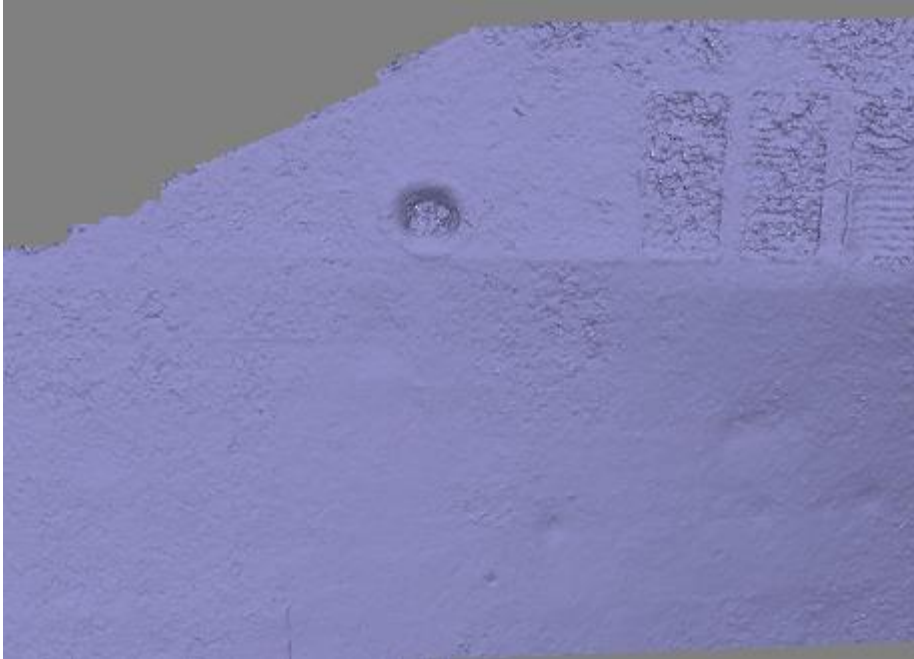
Εικόνα 4.21: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε shaded μορφή.



Εικόνα 4.22: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε solid μορφή.



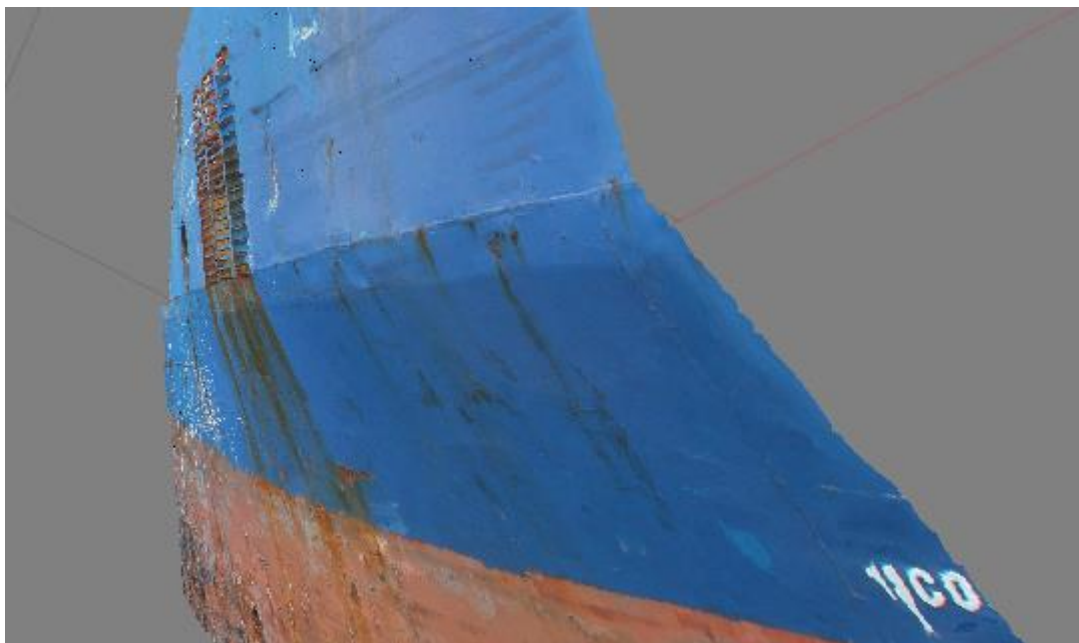
Εικόνα 4.23: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε solid μορφή.



Εικόνα 4.24: Τμήμα της δεξιάς πλευράς του πλοίου σε wireframe μορφή.

- ✓ Το τελευταίο στάδιο είναι η δημιουργία υφής και χρώματος στο μοντέλο (εικόνες 4.25 έως 4.27). Προκύπτει ένα ρεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο απεικονίζει ρεαλιστικά το αντικείμενο ή την περιοχή μελέτης.

Αποτελέσματα διεργασίας :



Εικόνα 4.25: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.



Εικόνα 4.26: Τμήμα αριστερής πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.



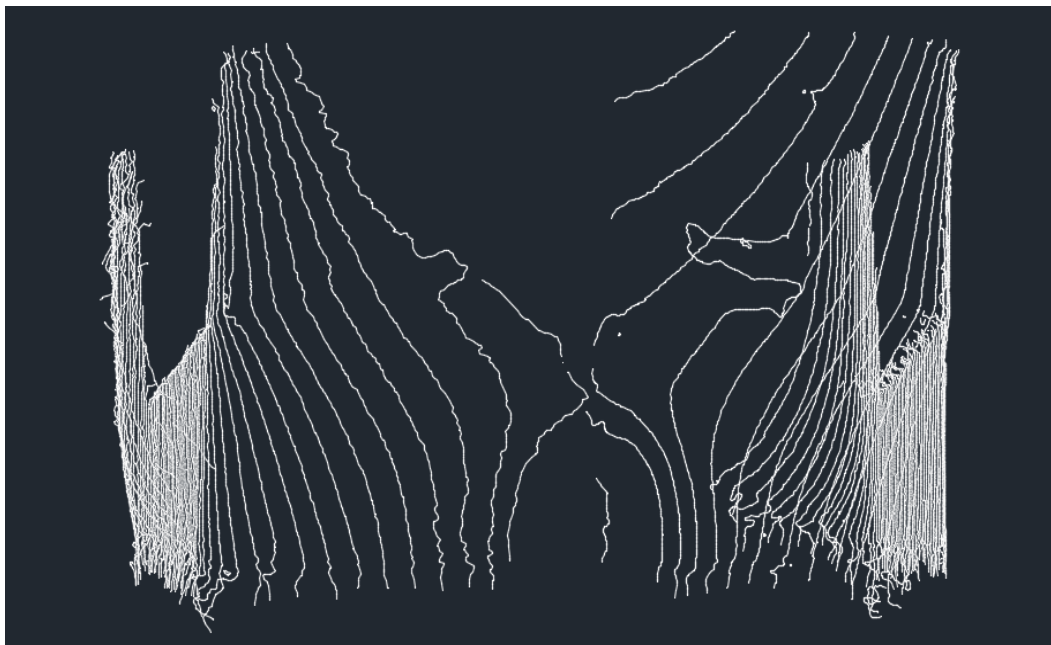
Εικόνα 4.27: Τμήμα δεξιάς πλευράς του πλοίου σε textured μορφή.

Βήμα 4: Δημιουργία κάθετων τομών

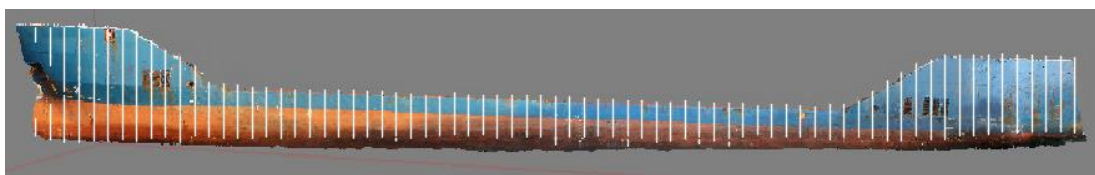
Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας του 3D μοντέλου, πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή των αρχείων σε διαφορετικές μορφές για την εισαγωγή τους σε διαφορετικά λογισμικά όπως π.χ. σε μορφή dxf. Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή των αρχείων dxf στο λογισμικό Surpac για την δημιουργία κάθετων τομών ανά 1m στην επιφάνεια του πλοίου. Ο λόγος που ακολουθήσαμε την συγκεκριμένη ροή επεξεργασίας του 3D μοντέλου, βασίζεται στην ανάγκη διαχωρισμού των συντεταγμένων X,Y,Z των σημείων που συνθέτουν την κάθε τομή ξεχωριστά. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια του λογισμικού σχεδίασης.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των τομών (εικόνες 4.28 έως 4.30) σε λογισμικό σχεδίασης (Autocad της Autodesk) ώστε να γίνει μία πρώτη οπτική αποτίμηση της γεωμετρίας των τομών και να συνδυαστούν με τις ορθοεικόνες που προέκυψαν από τη φωτογραμμετρική διαδικασία. Η τελική εξαγωγή των συντεταγμένων X,Y,Z παρόλο που φαίνεται ως μία σχετικά απλή διαδικασία, δεν υποστηρίζεται από το λογισμικό σχεδίασης. Ως εκ τούτου **υλοποιήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα lisp** για την εξαγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων από μία γραμμή τύπου polyline.

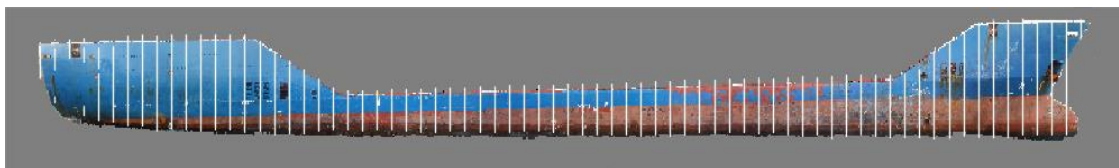
Στο τελευταίο στάδιο, οι συντεταγμένες εισήχθησαν σε λογισμικό περιβάλλον προγραμματισμού (Matlab της MathWorks) για τον προσδιορισμό της βέλτιστης προσαρμοσμένης μαθηματικής εξίσωσης, που θα αντιπροσωπεύει τις τομές του πλοίου και θα αποτιμά τις πιθανές παραμορφώσεις του (εικόνες 4.31 έως 4.33).



Εικόνα 4.28: Τομές του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.

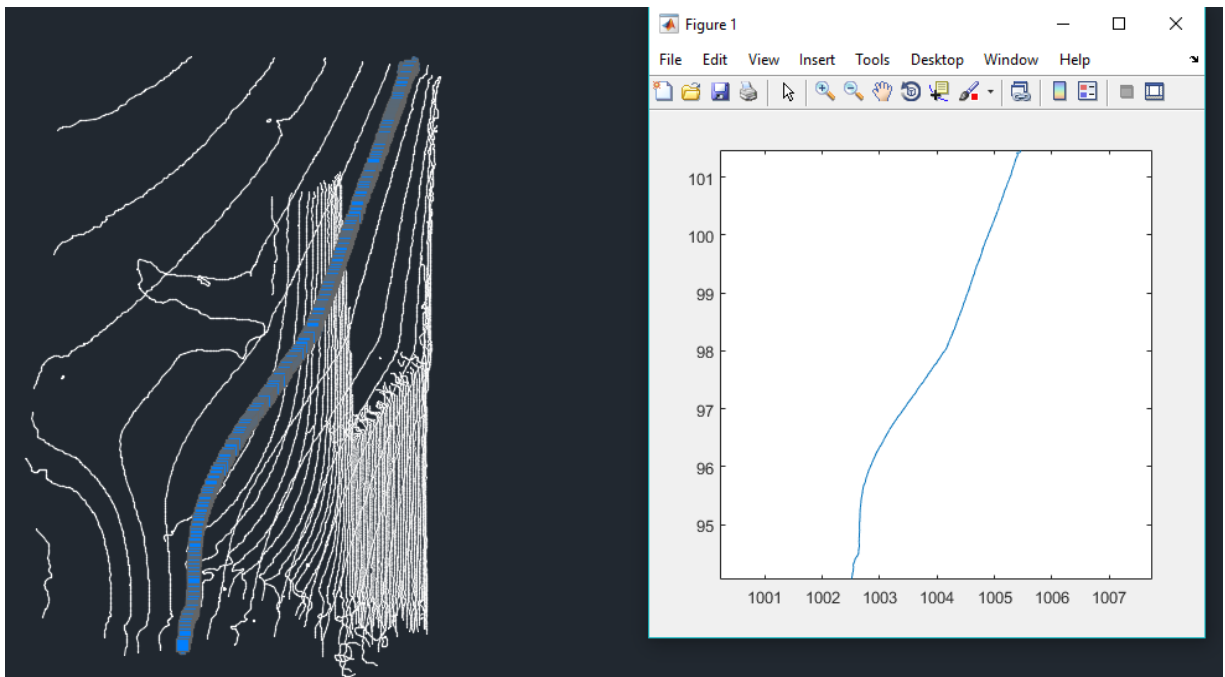


Εικόνα 4.29: Τομές στην αριστερή πλευρά του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.



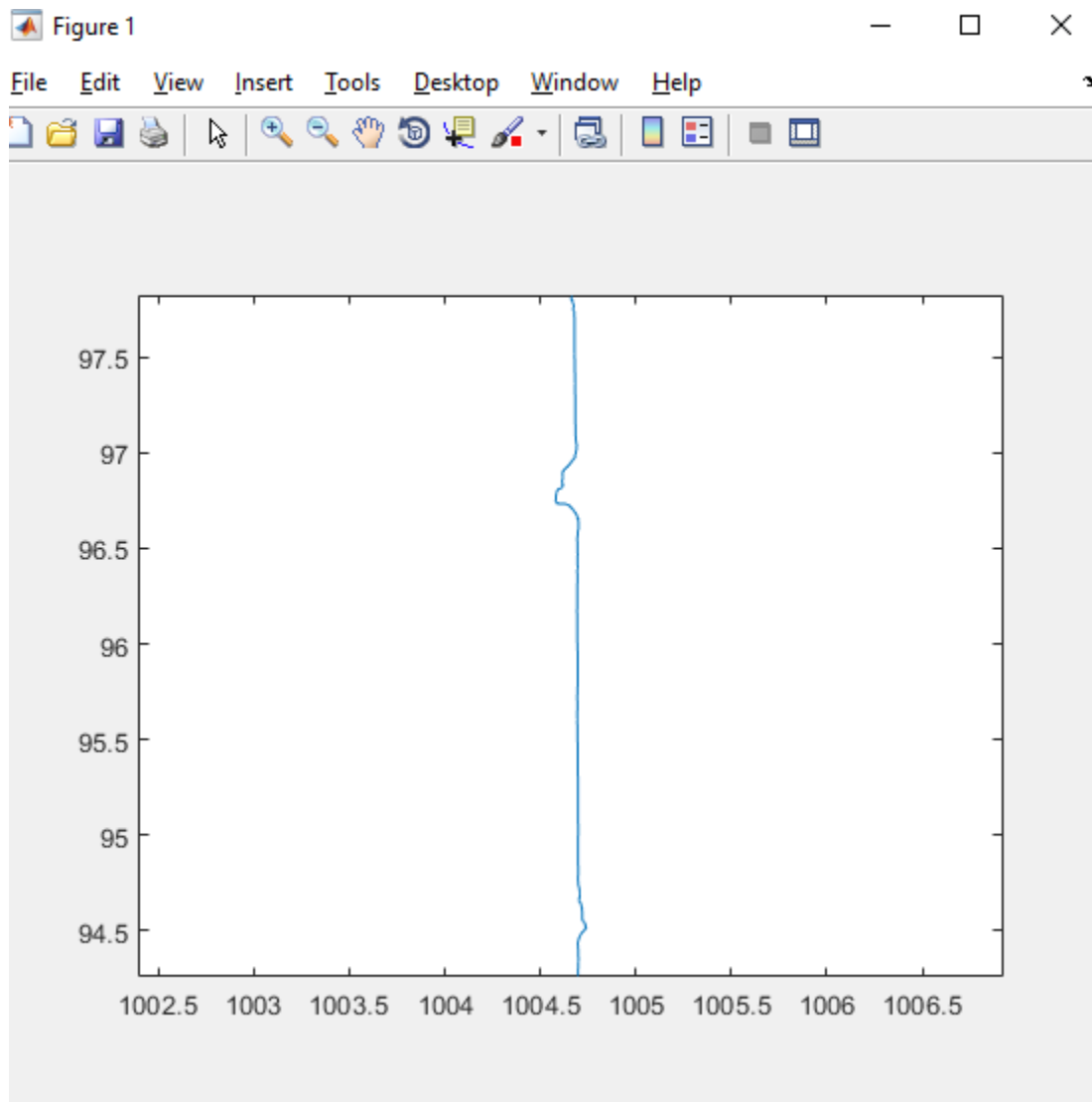
Εικόνα 4.30: Τομές στην δεξιά πλευρά του πλοίου στο λογισμικό σχεδίασης.

Στο αριστερό μέρος της εικόνας 4.31 απεικονίζονται οι τομές του πλοίου από το λογισμικό σχεδίασης και συγκεκριμένα έχει επιλεγθεί μία από της τομές της αριστερής πλευράς της πλώρης ενώ στο δεξί μέρος, παρουσιάζεται το γράφημα που προέκυψε από την εισαγωγή των συντεταγμένων σε προγραμματιστικό περιβάλλον, για την εύρεση πολυωνυμικής εξίσωσης που προσεγγίζει σε βέλτιστο βαθμό την αρχική τομή.

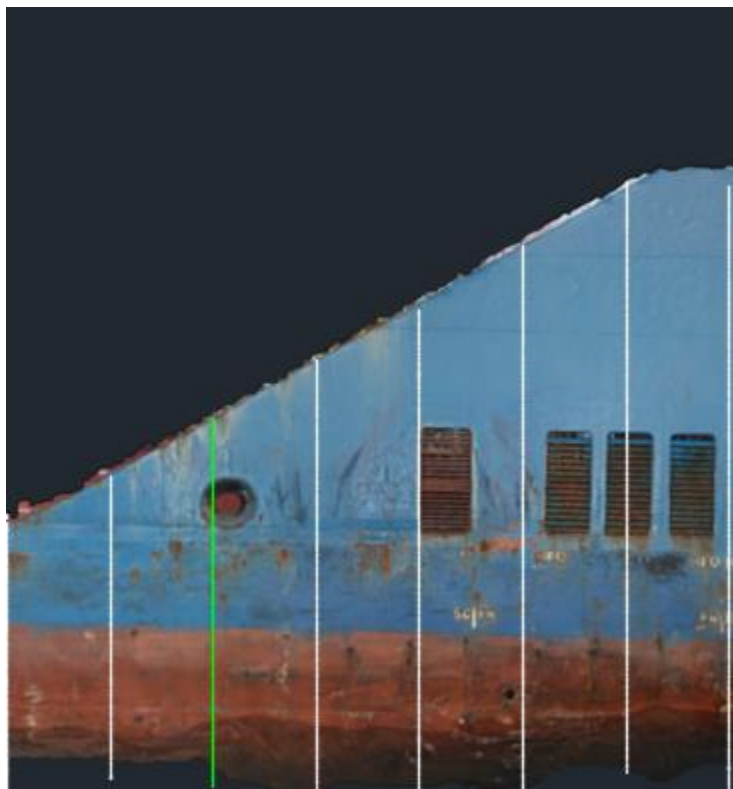


Εικόνα 4.31: Απεικόνιση τομής σε λογισμικό σχεδίασης και σε γράφημα.

Στην εικόνα 4.32 παρουσιάζεται το γράφημα από την ανάλυση τομής που ανήκει σε τμήμα της αριστερής πλευράς του πλοίου. Παρατηρούμε δύο εξογκώματα στην αρχή και στο τελείωμα της γραμμής, τα οποία οφείλονται στους εξής λόγους: το πρώτο εξογκωμα αντιστοιχεί στην τρύπα που υπάρχει σε εκείνο το σημείο στην επιφάνεια του πλοίου όπως φαίνεται στην εικόνα 4.33. το οποίο απορρέει από τον σχεδιασμό του πλοίου και το δεύτερο εξογκωμα, χαρακτηρίζεται ως σφάλμα γιατί οφείλεται στον κυματισμό του νερού, το οποίο είναι εμφανές στην εικόνα 4.33.



Εικόνα 4.32:Γράφημα τομής.



Εικόνα 4.33: Απεικόνιση της τομής με πράσινο χρώμα στην επιφάνεια του πλοίου.

4.2 Προτεινόμενη μέθοδος επιθεώρησης πλοίων

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει μία πρόταση αναφορικά με τα βήματα που θα πρέπει να διεξαχθούν ώστε να είναι δυνατή η επιθεώρηση του πλοίου με την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε. Όπως είναι γνωστό, η επιθεώρηση των πλοίων αποτελεί μια πολυσύνθετη διαδικασία και για να ολοκληρωθεί με επιτυχία βασίζεται σε μια πληθώρα παραμέτρων, ωστόσο θα παρουσιαστεί μια καινοτόμος μέθοδος η οποία είναι ικανή να μειώσει τον χρόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή της και να αυξήσει την αποτελεσματικότητά της. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1

Αρχικά, διεξάγεται η λήψη φωτογραφιών περιμετρικά του πλοίου. Η απόσταση μεταξύ της φωτογραφικής μηχανής και της πλευράς του πλοίου που αποτυπώνεται θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή όλων των αλλοιώσεων που υπάρχουν σε αυτή.

Βήμα 2

Στην συνέχεια, γίνεται η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων και η παραγωγή των προϊόντων δηλαδή, η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου, ισοϋψών καμπυλών, ορθοφωτοχαρτών του πλοίου.

Βήμα 3

Μετάπειτα, μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου που έχει δημιουργηθεί στο Βήμα 2, παράγονται οι τομές της επιφάνειας του πλοίου μέσω περιβάλλον προγραμματισμού. Οι τομές χρησιμοποιούνται είτε για την εύρεση της βέλτιστης πολυωνυμικής εξίσωσης που τις αντιπροσωπεύει είτε για την σύγκριση τους με τις ναυπηγικές γραμμές των σχεδίων του κατασκευαστή.

Βήμα 4

Πραγματοποιείται αυτοματοποιημένη λήψη των σφαλμάτων μέσω του προγραμματιστικού λογισμικού, με σκοπό την ταυτοποίηση τους με τα δεδομένα που έχουν προκύψει από τις τομές της επιφάνειας του πλοίου. Έτσι με αυτοματοποιημένο πλέον τρόπο μπορούν να υποδειχθούν τα σημεία που το πλοίο παρουσιάζει πιθανά προβλήματα.

Βήμα 5

Γίνεται στοχευμένη οπτική επιθεώρηση της επιφάνειας του πλοίου καθώς μέσω των παραπάνω βημάτων είναι η δυνατή η γνώση των τμημάτων του πλοίου στις οποίες παρουσιάζονται αλλοιώσεις.

Βήμα 6

Τέλος, τα δεδομένα που παράχθηκαν μέσω των τομών του πλοίου αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική τους χρήση από τον επιθεωρητή κατά την πραγματοποίηση επανελέγχων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος της Φωτογραμμετρίας χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά ευέλικτη και μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον, πληρώντας βέβαια τις κατάλληλες προδιαγραφές. Είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα από τα τμήματα διαχωρισμού της επιφάνειας του πλοίου κυμαίνονται σε παρόμοιο επίπεδο. Αυτό προκύπτει τόσο από την ερμηνεία των 3D μοντέλων όσο και από τα γραφήματα που προέκυψαν στη συνέχεια και παρουσιάζουν συγγενική μορφή.

Με γνώμονα την παρατήρηση αυτή, μπορούμε να πούμε ότι τα σφάλματα των αποτελεσμάτων πηγάζουν σε μεγάλο βαθμό από τις αρχικές μετρήσεις, δηλαδή στην λήψη των σημείων ελέγχου ή στη λήψη φωτογραφιών ή στο γεγονός ότι υπήρχε διαφορά μεταξύ της πειραματικής διαδικασίας και της ιδανικής που σχεδιαζόταν. Για παράδειγμα το πλοίο δεν βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας μέσα στη θάλασσα λόγω καιρικών συνθηκών. Επίσης το πρώτο πλοίο παρόλο που βρισκόταν σε πλωτή δεξαμενή, μας δυσκόλεψε λόγω της μεγάλης κλίμακας του.

Σαν τελική έκβαση μπορούμε να πούμε ότι για τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούσαν κατά την λήψη-συλλογή των δεδομένων με την μέθοδο της Φωτογραμμετρίας έχουμε καλές ακρίβειες όταν πρόκειται για αποτύπωση αντικειμένου λογικής κλίμακας.

5.1 Πηγές σφαλμάτων

Τα σφάλματα της μεθόδου μπορεί να οφείλονται:

- ❖ Στο γεγονός ότι η φωτογραφική μηχανή δεν ήταν βαθμονομημένη.
- ❖ Στο φακό της φωτογραφικής μηχανής.
- ❖ Στις καιρικές συνθήκες.
- ❖ Στην ύπαρξη σφαλμάτων στις ακρίβειες των φωτοσταθερών.

5.2 Απαντήσεις στα ερωτήματα

Παρακάτω γίνεται αποτίμηση των αρχικών ερευνητικών - επιχειρησιακών ερωτημάτων που τέθηκαν, ώστε να διαφανεί κατά πόσο επετεύχθη σύγκλιση με τις αρχικές προσδοκίες και στόχους που τέθηκαν.

- ✓ Εξοπλισμός: Κατά πόσον θεωρείται οικονομικά αποδεκτή η επιλογή του απαραίτητου εξοπλισμού για την φωτογραμμετρική αποτύπωση;

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση μιας σχετικά οικονομικής κάμερας οπότε η μέθοδος θεωρείται οικονομικά αποδεκτή.

- ✓ Χρόνος: Ο χρόνος παραμονής στο πλοίο και ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων είναι αποδεκτός στις συνήθεις εφαρμογές ναυπηγικής και σε ποια πλαίσια επαναληψιμότητας;

Το χρονικό διάστημα παραμονής στο πλοίο ήταν σύντομο. Ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων είναι άμεσα εξαρτημένος από το μέγεθος του πλοίου προς αποτύπωση και γενικά μπορεί να κριθεί άμεσος (εντός 1-2 ημερών).

Βιβλιογραφία

- ✓ Ακρίβεια: Ποια η ακρίβεια αποτίμησης της παραμόρφωσης των γεωμετρικών πλευρών του πλοίου; Τα σφάλματα των πλευρικών τμημάτων του πλοίου τα οποία προκύπτουν από την μέθοδο η οποία αναφέρεται άνωθεν κατά πόσο είναι αποδεκτά; (Να σημειωθεί ότι αποδεκτό θεωρείται το σφάλμα της τάξεως των cm)

Τα σφάλματα που προέκυψαν είναι της τάξεως μερικών cm με αποτέλεσμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται να είναι η επιθυμητή. Πιο συγκεκριμένα το σφάλμα των σημείων ελέγχου της αριστερής πλευράς είναι 0.025274 m και το σφάλμα των σημείων ελέγχου της δεξιάς πλευράς είναι 0.020701 m.

- ✓ Κατά πόσο τα παράγωγα προϊόντα από τη φωτογραμμετρική αποτύπωση μπορούν να προσφέρουν βοηθητικές πληροφορίες για την περαιτέρω αποτίμηση των παραμορφώσεων;

Τα παράγωγα προϊόντα προσφέρουν σε μεγάλο ποσοστό βοηθητικές πληροφορίες, καθώς εντοπίζονται παραμορφώσεις πάνω στην επιφάνεια του πλοίου, οι οποίες δεν θα ήταν εφικτό να εντοπιστούν με γυμνό μάτι από κάποιον συνήθη παρατηρητή. Γίνεται επίσης διαστασιολόγηση της εκάστοτε παραμόρφωσης και δίδεται η δυνατότητα θέασης μεγάλων επιφανειών του πλοίου από διάφορες προοπτικές.

5.3 Μελλοντικές βελτιώσεις

Όπως αναφέρθηκε και πριν, τα σφάλματα οφείλονται στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και για την εξάλειψη αυτών, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή και άλλων πειραματικών διαδικασιών, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση της μεθόδου.

Αναφορικά με το πειραματικό κομμάτι προτείνεται η προσθήκη και άλλων φωτογραφικών μηχανών στον εξοπλισμό, για την ύπαρξη ποικιλομορφίας στην ποιότητα και στην ανάλυση των φωτογραφιών και φυσικά να είναι βαθμονομημένες.

Επίσης, βελτίωση θεωρείται η εισαγωγή μικρότερου αριθμού φωτογραφιών σε λογισμικό δημιουργίας 3D μοντέλου για να αποτυπώσει ο χρήστης μία περιοχή σε λεπτομέρεια.

Αν δεν γνωρίζουμε την εξίσωση της εκάστοτε καμπύλης, μπορούμε να την διαχωρίσουμε στα σημεία καμπυλότητας και να γίνει προσαρμογή στα προκύπτοντα υποσύνολα ξεχωριστά, εξασφαλίζοντας καλύτερο έλεγχο εντοπισμού των παραμορφώσεων.

Συνοψίζοντας η παρούσα διπλωματική εργασία απέδειξε ότι με ελάχιστο κόστος και ακολουθώντας μία σχετικά απλή μεθοδολογία, έγινε η γεωμετρική αποτίμηση των πλευρών ενός πλοίου. Συνεπώς, προτείνεται η μέθοδος που ακολουθεί η Φωτογραμμετρία, στις εφαρμογές του ναυπηγικού κλάδου για την εύρεση παραμορφώσεων – αλλοιώσεων στις επιφάνειες των πλοίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ. Γ. και Μερτίκας, Σ.Π. (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για την Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
2. Καρύδης Π., (2002). Επιθεώρηση, Συντήρηση και Επισκευή της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα.
3. Πατιάς Π., (1991). Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία. Εκδόσεις, ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
4. Πέτσα Ε., (2003). Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας, ΤΕΙ Αθήνας.
5. Πουλής Α. & Χατζηκωνσταντής Γ.Κ.(2003). Γεωμετρία του πλοίου, ΤΕΙ Αθήνας.
6. Τούλιος Μ., (2007). Σημειώσεις Πεπερασμένων Στοιχείων, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
7. Χατζηκωνσταντής Γ.Κ.(2010). Ναυπηγικό Σχέδιο, ΤΕΙ Αθήνας.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Gordo J. M., Guedes Soares C., (2004). Approximate Method to Evaluate the Hull Girder Collapse Strength, Marine Structures.
2. Gordo J. M., Guedes Soares C., (2004). Experimental Evaluation of the Ultimate Bending Moment of a Box Girder Ocean and Marine Structures.
3. I.A.C.S., (2008). Common Structural Rules, Rule Change Notice No 1.
4. I.A.C.S., (2007). Bulk Carriers - Guidelines for Surveys, Assessment and Repair of Hull Structure, No. 76.
5. Ingram H., Dudeck F., (1991). Photogrammetry as an Advanced Planning Tool for Naval Shipyards, Journal of Ship Production, vol. 7, no. 4, pp. 248- 257.
6. Insu Yu, Mortensen J., Khanna P., Spanlang B., Slater M., (2012). Visual Realism Enhances Realistic.
7. Katsianis M., Tsipidis S., Kotsakis K., Kousoulakou A., (2008). A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS, Journal of Archaeological Science 35 (3).
8. Koelman H.J., (2010). Application of a photogrammetry-based system to measure and re-engineer ship hulls and ship parts: An industrial practices-based report, Computer-Aided Design, Volume 42, Issue 8, Pages 731-743.
9. Komoroski C.L., Housel T., Hom S., Mun J., (2006). A Methodology for Improving the Shipyard Planning Process: Using KVA Analysis, Risk Simulation and Strategic Real Options, Technical Report for the Naval Postgraduate School, NPSGSBPP-06-022.
10. Lo Brutto M., Borruso A., D'Argenio A. (2012). UAV Systems for Photogrammetric Data Acquisition of Archaeological Sites, Multi Science Publishing, In Proceedings of International EuroMediterranean Conference (EuroMed), Lemesos, Cyprus.
11. Mugnier C. J., (1998). Low Cost Digital Image Photogrammetry, Journal of Ship Production, Vol.14, No.3, pp.202-213.

Βιβλιογραφία

12. Neitzel F., Klonowski J., (2012). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII- 1/C22, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, S.
13. Paik J. K. , Thayamballi A.K., (2007). Ship Shaped Offshore Installations. Design, Building and Operation, N.Y.
14. Qing-Hai Du, Zheng-Quan Wan & Wei-cheng Cui, (2005). Comparative Study of Ultimate Hull Girder Strength of Large Double Hull Tankers , Marine Structures.
15. RAWSON K.J. & TUPPER E.C., (1968). Basic Ship Theory – Volume 1.
16. S.N.A.M.E., (1988). Principles of Naval Architecture Vol. I, N. J.
17. Soreid T. H., (1981). Ultimate Load Analysis of Marine Structures, Trondheim.
18. Paik J.K. , Wang G. , Kim B.J., Thayamballi A.K., (2002). Ultimate Limit State Design of Ship Hulls, Chevron Shipping Company LLC.