



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

“Μελέτη και Σχεδίαση Ωκεανογραφικού Σκάφους”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΛΚΟΔΑΙΜΩΝ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ, ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΑΜΟΥΗΛΙΔΗΣ (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ)

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΘΕΜΕΛΗΣ (ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ)

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν κείμενο αποτελεί τη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της φοίτησης μου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών. Επιβλέπων της πτυχιακής αυτής είναι ο καθηγητής της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, κ. Γ. Ζαραφωνίτης, ενώ αντικείμενο της είναι η προκαταρκτική μελέτη και σχεδίαση ενός Ωκεανογραφικού Σκάφους.

Η ανάπτυξη της διπλωματικής έλαβε χώρα σε τέσσερις κύριους άξονες που αφορούν τα εξής πεδία, κατά σειρά, όπως αυτά συναντώνται στην εργασία:

- Ανάπτυξη του προκαταρκτικού σχεδίου της Γενικής Διάταξης.
- Προσδιορισμός της κατανομής βάρους του κενού σκάφους (Lightship) για την μελέτη διαμήκους αντοχής του πλοίου.
- Μελέτη της ευστάθειας του υπό μελέτη πλοίου, τόσο σε άθικτη (Intact) όσο και σε βεβλαμμένη κατάσταση, μέσω πιθανοθεωρητικής προσέγγισης (Probabilistic Damage).
- Μελέτη της αντίστασης του πλοίου και καθορισμός της προωστηρίου εγκατάστασης.

Ιδιαίτερη βάση εδόθη στην μελέτη της άθικτης ευστάθειας, στα πλαίσια της οποίας προετοιμάστηκε το Trim & Stability Booklet του πλοίου, το οποίο παρουσιάζεται στο Παράρτημα (Ζ) της εργασίας.

Για την εκπόνηση της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα :

Autocad για την εξαγωγή των διαφόρων επισυναπτόμενων σχεδίων, BV Mars 2000 για την μελέτη της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής και NAPA για την μοντελοποίηση της γεωμετρίας της γάστρας και την μελέτη της ευστάθειας. Τέλος, για τον προσδιορισμό της αντίστασης, έγινε χρήση του προγράμματος Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής (CFD) Shipflow.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ζαραφωνίτη για όλη την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής, καθώς και τον κ. Δημήτρη Μουρκογιάννη για τον ζήλο και την καθοριστική αρωγή στο κομμάτι του προσδιορισμού της αντίστασης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εργοδότηριά μου κ. Ελπίδα Γουλιαμτζή για την ανεκτίμητη στήριξη και κατανόηση που μου παρείχε, για την αποπεράτωση της εργασίας αυτής. Τέλος, θα ήθελα να δώσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου, στους γονείς μου, Γιάννη και Χριστίνα, την αδερφή μου Ειρήνη, στην κοπέλα μου Έφη, καθώς και όλους τους φίλους μου για τη στήριξη και το κουράγιο που μου προσέφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ii
Κατάλογος Σχεδίων	vii
Κατάλογος Πινάκων	vii
Κατάλογος Σχημάτων	vii
Περιεχόμενα Παραρτήματος	x
Κατάλογος Πινάκων Παραρτήματος Γ	xi
Κατάλογος Σχημάτων Παραρτήματος Β	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Επιστήμη της Ωκεανογραφίας	3
1.2. Εξοπλισμός ενός Ωκεανογραφικού	4
1.3. Απαιτήσεις Σχεδίασης	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	6
2.1. Κύριες Διαστάσεις και Χαρακτηριστικά Πλοίου	6
2.2. Χώροι Δεξαμενών	7
2.3. Μηχανολογικοί Χώροι	8
2.4. Χώροι Επιστημονικού Εξοπλισμού	9
2.5. Χώροι Εργαστηρίων	12
2.6. Χώροι ενδιαίτησης	13
2.7. Εκτεθειμένα Καταστρώματα & Εξοπλισμός	16
2.8. Διάταξη Κλιμακοστασίων	19
2.9. Πυρασφάλεια & Διάταξη Διαφυγής	19
2.10. Έλεγχος Απαιτήσεων	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	23
3.1. Εισαγωγή στο πρόγραμμα MARS2000	25
3.2. Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών	27
3.3. Εγκάρσια Δευτερεύοντα Ενισχυτικά	29
3.4. Πρωτεύοντα Ενισχυτικά (Έδρες, Ενισχυμένοι Νομείς)	31
3.4.1. Έδρες (Flours)	31
3.4.2. Ενισχυμένοι Νομείς (Web Frames)	32
3.5. Υδατοστεγείς Εγκάρσιες Φρακτές μέχρι το Upper Deck	32
3.6. Υπερκατασκευές	33
3.6.1. Υπερκατασκευές μέχρι το Upper Deck	34

3.6.2.	Υπερκατασκευές πάνω από το Upper Deck	34
3.6.3.	Εγκάρσιες Φρακτές των Υπερκατασκευών.....	35
3.6.4.	Κολόνες Στήριξης της Υπερκατασκευών.....	35
3.6.5.	Συνολικό Βάρος Υπερκατασκευών	36
3.7.	Συνολικό Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{STEEL}	36
3.8.	Ανάλυση Κατανομής Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{STEEL}	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (LIGHTSHIP)		42
4.1.	Βάρος Εξοπλισμού W_{OT} (Outfitting).....	43
4.1.1.	Βάρος Ενδιαίτησης W_{ACC}	43
4.1.2.	Βάρος Εξοπλισμού (χωρίς ενδιαίτηση & ειδικό εξοπλισμό)	45
4.1.3.	Βάρος Επιστημονικού εξοπλισμού & γερανών	47
4.2.	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης (W_M)	48
4.3.	Τελική Κατανομή Βάρους Κενού Σκάφους (W_{LS})	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ DEADWEIGHT & ΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ		52
5.1.	Ανάλυση Deadweight	52
5.1.1.	Βάρη δεξαμενών	52
5.1.2.	Βάρος έρματος (Στερεό & Υγρό)	55
5.1.3.	Φορτίο, Επιβάτες & Υπόλοιπα βάρη	56
5.2.	Πρόσθετοι Υπολογισμοί	57
5.2.1.	Καταμέτρηση.....	57
5.2.1.1.	Ολική Χωρητικότητα	58
5.2.1.2.	Καθαρή Χωρητικότητα.....	59
5.2.2.	Σύνθεση Πληρώματος.....	60
5.2.3.	Δείκτης εξαρτισμού (Equipment Number – EN).....	61
5.2.4.	Γραμμή Φόρτωσης (Load Line).....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ (ΑΘΙΚΤΗ & ΒΕΒΛΑΜΕΝΗ)		69
6.1.	Εισαγωγή στο Πρόγραμμα Nara	69
6.1.1.	Σχεδίαση Γραμμών.....	69
6.1.2.	Διαμερισματοποίηση.....	74
6.2.	Άθικτη Ευστάθεια	75
6.2.1.	Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας.....	75
6.2.2.	Καταστάσεις Φόρτωσης (Loading Conditions)	77
6.2.3.	Trim & Stability Booklet	78
6.3.	Ευστάθεια μετά από βλάβη	80

6.3.1.	Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A.....	80
6.3.2.	Εύρος επιτρεπόμενης Διαγωγής.....	82
6.3.3.	Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R.....	84
6.3.4.	Αποτελέσματα Nara	85
6.3.5.	Καμπύλη περιορισμού GM (Damage Stability).....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ & ΠΡΟΩΣΗΣ.....		92
7.1.	Προσδιορισμός Αντίστασης	92
7.1.1.	Πρόγραμμα CFD Shipflow	92
7.1.2	Υπολογισμός Ολικής Αντίστασης R_T	94
7.1.3.	Υπολογισμός Ισχύος Ρυμούλκησης	95
7.2	Επιλογή Προωστήριας Εγκατάστασης	96
7.2.1.	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών έλικας	97
7.2.2	Πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών	99
7.2.3.	Επιλογή ζεύγους ελίκων	101
7.2.4.	Επιλογή Ηλεκτρομηχανών	102
ΣΥΝΟΨΗ		104
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ		105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		106

Κατάλογος Σχεδίων

Σχέδιο 2. 1: Τελικό Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan)	22
Σχέδιο 3. 1: Μέση Τομή (Midship Section)	41
Σχέδιο 5. 1: Capacity Plan	68
Σχέδιο 6. 1: Σχέδιο Γραμμών - Lines Plan.....	72

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. 1: Απαιτήσεις Σχεδίασης Γενικής Διάταξης	5
Πίνακας 2. 1: Κύρια χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου	6
Πίνακας 2. 2: Επιμέρους εμβαδά δημοσίων χώρων ενδιαίτησης.....	14
Πίνακας 2. 3: Διάταξη Υδατοστεγών Θυρών (Watertight Doors).....	20
Πίνακας 2. 4: Διάταξη καταπακτών εκτάκτου διαφυγής.....	20
Πίνακας 2. 5: Έλεγχος Εκπλήρωσης Απαιτήσεων Σχεδίασης	21
Πίνακας 3. 1: Χαρακτηριστικά διαμήκων δομικών στοιχείων μέχρι το Strength Dk στις τομές του Mars	28
Πίνακας 3. 2 : Ολοκλήρωση κατανομής βάρους περιβλήματος και απλών ενισχυτικών μεταξύ των τομών του Mars	30
Πίνακας 3. 3: Συνολικός υπολογισμός βάρους υπερκατασκευών	36
Πίνακας 3. 4: Συνολικός υπολογισμός βάρους και κέντρου μεταλλικής κατασκευής.....	36
Πίνακας 3. 5: Ανάλυση και υπέρθεση της κατανομής βάρους της Wsteel στις επιμέρους κατηγορίες που την απαρτίζουν.....	38
Πίνακας 3. 6: Διακριτοποίηση κατανομής Wsteel.....	40
Πίνακας 4. 1: Συντελεστές βαρών χώρων ενδιαίτησης	43
Πίνακας 4. 2: Αναλυτικός Υπολογισμός βάρους ενδιαίτησης ανά κατάστρωμα	44
Πίνακας 4. 3: Υπολογισμός βάρους βοηθητικού εξοπλισμού WOT ανά κατηγορία.....	46
Πίνακας 4. 4: Προσδιορισμός κέντρου βάρους εξοπλισμού.....	46
Πίνακας 4. 5: Εκτίμηση βάρους ειδικού εξοπλισμού ωκεανογραφικού.....	47
Πίνακας 4. 6: Αναλυτική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης (WM).....	48
Πίνακας 4. 7: Τελικός προσδιορισμός βάρους και κέντρου του κενού σκάφους (Lightship)	49
Πίνακας 4. 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων με ωκεανογραφικό όμοιων διαστάσεων.....	49
Πίνακας 4. 9: Ανάλυση βαρών Lightship όπως εισήχθησαν στο NAPA.	50
Πίνακας 5. 1: Ομάδες βαρών Deadweight.....	52
Πίνακας 5. 2 : Γεωμετρικά στοιχεία δεξαμενών (Όγκος, Κέντρο & Ελεύθερη επιφάνεια)	54
Πίνακας 5. 3: Βάρος και θέση στερεού έρματος (Solid Ballast)	55
Πίνακας 5. 4: Ομάδες βαρών Deadweight στην κατάσταση Homo_Dep.....	56
Πίνακας 5. 5: Συνολικός όγκος κλειστών χώρων πλοίου.....	58
Πίνακας 5. 6: Σύθεση Πληρώματος.....	60
Πίνακας 5. 7: Χαρακτηριστικά υπερκατασκευών πάνω από το Upper Dk.....	61
Πίνακας 5. 8: Χαρακτηριστικά αγκύρωσης πλοίου	62
Πίνακας 5. 9: Πίνακας εξάλων πλοίου (Load Line)	66

Πίνακας 6. 1: Περίληψη καταστάσεων φόρτωσης.....	79
Πίνακας 6. 2: Χαρακτηριστικά πλεύσης αρχικών συνθηκών DL, DP & DS	83
Πίνακας 6. 3: Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R για επιβατηγά κατά SOLAS 2020.....	84
Πίνακας 6. 4: Αρχικές καταστάσεις DL, DP & DS στην πρώτη δοκιμή	88
Πίνακας 6. 5: Αποτελέσματα επιτευχθέντα δείκτη A για τα τρία σετ διαγωγών.....	90
Πίνακας 6. 6: Ανάλυση δείκτη A ανά ζώνες κατάκλισης	90
Πίνακας 6. 7: Σημεία περιορισμού του GM από Damage	91
Πίνακας 7. 1: Ανάλυση συντελεστή αντίστασης CT.....	94
Πίνακας 7. 2: Ανάλυση αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας	95
Πίνακας 7. 3: Αντίσταση και Ισχύς Ρυμούλκησης συναρτήσει της ταχύτητας.....	95
Πίνακας 7. 4: Συντελεστές μορφής.....	97
Πίνακας 7. 5: Αποτελέσματα GRID.F95 για την ταχύτητα υπηρεσίας (Vs=12 kn).....	100
Πίνακας 7. 6: Χαρακτηριστικά επιλαχούσας έλικας	101
Πίνακας 7. 7: Αντίσταση και ισχύς έλικας για προσαυξημένη αντίσταση	102

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2. 1: Κάτοψη διπύθμενου στην περιοχή του μηχανοστασίου	8
Σχήμα 2. 2: Μηχανολογικοί χώροι στο Tween Dk	9
Σχήμα 2. 3: Διάταξη χώρων εξοπλισμού στο Tank Top	10
Σχήμα 2. 4: Κάτοψη διπυθμένου	11
Σχήμα 2. 5: Κάτοψη πάνω από το διπύθμενο (Tank Top)	11
Σχήμα 2. 6: Διάταξη των εργαστηρίων στο Main Dk (νομείς 28-72)	13
Σχήμα 2. 7: Διάταξη ενδιαίτησης στο Main Dk (νομείς 70-108).....	13
Σχήμα 2. 8: Διάταξη χώρου τυπικών μορφών καμπινών	14
Σχήμα 2. 9: Κάτοψη Tween Deck (z = 4.00 m)	15
Σχήμα 2. 10: Κάτοψη Main Deck (z = 6.80 m).....	15
Σχήμα 2. 11: Κάτοψη Upper Deck (z = 9.60 m).....	17
Σχήμα 2. 12: Κάτοψη A Deck (z = 12.20 m) & Navigation Deck (z = 14.90 m)	17
Σχήμα 2. 13: Πλευρική Όψη - Προφίλ	18
Σχήμα 3. 1: Στιγμιότυπο του Mars Rule στον νομέα 28aft	26
Σχήμα 3. 2: Κατανομή βάρους διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων μέχρι το Strength Dk.....	28
Σχήμα 3. 3: Τελικό διάγραμμα της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής	39
Σχήμα 4. 1: Τελική κατανομή Lightship.....	51
Σχήμα 5. 1: Διάταξη των διαμερισμάτων (Tank Plan).....	53
Σχήμα 5. 2: Πλευρική επιφάνεια εξαρτισμού	62
Σχήμα 5. 3: Plimsoll mark	66
Σχήμα 5. 4: Deadweight Scale	67
Σχήμα 6. 1: Σχεδίαση Πρωραίου τμήματος (Hull Surface Editor).....	70
Σχήμα 6. 2: Σχεδίαση Πρυμναίου τμήματος (Hull Surface Editor).....	71
Σχήμα 6. 3: Στεγανός όγκος γάστρας ‘Stabhull’	73
Σχήμα 6. 4: Περιβάλλον διαμερισματοποίησης (Compartment Editor).....	74
Σχήμα 6. 5: Επιτρεπόμενο εύρος GMFLUID για την άθικτη ευστάθεια	76

Σχήμα 6. 6: Μήκους υποδιαίρεσης L_s	82
Σχήμα 6. 7: Επιτρεπόμενη περιοχή διαγωγής από damage stability	83
Σχήμα 6. 8: Υδατοστεγής διάταξη (Subdivision) πλοίου	87
Σχήμα 6. 9: Δείκτης επιβίωσης S 3 ζωνών στην κατάσταση DL	89
Σχήμα 6. 10: Καμπύλη περιορισμού του GM (Intact + Damage stability).....	91
Σχήμα 7. 1: Διαμόρφωση κυματισμών ελεύθερης επιφάνειας ($F_n = 0.236$)	93
Σχήμα 7. 2: Κατανομή πιέσεων στην επιφάνεια της γάστρας.....	94
Σχήμα 7. 3: Αντίσταση και Ισχύς Ρυμούλκησης συναρτήσει της ταχύτητας	96
Σχήμα 7. 4: Πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών για την υπό σχεδίαση έλικα.....	100

Περιεχόμενα Παραρτήματος

Παράρτημα Α: Σχέδιο Γενικής Διάταξης (G.A).....	A.1
Παράρτημα Β: Εγκάρσιες τομές στο Mars.....	B.1 - B.21
Παράρτημα Γ: Συνοδευτικοί Πίνακες Υπολογισμού Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής.....	Γ.1 - Γ.11
Παράρτημα Δ: Σχέδιο Μέσης Τομής (Midship Section)	Δ.1
Παράρτημα Ε: Capacity Plan.....	E.1
Παράρτημα ΣΤ: Lines Plan	ΣΤ.1
Παράρτημα Ζ: Trim & Stability Booklet	
Part I : General Information.....	Z.1 - Z.18
Part II : Loading Conditions.....	Z.20 - Z.62
Part III: Hydrostatics	Z.63 - Z.71
Part IV: Cross Curves & Stability Limiting Tables.....	Z.72 - Z.88
Part V : Tank Capacities & Calibration tables	Z.89 - Z.91
Part VI: Lightship Distribution.....	Z.92 - Z.94
Παράρτημα Η: Probabilistic Damage (Data & Results).....	H.1 - H.23
Παράρτημα Θ: Shipflow Summary Report	Θ.1 - Θ.11
Παράρτημα Ι: Χαρακτηριστικά Ελίκων & Ηλεκτρομηχανών	
I.1: Χαρακτηριστικά ζεύγους Ελίκων	I.1
I.2: Χαρακτηριστικά Ηλεκτρομηχανών.....	I.2

Κατάλογος Πινάκων Παραρτήματος Γ

Πίνακας Γ. 1: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame -5.....	2
Πίνακας Γ. 2: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame 12.....	2
Πίνακας Γ. 3: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame 28 aft.....	2
Πίνακας Γ. 4: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame 92 fore.....	3
Πίνακας Γ. 5: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame 108.....	3
Πίνακας Γ. 6: Εγκάρσια απλά ενισχυτικά μέχρι το Strength Dk στην τομή: Frame 116.....	4
Πίνακας Γ. 7: Ενσωμάτωση εγκάρσιων απλών ενισχυτικών στα διαμήκη δομικά στοιχεία στις τομές του Mars.....	4
Πίνακας Γ. 8: Αναλυτικός υπολογισμός του βάρους και του κέντρου των εδρών.....	5
Πίνακας Γ. 9: Υπολογισμός κατανομής βάρους των εδρών στις τομές του Mars.....	6
Πίνακας Γ. 10: Υπολογισμός βάρους ενισχυμένων νομέων μέχρι το Main Deck.....	7
Πίνακας Γ. 11: Υπολογισμός βάρους Εγκαρσίων Φρακτών.....	8
Πίνακας Γ. 12: Υπολογισμός βάρους διαμήκων φρακτων , μη υπολογισμένων στο Mars.....	8
Πίνακας Γ. 13: Χαρακτηριστικά διαμήκων στοιχείων υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck.....	9
Πίνακας Γ. 14: Χαρακτηριστικά απλών εγκαρσίων υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck.....	9
Πίνακας Γ. 15: Υπολογισμός βάρους υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck.....	9
Πίνακας Γ. 16: Υπολογισμός βάρους διαμήκων στοιχείων πάνω από το Upper Dk.....	10
Πίνακας Γ. 17: Υπολογισμός βάρους εγκαρσίων ενισχυτικών πάνω από το Upper Dk.....	10
Πίνακας Γ. 18: Υπολογισμός βάρους εγκάρσιων φρακτών των υπερκατασκευών πάνω από το Upper Deck.....	11
Πίνακας Γ. 19: Υπολογισμός βάρους κολόνων υπερκατασκευών.....	11

Κατάλογος Σχημάτων Παραρτήματος Β

Σχήμα Β. 1: MIDSHIP SECTION (Xaft=32.4 m, Xfore= 38.4m) - Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία.....	1
Σχήμα Β. 2: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας -5 (X=-3.0 m).....	5
Σχήμα Β. 3: Εγκάρσια Ενισχυτικά – Νομέας -5 (X=-3.0 m).....	6
Σχήμα Β. 4: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 12 (X=7.2 m).....	7
Σχήμα Β. 5: Εγκάρσια Ενισχυτικά - Νομέας 12 (X=7.2 m).....	8
Σχήμα Β. 6: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 28 aft (X 16.8 m).....	9
Σχήμα Β. 7: Εγκάρσια Ενισχυτικά – Νομέας 28 aft (X 16.8 m).....	10
Σχήμα Β. 8: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 28 fore (X 16.8 m).....	11
Σχήμα Β. 9: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 44 (X 26.4 m).....	12
Σχήμα Β. 10: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 76 (X 45.6 m).....	13
Σχήμα Β. 11: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 92 aft (X 55.2 m).....	14
Σχήμα Β. 12: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 92 fore (X 55.2 m).....	15
Σχήμα Β. 13: Εγκάρσια Ενισχυτικά – Νομέας 92 fore (X 55.2 m).....	16
Σχήμα Β. 14: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 108 (X 64.8 m).....	17
Σχήμα Β. 15: Εγκάρσια Ενισχυτικά – Νομέας 108 (X 64.8 m).....	18
Σχήμα Β. 16: Διαμήκη Κατασκευαστικά Στοιχεία – Νομέας 116 (X 69.6 m).....	19
Σχήμα Β. 17: Εγκάρσια Ενισχυτικά – Νομέας 116 (X 69.6 m).....	20
Σχήμα Β. 18: Κατανομή βάρους διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων μέχρι το Strength Dk.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Απότοκο της εκπόνησης της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας, είναι η μελέτη και σχεδίαση ενός σύγχρονου και αξιόπλοου Ωκεανογραφικού Σκάφους. Η σχεδίαση αυτή θα πρέπει να είναι εναρμονισμένη με τις αρχές και τους κανόνες που διέπουν την Ναυπηγική, συνυπολογίζοντας βέβαια τις ανάγκες των ερευνών της σύγχρονης Ωκεανογραφίας.

Η διαδικασία του προσδιορισμού του προκαταρκτικού σχεδίου της Γενικής Διάταξης αναλύεται ενδελεχώς στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας. Λαμβάνοντας ιδέες για σχεδιαστικές λύσεις από τις διατάξεις διαφόρων υπάρχοντων ωκεανογραφικών πλοίων και διανθίζοντάς τες με νέες ιδέες, άρχισε να «χτίζεται» η βασική εικόνα της γενικής διάταξης. Μέσα από μία κυκλική διαδικασία, η αρχική βασική εικόνα εμπλουτίστηκε με περισσότερες λεπτομέρειες και πιο σαφή στοιχεία, με αποτέλεσμα να τελεσφορήσει η τελική μορφή του σχεδίου της Γενικής Διάταξης, η οποία πληροί τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά της σχεδίασης και βρίσκεται στο [Παράρτημα \(Α\)](#).

Με την διάταξη του πλοίου καθορισμένη πλέον, ακολούθησε η προκαταρκτική μελέτη της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Αρχικά, προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (και συνεπώς το βάρος) των διαμήκων στοιχείων επιλεγμένων εγκάρσιων τομών, μέσω του προγράμματος του BV Mars2000, οι οποίες και παρουσιάζονται στο [Παράρτημα \(Β\)](#). Από τις τομές αυτές, προκύπτει η κατανομή του βάρους τους, που θα αποτελέσει την βάση για την κατανομή της μεταλλικής κατανομής. Στην συνέχεια, καθορίστηκαν και τα υπόλοιπα βάρη που απαρτίζουν την μεταλλική κατασκευή, οι υπολογισμοί των οποίων βρίσκονται επίσης στο [Παράρτημα \(Γ\)](#). Η υπέρθεση των κατανομών των επιμέρους βαρών στο πεδίο δράσης τους, στην αρχική βασική κατανομή, οδηγεί στον καθορισμό της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής, η οποία αποτελεί και το αποτέλεσμα του κεφαλαίου 4. Επίσης, στο [Παράρτημα \(Δ\)](#) παρατίθεται και το τελικό σχέδιο της μέσης τομής.

Έπειτα, στο κεφάλαιο 4, πραγματοποιείται η εκτίμηση της κατανομής του κενού σκάφους (Lightship), με τον προσδιορισμό και ενσωμάτωση των βαρών του εξοπλισμού, της ενδιαίτησης και της μηχανολογικής εγκατάστασης, στην υπάρχουσα καμπύλη της μεταλλικής κατασκευής. Με τον προσδιορισμό της κατανομής αυτής, κατέστη εφικτή η μελέτη της διαμήκου αντοχής (S.F. – B.M.) στις υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης (μελέτη του πλοίου ως δοκός).

Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 5, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των επιμέρους βαρών του Deadweight, σύμφωνα με την ήδη προσδιορισμένη γενική διάταξη, και διεκπεραιώθηκε το Capacity Plan, το οποίο παρουσιάζεται στο [Παράρτημα \(Ε\)](#). Ακολούθησαν πρόσθετοι υπολογισμοί, που αφορούν την καταμέτρηση, τον δείκτη εξαρτισμού (Equipment Number-EN), την σύνθεση του πληρώματος, καθώς επίσης και την Γραμμή Φόρτωσης (ILLC- Load line).

Επόμενο στάδιο της διπλωματικής, στο κεφάλαιο 6, αποτελεί ο έλεγχος της ευστάθειας του πλοίου, αρχικά στην άθικτη, και στην συνέχεια στην βεβλαμένη κατάσταση, με την βοήθεια

του NAPA. Αρχικά, έχοντας ως βάση ένα αρχικό σχέδιο γραμμών, και με μικρές παρεμβάσεις όπου θεωρήθηκαν αναγκαίες, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της τελικής μορφής της γάστρας στο πρόγραμμα, το σχέδιο γραμμών (Lines Plan), το οποίο βρίσκεται στο [Παράρτημα \(ΣΤ\)](#). Στην συνέχεια, έλαβε χώρα η διαμερισματοποίηση του υδατοστεγούς όγκου της γάστρας (Stabhull), σύμφωνα με την προσδιορισθείσα Γενική διάταξη. Τέλος, καθορίστηκαν οι υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου, πάνω στις οποίες βασίστηκε και το Trim & Stability Booklet, το οποίο καταστρώθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής και παρουσιάζεται στο [Παράρτημα \(Ζ\)](#).

Σειρά έχει η ευστάθεια μετά από βλάβη, η οποία διεξήχθη υπό το πρίσμα της πιθανοθεωρητικής προσέγγισης. Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής, αποτελεί η εξαγωγή της καμπύλης περιορισμού του μετακεντρικού ύψους GM, η οποία, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη καμπύλη του Intact, καθορίζει την ασφαλή περιοχή πλεύσης του πλοίου, από άποψη ευστάθειας. Τα αποτελέσματα, καθώς και τα δεδομένα της μελέτης αυτής, συναντώνται στο [Παράρτημα \(Η\)](#).

Τέλος, στο κεφάλαιο 7, πραγματοποιείται ο προσδιορισμός της καμπύλης αντίστασης του πλοίου, με την χρήση του προγράμματος Υπολογιστικής Υδροδυναμικής (CFD) Shipflow το οποίο λύνει την πολύπλοκη εξίσωση του Navier-Stokes μέσω επαναληπτικής διαδικασίας. Η τελική περιληπτική αναφορά (Summary Report) του προγράμματος παρατίθεται στο [Παράρτημα \(Θ\)](#). Ως ταχύτητα υπηρεσίας, από τις απαιτήσεις σχεδίασης, λαμβάνονται οι 12 κόμβοι.

Σύμφωνα με την επαγόμενη αντίσταση στην ταχύτητα αυτή, σχεδιάζεται η προωστήρια εγκατάσταση. Ο τύπος της προπέλας επιλέγεται να είναι azimuthal μεταβλητού βήματος (C.C.P.), για μεγαλύτερη ευελιξία ελιγμών και την διατήρηση της θέσης του πλοίου, ανεξαρτήτως των κυματισμών (Dynamic Position - DP) κατά την διάρκεια των ερευνητικών δραστηριοτήτων. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών και της περιοχής λειτουργίας της, επετεύχθη με την βοήθεια του κώδικα Grid.F-95. Τέλος, επιλέγεται ο αριθμός και η ισχύς των ηλεκτρομηχανών. Τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων μοντέλων ελίκων και ηλεκτρομηχανών, σύμφωνα με τους κατασκευαστές, βρίσκονται στο [Παράρτημα \(Ι\)](#).

Συνοψίζοντας, στα πλαίσια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής, έλαβε χώρα μια προκαταρκτική μελέτη, ευρέως φάσματος, σχεδιασμού του υπό μελέτη πλοίου. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έχουν την δυνατότητα να αποτελέσουν την βάση για περαιτέρω διερεύνηση, ώστε η διερεύνηση αυτή, μέσω κυκλικής διαδικασίας, να τελεσφορήσει στην τελική και λεπτομερή σχεδίαση του Ωκεανογραφικού.

Σημειώνεται επίσης, ότι το όνομα που εδόθει στο υπό μελέτη πλοίο, είναι το «ΠΕΡΣΕΑΣ». Το όνομα αυτό, καταγράφεται σε όλα τα σχέδια και τα outfit των εκάστοτε προγραμμάτων, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα.

1.1. Επιστήμη της Ωκεανογραφίας

Για να γίνει αντιληπτός ο σκοπός και ο απαιτούμενος εξοπλισμός ενός ωκεανογραφικού σκάφους, θα πρέπει πρώτα να αναλυθούν οι βασικές αρχές της επιστήμης την οποία υπηρετεί.

«Η Ωκεανογραφία είναι γενικά μια πολυσύνθετη επιστήμη που σαν αντικείμενο έχει την έρευνα των θαλασσών, των ωκεανών και των λιμνών, όχι μόνον από την άποψη της συμπεριφοράς, της ποιότητας και της καταλληλότητας του νερού (φυσική – χημική – βιολογική), αλλά και από την άποψη της αναγνώρισης του χώρου που περιβάλλει και ευρίσκεται κάτω από τις μάζες νερού (γεωλογική – ακτογραφική – ιζηματολογική – γεωφυσική), των οποίων η επιστημονική σπουδαιότητα και οικονομική αξία είναι μεγάλη».
(Λεοντάρης Σ., 1995)

Η επιστήμη της ωκεανογραφίας μπορεί να αναλυθεί σε 4 κύριες συνιστώσες, οι οποίες διαχωρίζουν και εξειδικεύουν τους χώρους των εργαστηρίων επί του πλοίου.

Οι συνιστώσες αυτές ορίζονται, σύμφωνα με τον κ. Δασενάκη στο βιβλίο «Χημική Ωκεανογραφία», ως εξής:

- Η Φυσική Ωκεανογραφία: Μελετά τα κύματα, τις παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα. Μελετά, ακόμα, ό,τι αφορά τις φυσικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ωκεανού και ατμόσφαιρας, οι οποίες επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα.
- Η Χημική Ωκεανογραφία: Έχει ως αντικείμενο τη χημεία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Μελετά τις χημικές διεργασίες στους θαλάσσιους οργανισμούς, στις μεσεπιφάνειες (ατμόσφαιρας - θάλασσας και θάλασσας – ιζήματος), στα ιζήματα κ.λπ. Επίσης, τις χημικές διεργασίες που συνδέονται με τη θαλάσσια ρύπανση και την συμπεριφορά ρυπογόνων ουσιών που καταλήγουν στη θάλασσα.
- Η Βιολογική Ωκεανογραφία: Μελετά όλα τα ζωντανά είδη που υπάρχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους, δηλαδή την τροφική αλυσίδα, τη βιοποικιλότητα κ.λπ. Τμήμα της αποτελεί η Θαλάσσια Οικολογία.
- Η Γεωλογική Ωκεανογραφία: Περιλαμβάνει, τη Γεωλογία, την Ιζηματολογία και τη Γεωφυσική. Μελετά τη δομή, μορφή και την μεταβλητότητα του θαλάσσιου πυθμένα σε βάθος χρόνου. Επιπροσθέτως, ασχολείται με τον θαλάσσιο φλοιό, τις ιζηματογενείς αποθέσεις, τη δημιουργία ή διάβρωση των ακτογραμμών, τα ηφαίστεια και τον τρόπο επίδρασής τους στο θαλάσσιο περιβάλλον κ.λπ.

1.2. Εξοπλισμός ενός Ωκεανογραφικού

Τα ωκεανογραφικά σκάφη ανήκουν στην κατηγορία πλοίων ειδικού σκοπού (Special Purpose Ship – SPS vessel) και είναι σχεδιασμένα ως προηγμένες κινητές ερευνητικές μονάδες, για επιτόπιες (in situ) θαλάσσιες δειγματοληψίες, μετρήσεις και έρευνες.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας θαλάσσιου νερού μπορεί να επιτευχθεί μέσω ωκεανογραφικών φιαλών που βυθίζονται με την βοήθεια ροζέτας, πάνω στην οποία υπάρχει το αυτογραφικό όργανο CTD.

Το CTD (Conductivity – Temperature – Depth) αποτελεί το κύριο όργανο της Φυσικής Ωκεανογραφίας, το οποίο καταγράφει τις φυσικές ιδιότητες της θάλασσας. Όπως προΐδεάζει και το όνομά του, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αγωγιμότητας, της θερμοκρασίας και του βάθους της θάλασσας, μέσω των αντίστοιχων αισθητήρων. Η μέτρηση του αισθητήρα αγωγιμότητας υποδεικνύει την αλατότητα του μέσου, ενώ το βάθος πόντισης του οργάνου, προσδιορίζεται από αισθητήρα πίεσης.

Στο όργανο αυτό μπορούν να ενταχθούν κι άλλοι αισθητήρες μέτρησης πάσης φύσεως, όπως pH, σκέδασης φωτός, ραδιενέργειας, αισθητήρες περιεκτικότητας διαλυμένου οξυγόνου ή άλλου στοιχείου κ.λπ.

Η μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης των θαλάσσιων ρευμάτων πραγματοποιείται μέσω των ακουστικών ρευματογράφων (Sonars), οι οποίοι λειτουργούν εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο Doppler. Η ταχύτητα υπολογίζεται από την αλλαγή της συχνότητας στους ηχητικούς παλμούς που στέλνουν τα Sonars, όταν ανακλώνται πίσω, λόγω του φαινομένου αυτού.

Ως προς την Χημική Ωκεανογραφία, η μελέτη πραγματοποιείται μέσω διαδικασιών όπως η χρωματογραφία και η φασματομετρία μαζών και ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός των δειγμάτων, διαδικασίες που απαιτούν τον κατάλληλο εξοπλισμό. Η χρωματογραφία είναι χημική αναλυτική τεχνική διαχωρισμού ουσιών από το μείγμα τους, ενώ με την φασματογραφία μπορεί να προσδιοριστεί το μοριακό βάρος (MB) μιας χημικής ένωσης και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων στοιχείων μεταξύ τους.

Ως προς την Βιολογική Ωκεανογραφία, για τη συλλογή ζωντανών οργανισμών από τους ωκεανούς χρησιμοποιείται μια ευρεία γκάμα οργάνων δειγματοληψίας, όπως διαφόρων ειδών δίχτυα κ.α., τα χαρακτηριστικά των οποίων εξαρτώνται από το είδος του προς μελέτη θαλάσσιου οργανισμού.

Για την μελέτη της Θαλάσσιας Γεωλογίας, το κύριο ερευνητικό όργανο είναι το βυθόμετρο (Multibeam Echosounder), το οποίο χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα. Το όργανο αυτό, είναι τύπος ηχοβολιστικού που εκπέμπει ηχητικά κύματα, τα οποία ταξιδεύουν σε κωνικό σχηματισμό. Τα όργανα αυτά, μετρούν και καταγράφουν τα ανακλώμενα κύματα και μέσω μετατροπέων (Transducers) προσδιορίζουν την μορφή και την φύση του πυθμένα.

Για την μελέτη των στρωμάτων κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα, χρησιμοποιούνται τα όργανα διασκόπησης, τα οποία επιτυγχάνουν την διείσδυση των ηχητικών κυμάτων στο

υπέδαφος. Τα όργανα αυτά λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή του βυθόμετρου, εκπέμποντας όμως μεγαλύτερης έντασης κύματα, ώστε να διαπεράσουν τον πυθμένα. Η μεγάλη διείσδυση εκτελείται σε βάρος της ακρίβειας των μετρήσεων, καθώς με την συνεπαγόμενη αύξηση της έντασης των κυμάτων, υπεισέρχονται και παράγοντες ‘θορύβου’, που οδηγούν σε σφάλμα ανάλογο της αύξησης αυτής.

Όσον αφορά την ανίχνευση αποθεμάτων πετρελαίου στο υπέδαφος, το μεγάλο χιλιομετρικό βάθος στο οποίο βρίσκονται, απαιτεί πολύ μεγάλη ισχύ του παραγόμενου κύματος, το οποίο επιτυγχάνεται με μεγάλους μεγάλους αεροσυμπιεστές σε σειρά.

Τέλος, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ρομποτικής, υπάρχει το υπόβαθρο και η τεχνογνωσία για την χρήση τηλεκατευθυνόμενων υποβρυχίων οχημάτων (Remotely Operated Underwater Vehicle - ROV) για ωκεανογραφικές μελέτες, για την συστηματική παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και δειγματοληψία.

1.3. Απαιτήσεις Σχεδίασης

Οι απαιτήσεις σχεδίασης, που αφορούν τον καθορισμό των εργαστηρίων και των υπόλοιπων χώρων του πλοίου, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. 1: Απαιτήσεις Σχεδίασης Γενικής Διάταξης

GENERAL ARRANGEMENT REQUESTMENTS		
Free Deck Area at Main Deck (aft)	[m ²]	300
Accommodation (total)	-	50
LABORATORIES		
Chemical & Biological Lab	[m ²]	45
CTD Control Room	[m ²]	10
Geophysical Lab	[m ²]	50
Wet Lab	[m ²]	20
Computer Lab	[m ²]	20
Total Lab Area	[m ²]	175
SUPPORTIVE & EQUIPMENT SPACES		
20ft Container Capacity (Labs, Equipment or Storage)	-	4
Meeting Room	[m ²]	30
Preservation/Cooling Room	[m ²]	2x10.0
Electrical Workshop	[m ²]	15
Mechanical Workshop	[m ²]	15
Transducers Room at Tank Top	[m ²]	50

Ο καθορισμός της Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου, καθώς και η ανάλυση των απαιτούμενων χώρων, μελετάται ενδελεχώς στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, λαμβάνει χώρα ο προσδιορισμός της Γενικής Διάταξης του υπό μελέτη πλοίου. Σκοπός της σχεδίασης αποτελεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων που τέθηκαν, με όσο το δυνατόν πιο λειτουργικό και πρακτικό τρόπο.

Βάση της σχεδίασης αποτέλεσε προηγούμενη διπλωματική πάνω στο εν λόγω πρότζεκτ του ωκεανογραφικού, από την φοιτήτρια της σχολής Καψάλη Τριαντάφυλλη-Αναστασία τον Οκτώβριο του 2016. Επίσης, στοιχεία ελήφθησαν από σχεδιαστικές λύσεις υπαρχόντων πλοίων, παρόμοιων διαστάσεων και σκοπού. Παραδείγματα ωκεανογραφικών πλοίων που αποτέλεσαν πηγή ιδεών ήταν κατά κύριο λόγο, το αμερικανικό ωκεανογραφικό «Neil Armstrong» (I.M.O 9688946) και το αντίστοιχο Ιρλανδικό, «Celtic Explorer» (I.M.O. 9244439).

Η σχεδιαστική βάση από τα υπάρχοντα πλοία, εμπλουτίστηκε με νέες ιδέες και μέσω ελικοειδούς διαδικασίας, επετεύχθη η διαμόρφωση του προκαταρκτικού σχεδίου Γενικής Διάταξης του Ωκεανογραφικού.

2.1. Κύριες Διαστάσεις και Χαρακτηριστικά Πλοίου

Η επιλογή των κύριων διαστάσεων του πλοίου προέκυψε από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γραμμών που έλαβα σε μορφή AutoCAD από τον διδάσκοντα, καθώς και από τις απαιτήσεις σχεδίασης.

Τα χαρακτηριστικά αυτά, παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. 1: Κύρια χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου

Κύρια Χαρακτηριστικά		
Ολικό Μήκος	LOA =	76.8
Μήκος μεταξύ Καθέτων	LBP =	70.1 m
Πλάτος	B =	15.5 m
Κοίλο	D =	6.80 m
Βύθισμα	T =	4.40 m
Ταχύτητα Υπηρεσίας	V =	12 kn
Πλήρωμα		25 persons
Επιστήμονες		25 persons

Τα καταστρώματα του υπό μελέτη πλοίου, προσδιορίστηκαν ως εξής:

- Tank Top (z = 1.2 m)
- Tween Deck (z = 4.0 m)
- Main Deck (z = 6.8 m)
- Upper Deck (z = 9.6 m)
- A deck (z = 12.4 m)
- Navigation Deck (z = 14.9 m)

Η ισαπόσταση των νομέων (Frame Spacing) είναι σταθερή και ίση με 600 mm, ενώ οι ενισχυμένοι νομείς (Web Frames) είναι παρατεταγμένοι ανά 4 απλούς νομείς (2,4 μέτρα).

Το κατάστρωμα μέχρι το οποίο εκτείνονται οι υδατοστεγής εγκάρσιες φρακτές, ορίζεται το Main Dk.

Οι Υδατοστεγείς Φρακτές (Watertight Bulkheads) είναι 6 και βρίσκονται στους νομείς: 12, 28, 44, 72, 92 & 108, χωρίζοντας το πλοίο σε διαμήκεις ζώνες πυροπροστασίας, αλλά και κατάκλιση, σε περίπτωση βλάβης. Οι φρακτές στους νομείς 28 και 44 αποτελούν την πυρμαία και πρωραία φρακτή του μηχανοστασίου αντίστοιχα.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για τη φρακτή στον νομέα 108, η οποία εκτείνεται μέχρι το Upper Deck και αποτελεί την πρωραία φρακτή σύγκρουσης.

Ο κανονισμός της MSC.194(80) (SOLAS 2009 Ch. II-1, Reg. 12), για τα επιβατηγά πλοία με βολβοειδή πλώρη αναφέρεται στην απόσταση της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης από το σημείο α, το οποίο απέχει από την πρωραία κάθετο FP :

$$\alpha = \min \begin{cases} \text{μέσο βολβού} = 2.1 \text{ m} \\ 1.5\% L \\ 3 \text{ m} \end{cases} = 1.05 \text{ m} \Rightarrow \alpha = 1.06 \text{ m from FP}$$

Όπου L το μήκος εξάλων που προκύπτει από την Γραμμή Φόρτωσης, το οποίο προσδιορίζεται ως $L=71.098 \text{ m}$ στο υποκεφάλαιο 5.2.4. Γραμμή Φόρτωσης (Load Line).

Η απόσταση d του σημείου α από την πρωραία φρακτή σύγκρουσης, αναλύεται ως το άθροισμα των αποστάσεων της φρακτής και του σημείου α από πρωραία κάθετο FP αντίστοιχα. Δηλαδή:

$$d = 5.11 + 1.05 = 6.16 \text{ m}$$

Σύμφωνα με τον κανονισμό θα πρέπει να ισχύει ο εξής περιορισμός για την απόσταση αυτή:

$$\min(5\% L, 10) < d < \max(5\%L+3, 8\% L)$$

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου : $3.55 \text{ m} < 6.16 \text{ m} < 6.55 \text{ m}$ που είναι αληθές.

Συνεπώς, ικανοποιείται ο περιορισμός θέσης της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης.

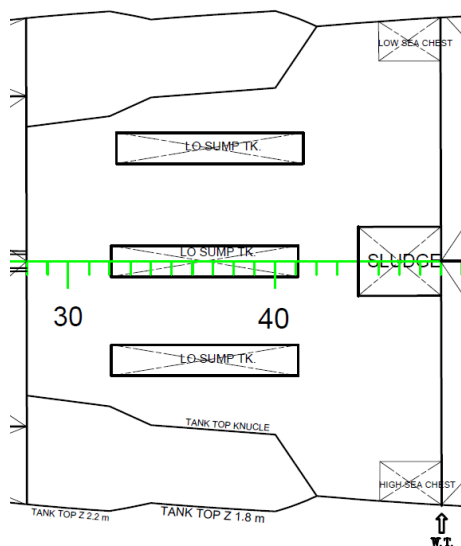
2.2. Χώροι Δεξαμενών

Ο κύριος όγκος των δεξαμενών βρίσκεται στο διπύθμενο του πλοίου, η μορφή του οποίου θα αναλυθεί παρακάτω. Σύμφωνα με τον κανονισμό MSC.194(80) (SOLAS 2009 Ch. II-1, Reg. 9), η απόσταση h_{DB} του διπυθμένου από την τρόπιδα (keel line) κατά μήκος του πλοίου, πρέπει να είναι τουλάχιστον: $h_{DB} \geq \max(B/20, 0.76) = 0,776 \text{ m}$

Επιλέχθηκε το ύψος του διπυθμένου ως 1,2 μέτρα μεταξύ των νομέων 42 και 92 πληρώντας τον κανονισμό. Στην περιοχή του Bow Thruster Room, επιλέγεται ύψος διπυθμένου 2 μέτρα, όσο και το κέντρο των τούνελ των bow thrusters, για την καλύτερη στήριξή τους. Πρύμνηθεν του νομέα 42, εντός του μηχανοστασίου, λόγω της απότομης ανύψωσης του πυθμένα, το διπύθμενο έχει ιδιόμορφη σχεδίαση, ώστε να πληροί τον κανονισμό. Πιο συγκεκριμένα, κάνει «σκαλοπάτια», αλλάζοντας ύψος (νομείς: 34-40 $Z=1,8 \text{ m}$ & νομείς: 28-

32 Z=2.2m), ενώ το tank top εδράζεται στο side shell μέσω διαγώνιου ελάσματος margin plate γωνίας το πολύ 25°, που αποτελεί συνήθη κατασκευαστική λύση στα επιβατηγά. Πίσω από την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου, ο πυθμένας έχει ανασηκωθεί τόσο, ώστε τον ρόλο του διπυθμένου να τον έχει το Tween deck.

Η σχεδίαση του διπυθμένου, στην περιοχή του μηχανοστασίου, παρουσιάζεται στην παρακάτω κάτοψη:



Σχήμα 2. 1: Κάτοψη διπύθμενου στην περιοχή του μηχανοστασίου

Εντός του διπυθμένου, προς την πλώρη, βρίσκονται οι δεξαμενές θαλάσσιου έρματος, για την ρύθμιση της ευστάθειας και διαγωγής του πλοίου. Επίσης, εντός του διπυθμένου, έχουν τοποθετηθεί οι δεξαμενές αποβλήτων (Sewage Tk P&S και Sludge Tk), οι δεξαμενές λιπαντικού ελαίου τροφοδοσίας των τριών ηλεκτρομηχανών (L.O. Sump Tk P,S & C), οι κενοί χώροι (DB Void Spaces), καθώς και τα Sea Chests, από τα οποία αντλείται θαλασσινό νερό για τις διάφορες ανάγκες του πλοίου.

Σημειώνεται ότι η πρόσβαση στους χώρους του διπύθμενου επιτυγχάνεται μέσω ανθρωποθυρίδων (manholes) της εκάστοτε δεξαμενής, που βρίσκονται επί του Tank Top.

Οι δεξαμενές βαρέως καυσίμου (H.F.O. Tanks), βρίσκονται πίσω από το μηχανοστάσιο και εκτείνονται μέχρι το Tween Dk, καθώς επίσης και στο κέντρο του πλοίου (νομείς: 48 - 54) πάνω από το διπύθμενο. Όσον αφορά τις δεξαμενές γλυκού νερού (Fresh W. & Drink W. Tks), αυτές βρίσκονται πλευρικά κατά μήκους του Bow Thruster Room (double skin).

2.3. Μηχανολογικοί Χώροι

Πάνω από τον διπύθμενο, μεταξύ των νομέων 28 και 44, βρίσκεται το μηχανοστάσιο, το οποίο εκτείνεται μέχρι το Main Dk. Για την πρόωση του πλοίου έχουν επιλεγεί 3 ηλεκτρογεννήτριες (Wartsila L820DF) οι οποίες αποδίδουν 1280 kW στις 1200 RPM η κάθε μία, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ (συμπεριλαμβανομένης της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης).

Μπροστά από το μηχανοστάσιο, βρίσκεται το αντλιοστάσιο (Pump Room), το οποίο αποτελεί το σημείο αναφοράς του δικτύου σωληνώσεων του πλοίου. Στους νομείς 96 με 108 τοποθετείται ο χώρος των 2 Bow thrusters, το οποίο εκτείνεται μέχρι το Main Dk,

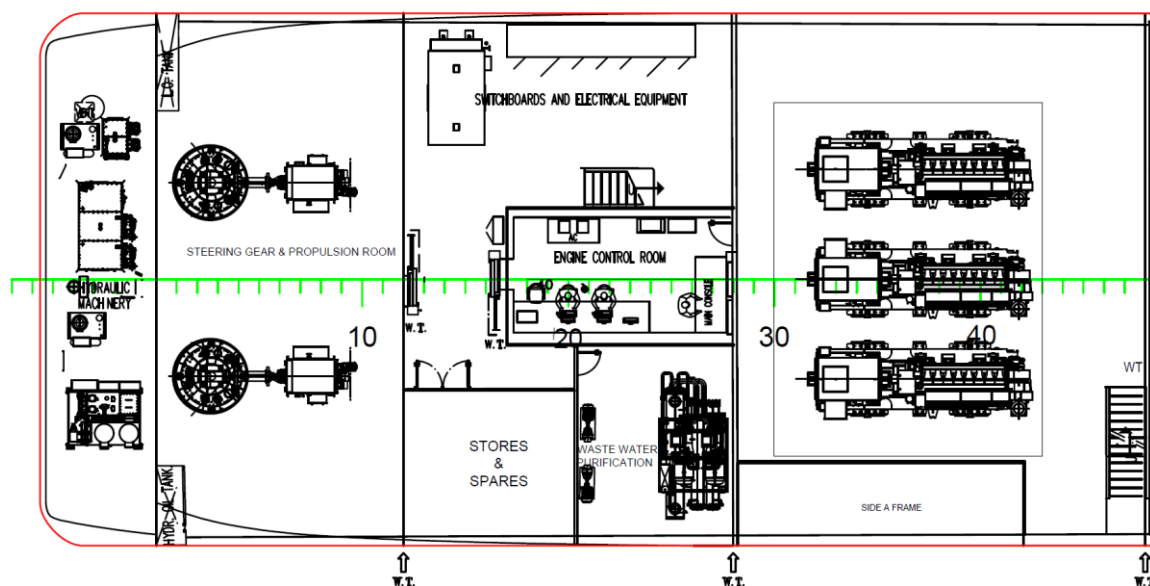
ενώ μέρος του (Tween Dk νομείς 92 - 96), προορίζεται για την διαχείριση των αποβλήτων (Garbage Treatment Room).

Στο κατάστρωμα του Tween Dk, πίσω από τον χώρο του μηχανοστασίου, βρίσκεται το Control Room των μηχανών και ο βοηθητικός χώρος του μηχανοστασίου (Auxiliary Engine Room), που αφορά τον μεγάλο όγκο ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που απαιτεί η ηλεκτροπρόωση (μετασηματιστές, συσσωρευτές, πίνακες ελέγχου κ.τ.λ.).

Επιπροσθέτως, μέρος του χώρου αυτού προορίζεται για αποθήκευση (Stores & Spares), καθώς και για εγκατάσταση εξοπλισμού διαχείρισης του χρησιμοποιημένου νερού, πριν αυτό καταλήξει στις δεξαμενές αποβλήτων (Waste Water Purification Room).

Πίσω από τον χώρο αυτό, σχεδιάστηκε ο χώρος πρόωσης του πλοίου (Steering Gear & Propulsion Room), στον οποίον εδράζονται οι βάσεις των azimuths μαζί με τους μετασηματιστές και τους ηλεκτροκινητήρες, καθώς και ο μηχανισμός στρέψης τους. Στον χώρο αυτό υπάρχει επίσης, και οι μηχανισμοί των υδραυλικών συστημάτων κίνησης του A frame που βρίσκεται στο κύριο κατάστρωμα, καθώς επίσης και οι δεξαμενές ελαίου λίπανσης και υδραυλικής πίεσης, που απαιτούνται για την λειτουργικότητα των συστημάτων αυτών.

Παρακάτω παρουσιάζεται οι μηχανολογικοί χώροι του Tween Dk, όπως προσδιορίστηκαν στο σχέδιο της Γενικής Διάταξης.



Σχήμα 2. 2: Μηχανολογικοί χώροι στο Tween Dk

Τέλος, η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης (Emergency Generator) βρίσκεται στο εκτεθειμένο κατάστρωμα (Upper Deck), όπως απαιτεί ο κανονισμός. Επίσης σημειώνεται ότι, ο μηχανολογικός χώρος του κλιματισμού (A/C Room), βρίσκεται στο Upper Deck.

2.4. Χώροι Επιστημονικού Εξοπλισμού

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στο moon pool, το οποίο βρίσκεται στο κέντρο του πλοίου, μεταξύ των νομέων 52 με 56 και συναντάται συχνά στα ωκεανογραφικά. Είναι ένα άνοιγμα στη βάση του σκάφους, που δίνει πρόσβαση στη θάλασσα, επιτρέποντας στους ερευνητές να κατεβάζουν εργαλεία και όργανα. Τέτοια όργανα αποτελούν τα διάφορα

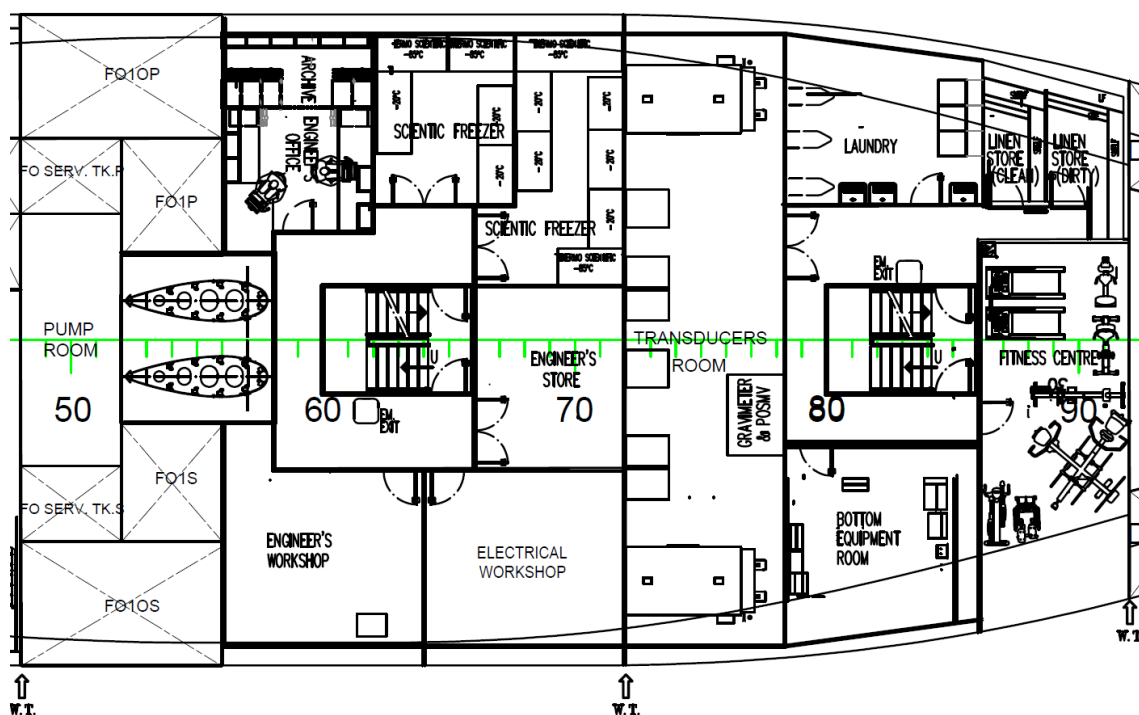
ηχοβολιστικά (sonars) για την χαρτογράφηση βυθού πυθμένα και υπεδάφους, στα οποία έγινε αναφορά στο κεφάλαιο 1. Τα όργανα αυτά, μπορούν να προσαρμοστούν πάνω σε μηχανισμό βυθιζόμενου πτερυγίου (drop keel), το οποίο βελτιώνει την απόδοση των αισθητήρων αυτών, μειώνοντας τις παρεμβολές που προκαλούνται από φυσαλίδες αέρα που εκλύονται ενώ το πλοίο βρίσκεται σε κίνηση, καθώς απομακρύνονται πλέον από την διεπιφάνεια γάστρας-θάλασσας. Επίσης, συνεισφέρει στην σταθερότητα του πλοίου, αποτρέποντας ανεπιθύμητες στιγμιαίες κινήσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Επιπροσθέτως, επιτρέπει σε δύτες ή σε μικρά τηλεκατευθυνόμενα υποβρύχια σκάφη (ROV), για τις ανάγκες των ερευνών τους, να εισέρχονται ή να βγαίνουν από το νερό εύκολα και σε ένα πιο προστατευμένο περιβάλλον.

Μεταξύ των νομέων 72 και 78, σε όλο το πλάτος του πλοίου, βρίσκεται το Transducers Room. Στον χώρο αυτόν, υπάρχει ο απαιτούμενος εξοπλισμός ηλεκτροακουστικών μετατροπέν (electroacoustic transducers), που αποκωδικοποιούν τα σήματα των ηχοβολιστικών. Ο εξοπλισμός αυτός των ηχοβολιστικών (σόναρ), αποτελείται από πομπούς, υδρόφωνα (υποβρύχιοι δέκτες) και συναφείς ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως ενισχυτές και συστήματα συλλογής δεδομένων. Επίσης, έχει σχεδιαστεί και βοηθητικός χώρος αποθήκευσης του εξοπλισμού αυτού (Bottom Equipment Room).

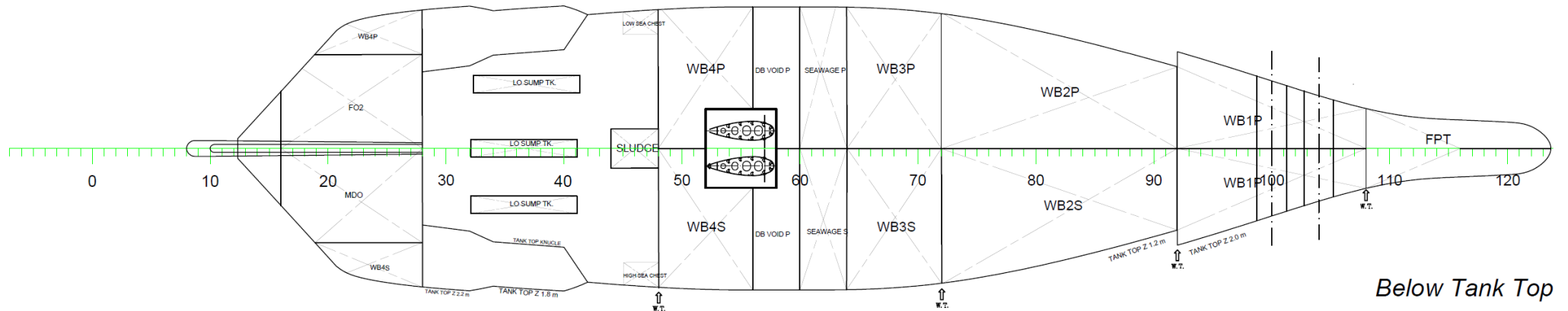
Στην περιοχή αυτή (νομείς 62 - 72), προβλέπονται επίσης χώροι κατάψυξης και αποθήκευσης επιστημονικού δειγματοληπτικού υλικού, όπου οι θερμοκρασίες συντήρησης φτάνουν μέχρι και τους -85°C .

Μεταξύ των νομέων 56 και 72 έχει σχεδιαστεί το μηχανουργείο (Engineer's Workshop) και το ηλεκτρολογείο (Electrical Workshop), καθώς και η μηχανολογική αποθήκη εργαλείων. Παρακάτω παρουσιάζεται η διάταξη των χώρων εξοπλισμού πάνω στο Tank Top:

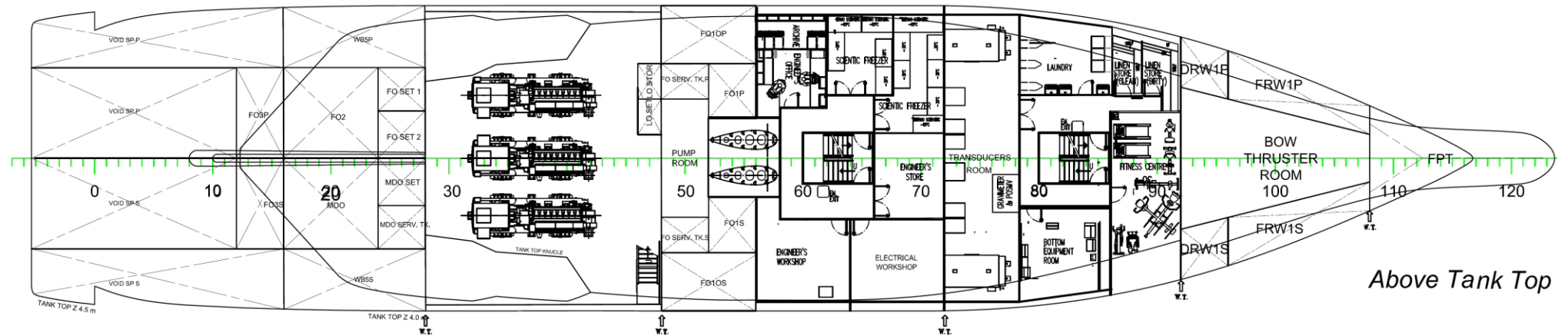


Σχήμα 2. 3: Διάταξη χώρων εξοπλισμού στο Tank Top

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι διατάξεις του διπυθμένου (Below Tank Top) και του Tank Top, όπου βρίσκεται η μεγάλη πλειοψηφία των δεξαμενών, των μηχανολογικών χώρων και των χώρων επιστημονικού εξοπλισμού που αναλύθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 2. 4: Κάτοψη διπυθμένου



Σχήμα 2. 5: Κάτοψη πάνω από το διπύθμενο (Tank Top)

2.5. Χώροι Εργαστηρίων

Οι χώροι των εργαστηρίων αποτελούν τον πυρήνα του ωκεανογραφικού, καθώς αυτό μπορεί να προσομοιαστεί με ένα μεγάλο, πλωτό εργαστήριο. Το ευρύ φάσμα των πεδίων και των ερευνητικών δραστηριοτήτων, με το οποίο ασχολείται η επιστήμη της ωκεανογραφίας, προϋποθέτει το σχεδιασμό των ανάλογων εργαστηριακών χώρων. Κατά το σχεδιασμό των χώρων αυτών, λαμβάνεται υπ' όψη ότι ορισμένες φορές, τα δείγματα πρέπει να υφίστανται επεξεργασία υπό καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, συνεπώς υπάρχει πρόβλεψη για εργαστήρια, στα οποία οι διάφορες φυσικές και χημικές παράμετροι είναι ελεγχόμενες.

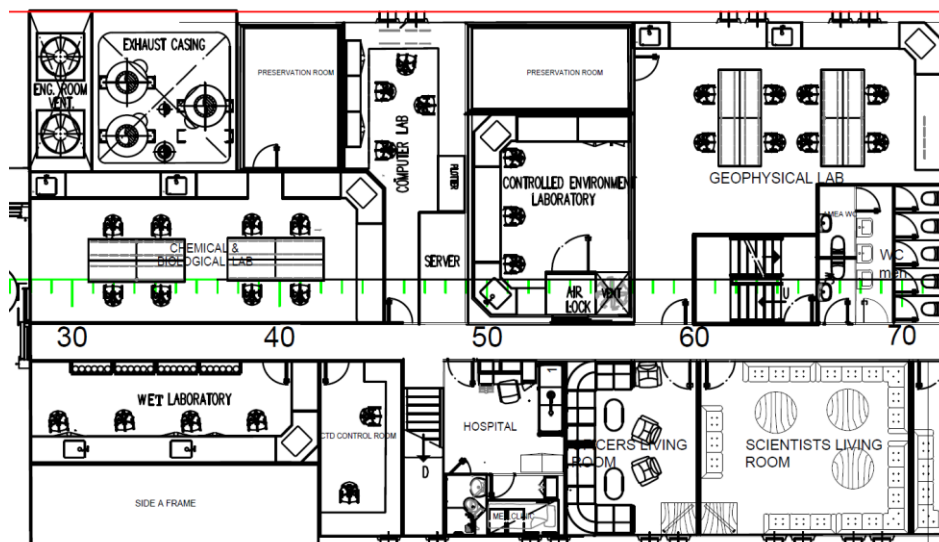
Τα εργαστήρια διακρίνονται σε «wet», στα οποία γίνεται διαχείριση του θαλασσινού νερού ή υγρών χημικών, και «dry», στα οποία γίνεται η εγκατάσταση διάφορων ηλεκτρονικών ερευνητικών οργάνων.

Το ωκεανογραφικό σχεδιάστηκε να διαθέτει στο δυναμικό του τα εξής εργαστήρια:

- **Geophysical Lab:** Αποτελεί το εργαστήριο όπου λαμβάνουν χώρα οι ερευνητικές δραστηριότητες που αφορούν τα πεδία της Φυσικής Ωκεανογραφίας και της Θαλάσσιας Γεωλογίας. Αποτελεί τον μεγαλύτερο εργαστηριακό χώρο του σκάφους, όπως προδιαγράφουν και οι σχεδιαστικές απαιτήσεις. Διαθέτει επίσης χώρο συντήρησης και κατάψυξης των δειγμάτων.
- **Chemical & Biological Lab:** Είναι το εργαστήριο στο οποίο, όπως προϋποθέτει το όνομά του, εκτελούνται οι εργασίες της Χημικής Ωκεανογραφίας και της Θαλάσσιας Βιολογίας. Βρίσκεται σε εγγύτητα με το Wet Lab, για την περαιτέρω επεξεργασία των δειγμάτων και των οργανισμών. Για την συντήρηση των δειγμάτων αυτών έχει προβλεφθεί επίσης, ειδικός χώρος κατάψυξης.
- **Controlled Environment Lab:** Είναι το εργαστήριο το οποίο έχει σχεδιαστεί να είναι μονωμένο από τους εξωτερικούς παράγοντες, ώστε οι συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, ραδιενέργεια κ.τ.λ.) να είναι ελεγχόμενες και να προσαρμόζονται στις ανάγκες επεξεργασίας του εκάστοτε δείγματος. Η μόνωση αυτή, επιτυγχάνεται με μέσα όπως: θάλαμος αποσυμπίεσης κατά την είσοδο, μόνωση τοιχωμάτων, ειδικοί αεραγωγοί, κ.λπ.
- **CTD Control Room:** Το εργαστήριο αυτό χειρίζεται, ελέγχει και παρακολουθεί το πλευρικό A Frame στο οποίο είναι εγκατεστημένο το αυτογραφικό όργανο CTD, αναλύοντας τα δεδομένα που το όργανο αυτό στέλνει. Για τον λόγο αυτό το εργαστήριο βρίσκεται σε εγγύτητα με το A Frame, ώστε να διευκολύνεται η επικοινωνία.
- **Computer Lab:** Είναι το εργαστήριο Η/Υ που επεξεργάζεται και αναλύει τον όγκο δεδομένων που λαμβάνονται από όλα τα όργανα και τους αισθητήρες του πλοίου.
- **Wet Lab:** Είναι ο εργαστηριακός χώρος στον οποίο εκτελούνται οι εργασίες που αφορούν τη διαχείριση υγρών στοιχείων, όπως του θαλασσινού νερού ή υγρών χημικών. Βρίσκεται ακριβώς μπροστά από το πλευρικό A frame, ώστε να είναι δυνατή άμεση επεξεργασία των δειγμάτων, επιτόπου μετά την δειγματοληψία.
- **Meteorological Lab:** Είναι ο σταθμός που παρακολουθεί τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και βρίσκεται στο Upper Deck.

Τα εμβαδά που καλύπτουν τα εργαστήρια, όπως και τα ανοιχτά καταστρώματα και οι χώροι εξοπλισμού, παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 2.7, στο οποίο γίνεται έλεγχος εκπλήρωσης των απαιτήσεων σχεδίασης.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η διάταξη των εργαστηρίων που αναλύθηκαν παραπάνω, τα οποία είναι διατεταγμένα στο κύριο κατάστρωμα (Main Dk), στους νομείς 28-72.

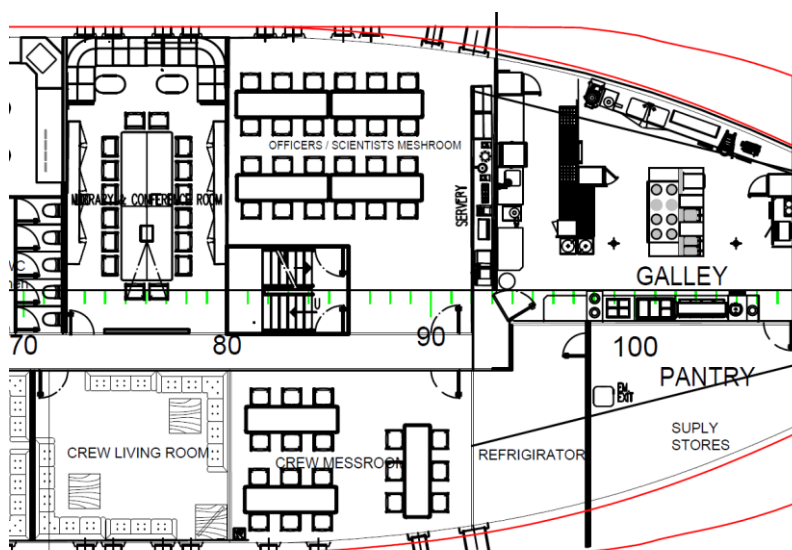


Σχήμα 2. 6: Διάταξη των εργαστηρίων στο Main Dk (νομείς 28-72)

2.6. Χώροι ενδιαίτησης

Στο υπό μελέτη πλοίο, έχει προβλεφθεί η δημιουργία καμπινών, χώρων εστίασης και ψυχαγωγίας των επιβαινόντων, με κύριο γνώμονα την λειτουργικότητα και την εύκολη πρόσβαση τους στους χώρους εργασίας τους.

Στο κύριο κατάστρωμα, μπροστά από τους χώρους εργαστηρίων και μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης (νομέας 108), σχεδιάστηκαν οι χώροι εστίασης και ψυχαγωγίας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 2. 7: Διάταξη ενδιαίτησης στο Main Dk (νομείς 70-108)

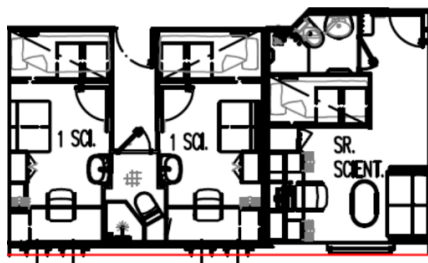
Παρακάτω παρατίθενται οι κοινόχρηστοι χώροι ενδιαίτησης, οι οποίοι βρίσκονται στο Main Deck (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά), καθώς επίσης και το εμβαδόν που καταλαμβάνουν.

Πίνακας 2. 2: Επιμέρους εμβαδά δημοσίων χώρων ενδιαίτησης

ACCOMMODATION'S PUBLIC SPACES	
ROOM DESCRIPTION	AREA (m ²)
ENGINEER'S OFFICE (TWEEN DK)	16.9
GYM (TWEEN DK)	24.6
LAUNDRY (TWEEN DK)	14.8
MEETING ROOM & LIBRARY	40.8
GALLEY	59.2
OFFICERS/SCIENTISTS MESHROOM	52.3
CREW MESHROOM	42.5
SCIENTISTS LIVING ROOM	30.2
CREW LIVING ROOM	26.6
OFFICERS LIVING ROOM	19.1
HOSPITAL	17.5
PUBLIC TOILETS (Incl. 1 A.M.E.A.)	15.6
SCIENTIST 'S TECHNICAL OFFICE (UPPER DECK)	10.6
SHIP'S OFFICE (A- DECK)	28.9

Στο Tween Deck, έχουν τοποθετηθεί καμπίνες για 14 μέλη κατώτερου πληρώματος και ισάριθμους επιστήμονες (σύνολο 28 άτομα), μεταξύ των νομέων 48 και 92. Συγκεκριμένα, έχουν σχεδιασθεί 8 μονές και 2 δίκλινες καμπίνες, στην αριστερή και δεξιά πλευρά του σκάφους αντίστοιχα, ενώ υπάρχουν και 2 δίκλινες κεντρικά. Κάθε μονόκλινη καμπίνα διαθέτει κλίνη, κομοδίνο, νιπτήρα, ντουλάπα και γραφείο, ενώ, για εξοικονόμηση χώρου, έχει κοινό προθάλαμο εισόδου και χώρο υγιεινής (αποχωρητήριο και λουτήρα), με την συμμετρική της καμπίνα, όπως φαίνεται στο αριστερό σκέλος του σχήματος 2.8. Το συνολικό εμβαδόν των 2 καμπινών ανέρχεται στα 22,1 m².

Στο Upper Deck, βρίσκεται το τεχνικό γραφείο των επιστημόνων, καθώς επίσης 10 μονές καμπίνες για το κατώτερο πλήρωμα, και 6 καμπίνες που προορίζονται για τους αξιωματικούς. Οι καμπίνες αυτές είναι πιο ευρύχωρες (14,5 m²) και διαθέτουν τον δικό τους χώρο υγιεινής. Η σύγκριση των δύο τύπων καμπίνας είναι εμφανής στο παρακάτω σχήμα.



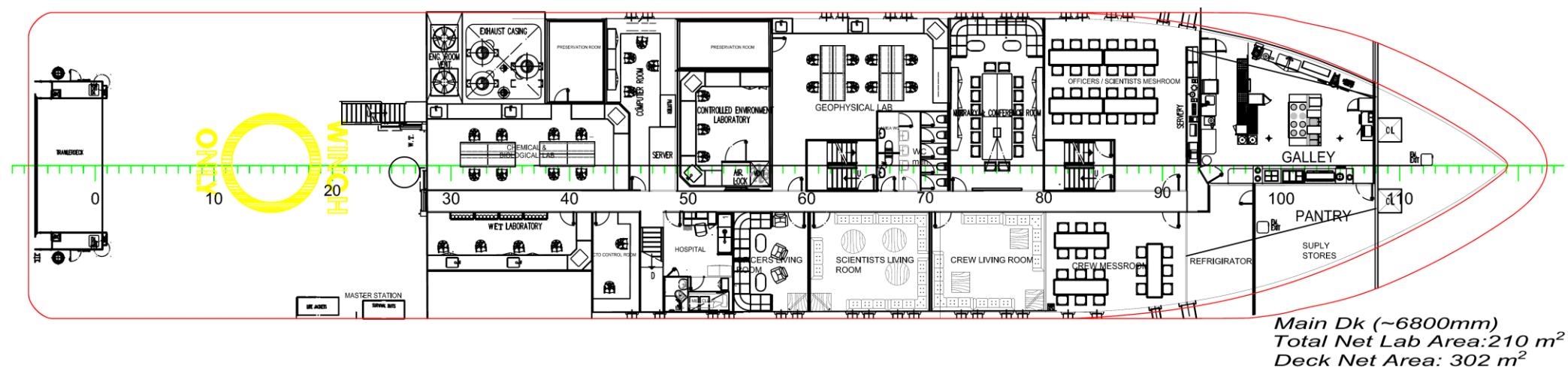
Σχήμα 2. 8: Διάταξη χώρου τυπικών μορφών καμπινών

Στο A Deck βρίσκονται οι καμπίνες των ανώτατων αξιωματικών (Πλοίαρχος, 1^{ος} Μηχανικός, Υποπλοίαρχος και Προϊστάμενος επιστημονικού προσωπικού), οι οποίες είναι πολυτελείς, διαθέτοντας σαλόνι και ευρύχωρο μπάνιο. Επίσης, υπάρχουν 2 ακόμη καμπίνες αξιωματικών, καθώς και το γραφείο χαρτών του πλοίου. Τέλος στο Navigation Dk βρίσκεται η γέφυρα, με όλα τα απαραίτητα συστήματα πλοήγησης και επικοινωνίας του πλοίου.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι κατόψεις των καταστρωμάτων Tween Dk & Main Dk, στα οποία έχουν σχεδιαστεί τα εργαστήρια, οι κοινόχρηστοι χώροι ενδιαίτησης, καθώς επίσης και οι καμπίνες που προορίζονται για το κατώτερο πλήρωμα και επιστημονικό προσωπικό.



Σχήμα 2. 9: Κάτοψη Tween Deck (z = 4.00 m)



Σχήμα 2. 10: Κάτοψη Main Deck (z = 6.80 m)

2.7. Εκτεθειμένα Καταστρώματα & Εξοπλισμός

Τα καταστρώματα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατό πιο ελεύθερα για την εγκατάσταση του ερευνητικού εξοπλισμού, για την απρόσκοπτη διενέργεια ερευνητικών δραστηριοτήτων επί του καταστρώματος και για την αποθήκευση εργαστηριακών containers, κ.α.

Το κομμάτι του κύριου καταστρώματος, πίσω από τον νομέα 28, είναι εκτεθειμένο στα καιρικά φαινόμενα και έχει συνολική έκταση 302 τετραγωνικά. Στην πρύμνη του πλοίου, επί του καταστρώματος αυτού, έχει τοποθετηθεί το πρυμναίο A-frame συνολικής ανυψωτικής ικανότητας (Safe Working Load – S.W.L.) 20 τόνων, το οποίο προορίζεται για δειγματοληψία από τον θάλασσα ή τον πυθμένα (πυρηνοληψία), ενώ το πλοίο βρίσκεται εν κινήσει.

Η λειτουργία του βασίζεται σε βαρούλκα, τα οποία βρίσκονται στο Upper Deck (σχήμα 2.11), καθώς και σε υδραυλικά συστήματα που βρίσκονται ακριβώς από κάτω του, επί του Tween Deck. Το μήκος του συρματόσκοινου μπορεί να φτάσει τα 5 χιλιόμετρα, (όσο και το βάθος της Μεσογείου), ενώ το βάρος του, μπορεί να ανέλθει σε μερικούς τόνους.

Ακριβώς μπροστά από το A-frame, βρίσκονται δύο συμμετρικοί γερανοί ανυψωτικής ικανότητας (S.W.L.) 5 τόνων, ώστε να αντεπεξέρχονται στη μετακίνηση μεγάλων βαρών, όπως των ερευνητικών μηχανημάτων και των εφοδίων, επί του καταστρώματος.

Υπάρχει επίσης, το πλευρικό A-frame στο Starboard Side, στους νομείς 28-42, πάνω στο οποίο είναι εγκατεστημένο το CTD και χρησιμοποιείται για δειγματοληψίες. Η ανυψωτική ικανότητα του ανέρχεται στους 5 τόνους.

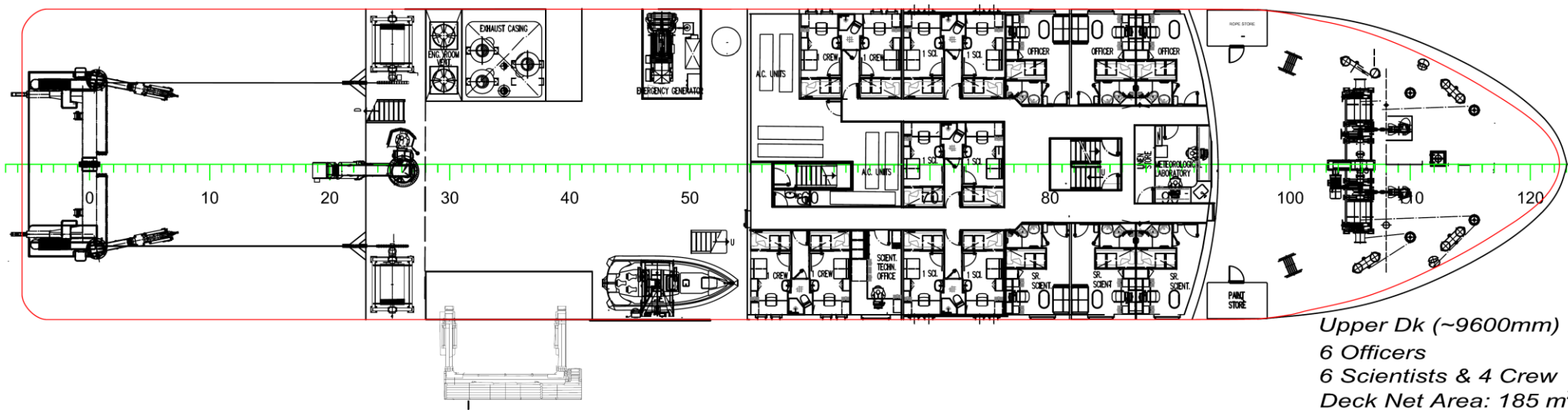
Στο εκτεθειμένο κατάστρωμα του Upper Dk βρίσκονται επίσης το φουγάρο και ο χώρος της Emergency Generator, ενώ από το Starboard υπάρχει μια λέμβος διαφυγής.

Στο ανοιχτό κατάστρωμα του A Deck προβλέπεται η τοποθέτηση τεσσάρων (4) Containers (TEU) μήκους 20 ποδών, τα οποία προορίζονται ως εργαστηριακοί χώροι ή ακόμα και ως αποθηκευτικοί χώροι.

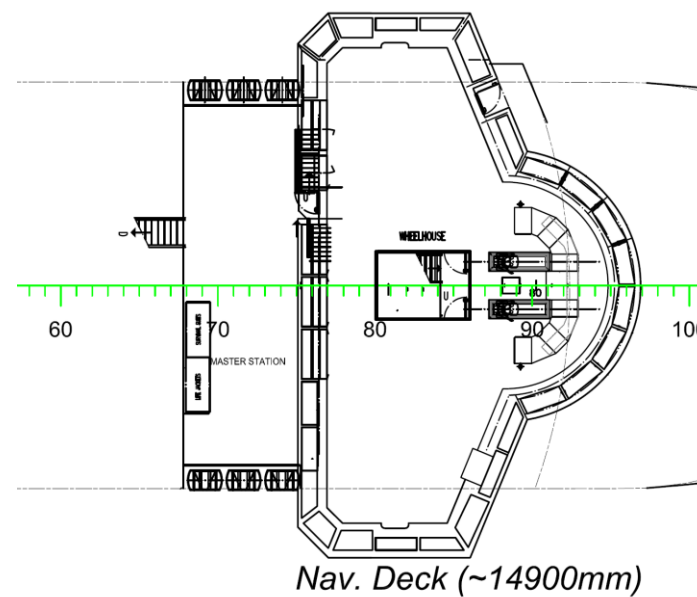
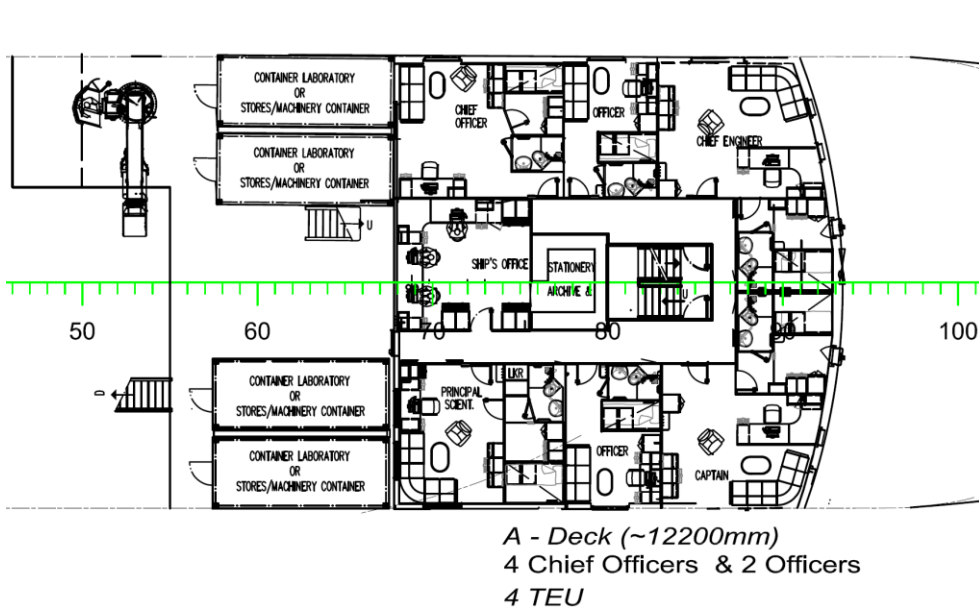
Υπάρχει ακόμα και ένας γερανός ανυψωτικής ικανότητας (S.W.L.) 6 τόνων, για την καθέλκυση της σωσίβιας λέμβου διαφυγής και τη φόρτωση και τοποθέτησή των εργαστηρίων container στο πλοίο.

Στο Navigation Deck ορίζεται το Master Station του πλοίου, όπου, σε περίπτωση ανάγκης, υπάρχουν σωσίβια και τα βαρελάκια διαφυγής.

Στην συνέχεια, ακολουθεί η παράθεση των κατόψεων του Upper Deck, του A Deck και του Navigation Deck, στις οποίες παρατηρείται ο εξοπλισμός και η διάταξη των ανοιχτών καταστρωμάτων. Σημειώνεται ότι η κάτοψη του Main Deck παρουσιάστηκε προηγουμένως.

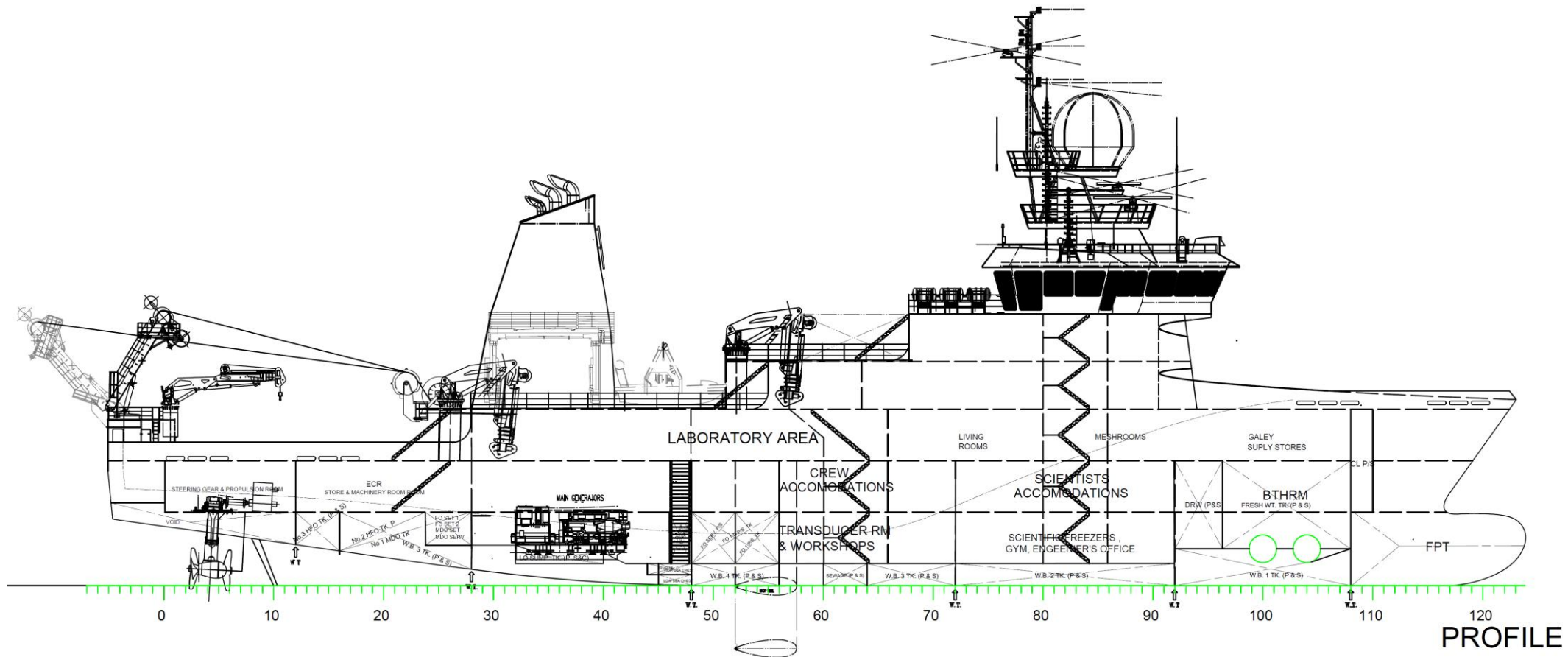


Σχήμα 2. 11: Κάτοψη Upper Deck (z = 9.60 m)



Σχήμα 2. 12: Κάτοψη A Deck (z = 12.20 m) & Navigation Deck (z = 14.90 m)

Η πλευρική όψη του πλοίου παρουσιάζεται παρακάτω, όπου και διακρίνονται οι διαμήκης ζώνες, στις οποίες χωρίζεται το πλοίο από τις υδατοστεγείς φρακτές, καθώς και οι ζώνες των κλιμακοστασίων. Τέλος διακρίνονται τα όργανα ναυσιπλοΐας και τηλεπικοινωνιών (ραντάρ) στην οροφή της γέφυρας.



Σχήμα 2. 13: Πλευρική Όψη - Προφίλ

2.8. Διάταξη Κλιμακοστασίων

Τα κύρια κλιμακοστάσια, που διατρέχουν καθ' ύψος το πλοίο (Tank Top - Upper Dk & Tank Top - Nav. Dk αντίστοιχα), βρίσκονται στους νομείς 60-66 και 80-86 και κάνουν αναστροφή 180° στο μέσο, μεταξύ δύο των καταστρωμάτων (σχήμα Π). Η κάθε σκάλα σχεδιάζεται να έχει 6 σκαλοπάτια μέχρι το πλατύσκαλο της αναστροφής.

Τα σκαλοπάτια έχουν πάτημα 25 cm (συμπεριλαμβανομένης προεξοχής 1 cm) και ρίχτι (ύψος) 20 cm, ενώ το πλάτος τους είναι 1 μέτρο. Συνεπώς, από την γεωμετρία του σκαλοπατιού, διαμορφώνεται η κλίση της σκάλας στις 39,8°. Στο Nav. Dk όπου χαμηλώνει το ύψος της υπερκατασκευής (2.6m έναντι 2.8m στα υπόλοιπα καταστρώματα) το ρίχτι του σκαλοπατιού διαμορφώνεται ανάλογα στα 18.8 cm.

Υπάρχουν επίσης, κλίμακες ευθείας διαρρύθμισης, όπως στους νομείς : 46-48 εντός του μηχανοστασίου και 20-28 συνδέοντας το Βοηθητικό Μηχανοστάσιο με το Main & Upper Dk. Οι σκάλες αυτές, καθώς συνδέουν καιροστεγή χώρο με το εκτεθειμένο κατάστρωμα, διαθέτουν καιροστεγή θύρα (Weathertight Door). Το ίδιο ισχύει με την θύρα του Main Dk στον νομέα 28.

Συνάμα, οι υπόλοιπες κλίμακες συνδέουν τα ανοιχτά καταστρώματα μεταξύ τους, στους νομείς 55 (Upper Dk – A Dk) και 68 (A Dk – Nav. Dk). Καθώς στις περιπτώσεις αυτές, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία χώρου, το πάτημα των σκαλοπατιών προσδιορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί κλίση κλίμακος 35° για μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια.

2.9. Πυρασφάλεια & Διάταξη Διαφυγής

Σύμφωνα με τον κανονισμό 9 του κεφαλαίου II-2 της SOLAS 2009, τα πλοία με πάνω από 36 επιβαίνοντες πρέπει να φέρουν στις υπερκατασκευές κατάλληλες φρακτές που να χωρίζουν τους χώρους των επιβατών σε Κύριες Κατακόρυφες Ζώνες Πυροπροστασίας (Main Fire Zones - M.F.Z.). Οι φρακτές αυτές (A Class Bulkheads) είναι κατάλληλα μονωμένες, ώστε να αποτρέπουν την διέλευση της πυρκαγιάς για 60 λεπτά, στοχεύοντας στον περιορισμό ενδεχόμενης πυρκαγιάς σε μία μόνο ζώνη. Το πλάτος και το μήκος των ζωνών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 48m και το εμβαδόν τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1600m² σε κάθε κατάστρωμα.

Το μήκος της κύριας ζώνης του Main Dk από τον νομέα 28 που ξεκινάει η υπερκατασκευή, μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης, είναι ακριβώς 48 μέτρα, ενώ το εμβαδόν 744 m².

Επομένως, πληρούται οριακά ο κανονισμός. Αυτή η περίπτωση είναι και η πλέον επίφοβη, λόγω του μεγάλου μήκους που εκτείνεται η υπερκατασκευή. Συνεπώς, πληρούται ο κανονισμός για όλες τις υπερκατασκευές.

Επίσης, A Class Bulkheads τοποθετούνται σε χώρους με μεγάλη πιθανότητα πυρκαγιάς (π.χ. μαγειρείο, χώροι μηχανημάτων) ή σε χώρους ζωτικής σημασίας σε περίπτωση πυρκαγιάς (π.χ. χώροι Γέφυρας, κλιμακοστάσια). Οι πόρτες των συγκεκριμένων χώρων είναι αντιπυρικές (Fire Doors).

Επιπροσθέτως, τοποθετούνται σε χώρους με αυξημένες ανάγκες μόνωσης, όπως οι χώροι συντήρησης των δειγμάτων και το εργαστήριο ελεγχόμενων συνθηκών.

Σημειώνεται επίσης ότι, σύμφωνα με την SOLAS, σε όλους τους χώρους πληρώματος και επιστημονικού προσωπικού, τοποθετούνται συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης (sprinkler).

Κάτω από το κατάστρωμα αντοχής, οι υδατοστεγής φρακτές χωρίζουν το πλοίο σε ζώνες πυροπροστασίας (M.F.Z.). Σύμφωνα με την SOLAS, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο διαφορετικοί τρόποι εκκένωσης της κάθε ζώνης, όπου ένας τουλάχιστον να οδηγεί σε κατακόρυφη εγκατάλειψη (σκάλα).

Ο πρώτος τρόπος διαφυγής προκύπτει από τα κλιμακοστάσια πρόσβασης του εκάστοτε χώρου, ενώ ο δεύτερος προκύπτει από την επικοινωνία μεταξύ των ζωνών M.F.Z. μέσω υδατοστεγών θυρών (Watertight Doors) που τοποθετούνται επί των φρακτών. Όπου δεν μπορεί, για οποιονδήποτε σχεδιαστικό λόγο, να εφαρμοστεί ένας από τους παραπάνω τρόπους διαφυγής, τότε χρησιμοποιείται καταπακτή εκτάκτου διαφυγής (Emergency Exit Hatch), όπου οδηγεί σε κατακόρυφη εγκατάλειψη του χώρου.

Συνολικά, για την εκπλήρωση του κανονισμού αυτού, προβλέφθηκε η τοποθέτηση 5 υδατοστεγών θυρών καταπακτών έκαστος, οι θέσεις των οποίων, καθώς και οι χώροι που συνδέουν, παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες αντιστοίχως.

Πίνακας 2. 3: Διάταξη Υδατοστεγών Θυρών (Watertight Doors)

Watertight Doors' Arrangement				
Name	Compartment Connection	Frame	Dist. from CL (m)	Deck
WT1	Crew Acc. - Scientist Acc.	72	-3.0	Tween Dk
WT2	Engine Room - Crew Acc	48	-3.0	Tween Dk
WT3	Aux. Eng. Room - Engine Room	17	0.0	Tween Dk
WT4	Aux. Eng. Room - Propulsion Room	12	0.0	Tween Dk
WT5	Bow Thruster Room - Fore Void	108	0.0	Tween Dk

Πίνακας 2. 4: Διάταξη καταπακτών εκτάκτου διαφυγής

Emergency Exit Hatches' Arrangement				
Name	Compartment Connection	M.F.Z. frames	Frame	Dist. from CL (m)
E.E.H.1	Tween Deck - Main Deck	108 - fore	112	0.3
E.E.H.2	Main Deck - Upper Dk	108 - fore	112	0.3
E.E.H.3	Tank Top - Tween Deck	72 - 92	83	1.5
E.E.H.4	Tank Top - Tween Deck	48 - 72	62	-1.5
E.E.H.5	Tween Deck - Main Deck	aft - 12	1	0

Σημειώνεται ότι, όπως και στην περίπτωση των πορτών, οι καταπακτές που οδηγούν σε εκτεθειμένο κατάστρωμα (E.E.H.1 & E.E.H.5), είναι καιροστεγή ανοίγματα (Weathertight openings).

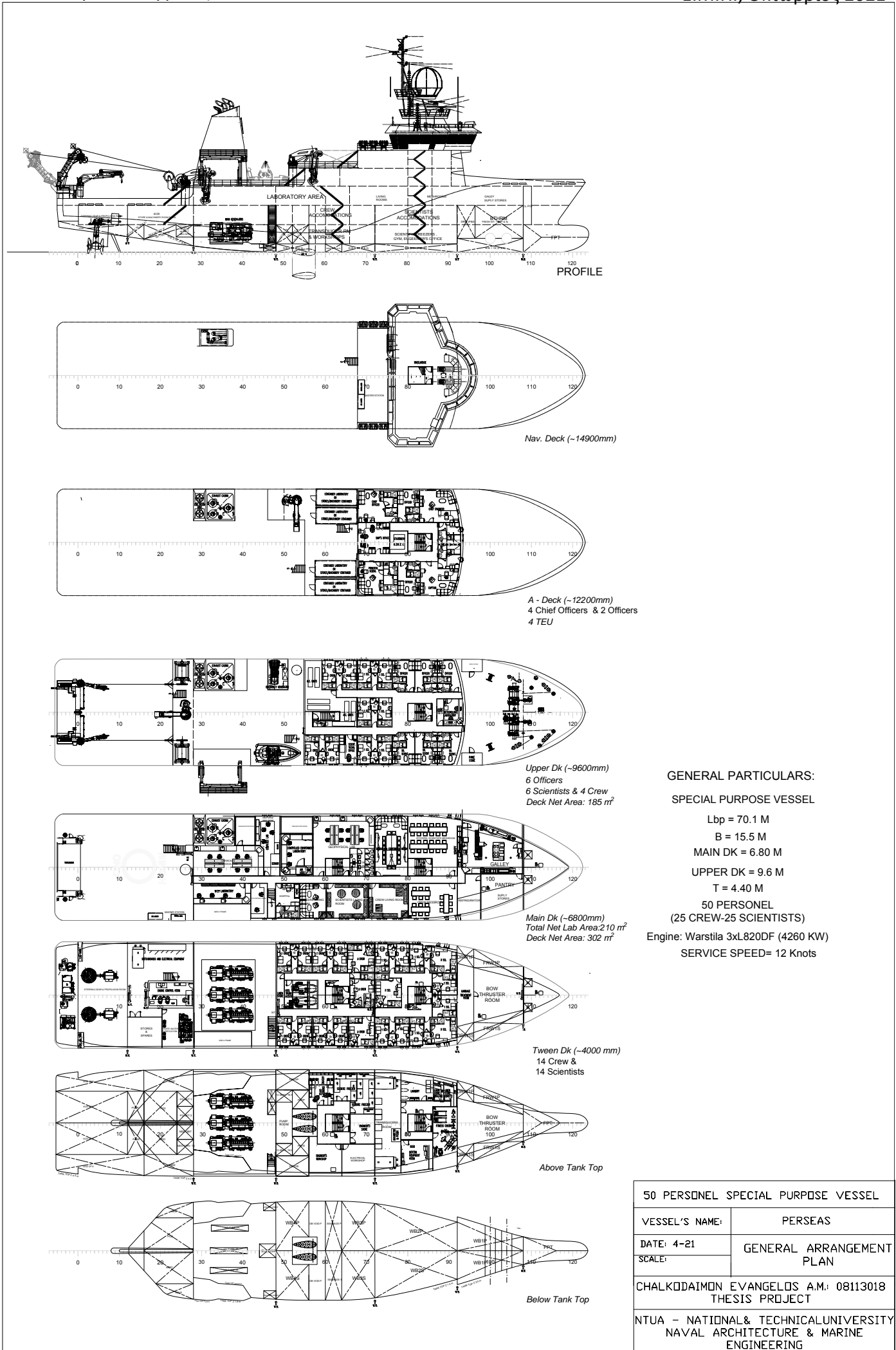
2.9. Έλεγχος Απαιτήσεων

Συνοψίζοντας, παρακάτω παρατίθενται οι σχεδιαστικές απαιτήσεις των επιμέρους χώρων του πλοίου (εργαστήρια, ενδιαίτηση, ανοιχτά καταστρώματα, χώροι εξοπλισμού κ.τ.λ.), καθώς και τα τελικά αποτελέσματα της προκαταρκτικής σχεδιαστικής πρότασης της Γενικής Διάταξης του Ωκεανογραφικού, όπου και πληρούνται όλες οι δοθείσες απαιτήσεις.

Πίνακας 2. 5: Έλεγχος Εκπλήρωσης Απαιτήσεων Σχεδίασης

	QUANTITIES	QUANTITIES
Accommodation (Persons total)	50	50
20ft Container Capacity (Labs, Equipment or Storage)	4	4
ROOM DESCRIPTION	ACHIEVED NET AREA	REQUESTED AREA
	(m2)	(m2)
OPEN DECK AREA		
MAIN Deck	301.8	300
UPPER Deck	185.0	-
A Deck	65.0	-
MAIN DECK LABORATORIES		
Chemical & Biological Lab	51.1	45
CTD Control Room	10.0	10
Geophysical Lab	53.8	50
Wet Lab	22.9	20
Computer Lab	23.4	20
Controlled Enviroment Lab	23.0	-
Meteorological Lab (Upper Deck)	10.8	-
Total Lab Area	195.0	175
OTHER SUPPORTIVE SPACES		
Transducers Room at Tank Top	55.5	50
Preservation/Cooling Room	2x15 Tank Top	2x10.0
	19.45 Main Dk	
Electrical Workshop	19.6	15
Mechanical Workshop	20.8	15
Meeting Room & Library	40.8	30

Τέλος, παρατίθεται το ολοκληρωμένο σχέδιο της Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan), το οποίο αποπερατώθηκε με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD.



Σχέδιο 2.1: Τελικό Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement Plan)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό, πραγματεύεται την προκαταρκτική μελέτη της αντοχής του υπό μελέτη πλοίου και έχει ως σκοπό την, κατά το δυνατό, λεπτομερή και αξιόπιστη εκτίμηση βάρους και στη συνέχεια, τον προσδιορισμό της κατανομής της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους.

Αρχικά, γίνεται η μελέτη αντοχής της Μέσης Τομής και προσδιορίζονται τα κατασκευαστικά στοιχεία που την απαρτίζουν, ενώ στην συνέχεια, ο υπολογισμός θα επεκταθεί και σε άλλους νομείς, καθ'όλο το μήκος του πλοίου. Η διαδικασία περατώθηκε με χρήση του προγράμματος Mars2000, το οποίο και θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Οι κατασκευαστικές και σχεδιαστικές παράμετροι, στις οποίες θα βασιστεί η μελέτη αντοχής είναι οι εξής:

- Το βύθισμα αντοχής ορίζεται στα 5 μέτρα ($T_{sc} = 5 \text{ m}$), 0.6 μετρά παραπάνω από το βύθισμα σχεδίασης, από όπου ορίζεται και η Γραμμή Φόρτωσης ($T_{\Gamma\Phi} = 4.4 \text{ m}$). Συνεπώς, παρέχεται ένα επαρκές περιθώριο ασφαλείας για την μεταλλική κατασκευή.
- Η μέγιστη καμπτική ροπή σχεδίασης σε ήρεμο νερό, στην περιοχή της μέσης τομής (0,3L-0.7L), λαμβάνεται 150.000 kNm και θεωρητικά στα άκρα του πλοίου μηδενίζεται. Η μέγιστη διατμητική δύναμη σε ήρεμο νερό θεωρείται σταθερή και ίση με 600 tn. Η θεώρηση των τιμών αυτών, βασίστηκε σε υπάρχον πλοίο όμοιων διαστάσεων και σκοπού (SPS vessel).
- Το κατάστρωμα αντοχής (Strength Deck) ορίζεται το Main Deck ($z=6.8\text{m A/B}$), που αποτελεί το συνεχές κατάστρωμα, μέχρι το οποίο εκτείνονται οι υδατοστεγής εγκάρσιες φρακτές.
Τα διαμήκη στοιχεία του πλοίου που συμμετέχουν στην αντοχή του, συμβάλλοντας στην διαμόρφωση της ροπής αντίστασης, εκτείνονται μέχρι το κατάστρωμα αντοχής. Τα στοιχεία πάνω από το κατάστρωμα αυτό, θεωρούνται υπερκατασκευές και μελετώνται ξεχωριστά.
- Ως σύστημα ενίσχυσης επιλέγεται το διάμηκες, στην περιοχή της μέσης τομής (0,3L – 0.7L). Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι φορτίσεις λόγω κάμψης μεγιστοποιούνται σε αυτή την περιοχή, με αποτέλεσμα την μεγάλη απαίτηση ροπής αντίστασης. Από την άλλη μεριά, στις άκρες του πλοίου, όπου οι τοπικές φορτίσεις επικρατούν (π.χ. σφυρόκρουση στην πλώρη και βάρος των azimuths στην πρύμνη) και η γεωμετρία της γάστρας αλλάζει απότομα, επιλέγεται το μεικτό σύστημα ενίσχυσης (διαμήκη ενισχυτικά στα καταστρώματα - εγκάρσια στις πλευρές).
- Οι θέσεις των υδατοστεγών φρακτών (Watertight Bulkheads), όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, βρίσκονται στους νομείς: 12, 28, 44, 72, 92 & 108.
- Οι ενισχυμένοι νομείς (Web Frames) είναι παρατεταγμένοι ανά . απλούς νομείς (2,4 μέτρα), το οποίο αποτελεί το ανυποστήρικτο μήκος των απλών ενισχυτικών.

- Οι έδρες του διπύθμενου ακολουθούν την ίδια λογική με τους ενισχυμένους νομείς, εκτός και αν υπάρχει περισσότερη ανάγκη τοπικής στήριξης (π.χ. βάση μηχανής ανά 1 νομέα). Συνεπώς, η ισαπόσταση των εδρών είναι ευμετάβλητη και πρέπει να εξεταστεί ανά περίπτωση, όπως θα παρουσιαστεί στην συνέχεια.
- Η ισαπόσταση των νομέων (Frame Spacing) είναι σταθερή και ίση με 600 mm.
- Ο προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πρωτεύοντων ενισχυτικών, (ενισχυμένοι νομείς, εγκαρσιώματα, κ.τ.λ), καθώς επίσης και των δομικών στοιχείων στήριξης της υπερκατασκευής (απλά ενισχυτικά, διαδοκίδες, κολόνες), έχει βασιστεί σε υπάρχον πλοίο όμοιων διαστάσεων, frame spacing και σκοπού (Special Purpose Ship).
- Πρύμνηθεν του νομέα 28, το κύριο κατάστρωμα είναι εκτεθειμένο στον καιρό και δυνητικά, μπορεί να τοποθετηθεί φορτίο (Cargo on Deck). Συνεπώς, στον υπολογισμό την αντοχής των νομέων: -5 (Transom), 12, 28 AFT στο Mars, έχει θεωρηθεί ομογενές φορτίο $w = 5 \text{ t/m}^2$, κατανεμημένο στο Main Dk.
- Η μεταλλική κατασκευή θεωρείται συμμετρική (TCG= 0m), για απλούστευση των υπολογισμών. Οι όποιες ασυμμετρίες (γερανός, τσιμινιέρα, CTD) θα προστεθούν στο τέλος ώστε να διαμορφώσουν το τελικό Lightship.
- Το υλικό κατασκευής είναι ο απλός ναυπηγικός χάλυβας Grade A, με Yield Stress 235 N/mm^2 , Young Modulus 206000 N/mm^2 και ειδικό βάρος $8,0 \text{ t/m}^3$.

Το αρχικό ζητούμενο του βάρους της μεταλλικής κατανομής, θα αποδομηθεί στον υπολογισμό βάρους των επιμέρους δομικών στοιχείων που την απαρτίζουν, τα οποία είναι τα εξής:

1. Τα ελάσματα και τα διαμήκη δευτερεύοντα ενισχυτικά, μέχρι το Strength Deck.
2. Τα εγκάρσια δευτερεύοντα ενισχυτικά.
3. Τα πρωτεύοντα ενισχυτικά (έδρες, ενισχυμένοι νομείς).
4. Τις υδατοστεγείς φρακτές.
5. Τις υπερκατασκευές.

Καθένα από τα προαναφερθέντα δομικά στοιχεία, θα αναλυθεί ενδελεχώς στην συνέχεια και θα καθοριστούν τα χαρακτηριστικά τους. Η τελική μορφή των στοιχείων της μεταλλικής κατασκευής, παρουσιάζεται στο κατασκευαστικό σχέδιο της Μέσης Τομής (Midship Section) το οποίο βρίσκεται στο [Παράρτημα Δ](#).

Τέλος, για τον προσδιορισμό της κατανομής του βάρους της μεταλλικής κατανομής, το βάρος των δευτερεύοντων ενισχυτικών και του εξωτερικού περιβλήματος, θα διανεμηθεί, σύμφωνα με τον κανόνα του τραπεζίου, μεταξύ των προσδιορισθέντων εγκάρσιων τομών, αποτελώντας την βάση της κατανομής.

Στην συνέχεια, ενσωματώνονται στην βάση αυτή τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής, καθώς θα κατανεμηθούν ομοιόμορφα κατά μήκος του πλοίου, αντίστοιχα με το πεδίο δράσης τους, ώστε να προκύψει η τελική μορφή της κατανομής.

3.1. Εισαγωγή στο πρόγραμμα MARS2000

Όπως αναφέρθηκε άνωθεν, ο υπολογισμός αντοχής, όλων των διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων μέχρι το κατάστρωμα αντοχής, που συντελούν στον καθορισμό της ροπής αντίστασης (Section Modulus), πραγματοποιείται με το πρόγραμμα Mars2000.

Τα στοιχεία αυτά είναι τα ελάσματα των καταστρωμάτων, τα ελάσματα του περιβλήματος της γάστρας, τα διαμήκη ενισχυτικά των καταστρωμάτων και του περιβλήματος καθώς και σταθμίδες -κεντρική και πλευρικές- (center & side girder) του διπύθμενου.

Το πρόγραμμα μελέτης της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής Mars2000, διατίθεται από τον Γαλλικό Νηογνώμονα Bureau Veritas (BV). Ως εκ τούτου, η σχεδίαση βασίστηκε στους κανονισμούς αντοχής του Γαλλικού Νηογνώμονα (BV rules for Steel 2011).

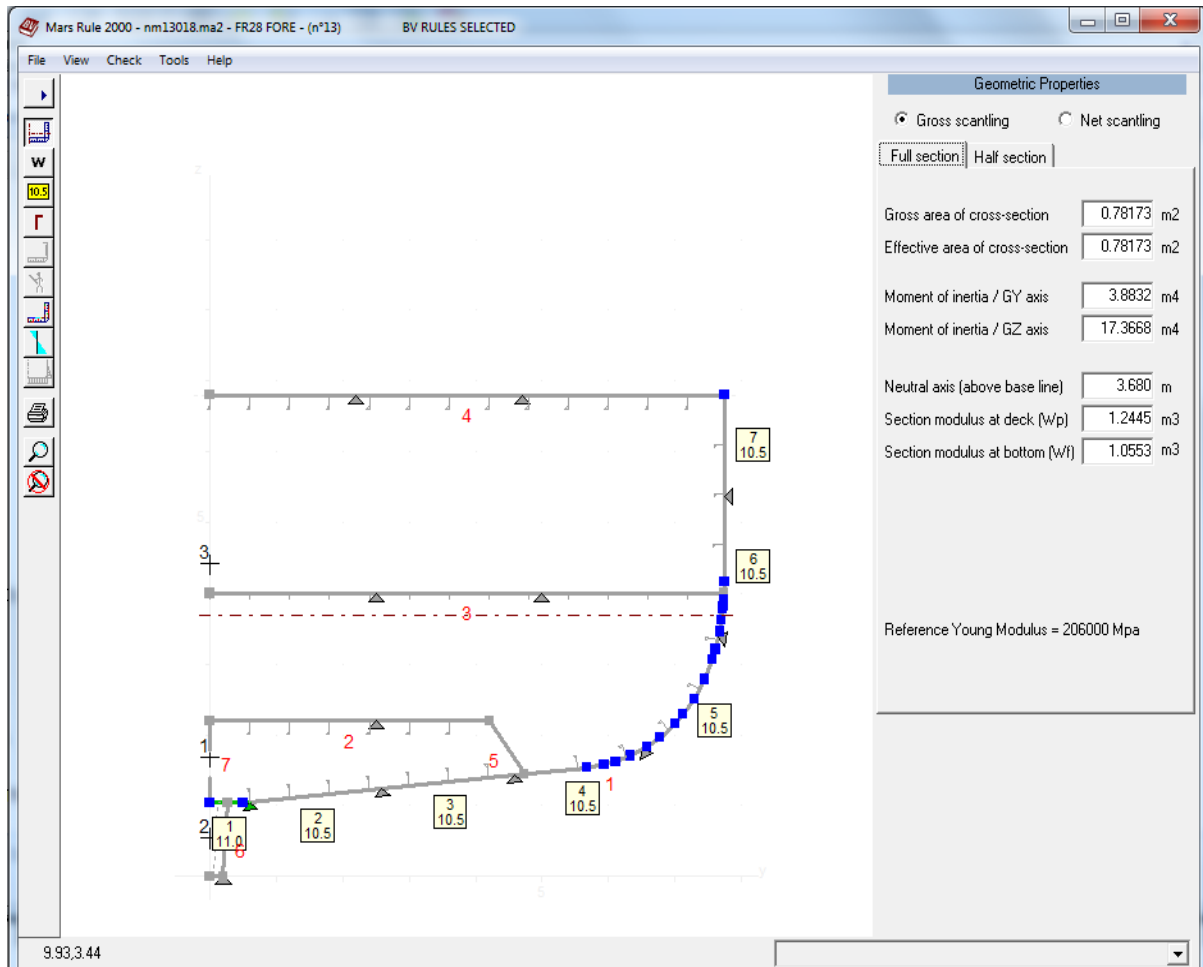
Το πρόγραμμα διαθέτει τρία κύρια περιβάλλοντα τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- Basic Ship Data (BSD): Όπως προιδεάζει το όνομα, εδώ εισάγονται τα αρχικά στοιχεία του πλοίου που αφορούν το όνομα, τις βασικές διαστάσεις, τις επιτρεπόμενες φορτίσεις (S.F.-B.M.), το υλικό κατασκευής, καθώς επίσης και το frame spacing του πλοίου.
- MarsIn: Αποτελεί το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος, καθώς εδώ εισάγονται τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε εγκάρσιας τομής. Αρχικά, προσδιορίζεται, μέσω σημείων, η γεωμετρία των διάφορων κομματιών (panels) που απαρτίζουν την τομή. Στην συνέχεια, ορίζονται τα πάχη και οι ραφές των ελασμάτων, ενώ προσδιορίζονται και τα χαρακτηριστικά των ενισχυτικών (διάμηκων & εγκάρσιων). Τέλος, καθορίζονται τα όρια των υδατοστεγών διαμερισμάτων της τομής, καθώς και τα κατανεμημένα φορτία που παραλαμβάνουν τα καταστρώματα, αν υπάρχουν.
- Mars Rule: Αποτελεί το περιβάλλον του Mars, στο οποίο λαμβάνει χώρα η μελέτη της αντοχής της εκάστοτε εγκάρσιας τομής, όπως αυτή εξηγείται παρακάτω.

Η μελέτη της αντοχής μέσω του Mars2000 (Mars Rule) εμπεριέχει :

1. Τον έλεγχο της ροπής αντίστασης (Section Modulus) της εκάστοτε τομής σύμφωνα με την απαιτούμενη, όπως προκύπτει από την διαμήκη αντοχή (Shear Forces & Bending Moments) και την μελέτη του πλοίου ως δοκό. (Global Loads)
2. Τον έλεγχο για την εκπλήρωση του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους των ελασμάτων, που αφορά την αντοχή σε φορτίσεις και καταπονήσεις (λυγισμός, διάτμηση, κάμψη), οι οποίες οδηγούν σε τάσεις (ορθές και διατμητικές) σε τοπικό επίπεδο (Local loads).
3. Τον έλεγχο για την εκπλήρωση του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους φλάντζας και κορμού στα δευτερεύοντα, αλλά και στα πρωτεύοντα ενισχυτικά, για αντοχή σε τοπικό επίπεδο, όπως και στην περίπτωση των ελασμάτων (Local loads).

Παρακάτω, παρουσιάζεται στιγμιότυπο του προγράμματος από το περιβάλλον του Mars Rule στον νομέα 28aft. Η ιδιομορφία του διπύθμενου (tank top) οφείλεται στην απότομη ανύψωση του πυθμένα, που οδήγησε σε αυτήν την ιδιόμορφη σχεδιαστική λύση. Δεξιά, παρουσιάζονται με την σειρά το εμβαδόν της τομής, ο ουδέτερος άξονας, η ροπή αδράνειας καθώς και η ροπή αντίστασης ως προς κατάστρωμα και πυθμένα.



Σχήμα 3. 1: Στιγμιότυπο του Mars Rule στον νομέα 28aft

3.2. Υπολογισμός ελασμάτων και δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών

Αρχικά, πραγματοποιείται η μοντελοποίηση στο περιβάλλον του Mars, των επιλεγθέντων εγκάρσιων τομών μέχρι το κατάστρωμα αντοχής, η προσδιορισμένη γεωμετρία των οποίων παρουσιάζεται στο [Παράρτημα Β](#). Οι τομές αυτές βρίσκονται στους εξής νομείς : -5 (Transom), 12, 28 AFT, 28 FORE, 44, 54-64 (Midship), 76, 92 AFT, 92 FORE, 108 & 116.

Το Παράλληλο Τμήμα βρίσκεται μεταξύ των νομέων 54 & 64 σύμφωνα με τις γραμμές του πλοίου. Σε αυτό το διάστημα, τα διαμήκη δομικά στοιχεία παραμένουν σταθερά.

Επιπροσθέτως, επισημαίνεται ότι επιλέχθηκαν και τομές στις οποίες βρίσκονται εγκάρσιες υδατοστεγείς φρακτές (Frames : 12, 28, 92 & 108), καθώς εκεί συμβαίνει αξιοσημείωτη αλλαγή της εσωτερικής διαρρύθμισης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, στους νομείς όπου λαμβάνει χώρα η αλλαγή συστήματος ενίσχυσης (Fr: 12, 92), μοντελοποιούνται 2 τομές, μία με μεικτό και μία με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή παρεμβολή για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας της μεταλλικής κατασκευής μεταξύ των τομών.

Στις τομές αυτές, διεξάγεται ο έλεγχος αντοχής και προσδιορίζονται οι διαστάσεις και τα πάχη ελασμάτων και ενισχυτικών, με στόχο την επίτευξη της απαιτούμενης ροπής αντίστασης και τοπικής αντοχής, όπως επισημάνθηκε και παραπάνω.

Η απαιτούμενη ροπή αντίστασης της τομής εξαρτάται από την τιμή της καμπτικής ροπής σχεδίασης σε ήρεμο νερό, όπου στην περιοχή της Μέσης τομής ισούται με 150.000 kNm. Οι αναμενόμενες φορτίσεις που προκύπτουν από τις operational καταστάσεις φόρτωσης, που θα μελετηθούν στην συνέχεια, βρίσκονται στο 34%-38% της μέγιστης επιτρεπόμενης.

Συγκεκριμένα, η μέγιστη καμπτική ροπή εμφανίζεται στην κατάσταση αναχώρησης πλήρους φορτίου του πλοίου (Full Load Departure) και είναι ίση με $BM=5800 \text{ tm}$ (38% of BM_{max}), διατηρώντας έτσι ένα σημαντικό περιθώριο ασφαλείας. Η παραπάνω τιμή, επιβεβαιώνεται και από υπάρχον πλοίο παρόμοιου σκοπού και διαστάσεων.

Για τμήματα εκτός αυτής της περιοχής, η μέγιστη ροπή μεταβάλλεται γραμμικά μέχρι τα άκρα του πλοίου (Aft End & Fore End), όπου θεωρητικά μηδενίζεται.

Από τα προσδιορισμένα, πλέον, γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων της εκάστοτε τομής (ελάσματα, δευτερεύοντα ενισχυτικά), προκύπτει το εμβαδόν και το κέντρο της εγκάρσιας τομής (VCG) της μεταλλικής κατασκευής σε αυτό τον νομέα. Από το εμβαδό αυτό, πολλαπλασιαζόμενο με το ειδικό βάρος του χάλυβα ($SG_{STEEL}=8.0 \text{ t/m}^3$), προκύπτει το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ανά τρέχον μέτρο (t/m) στην εκάστοτε τομή.

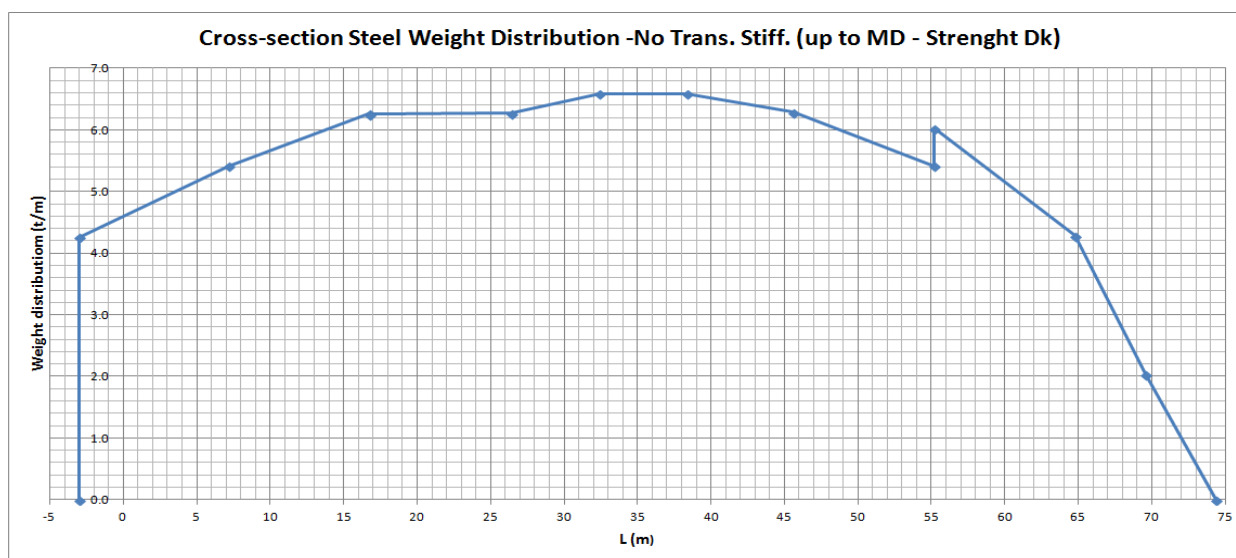
Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται το βάρος ανά τρέχων μέτρο, αλλά και το κέντρο βάρους (καθ' ύψος και κατά το διάμηκες), για την εκάστοτε προσδιορισμένη τομή του Mars:

Πίνακας 3. 1: Χαρακτηριστικά διαμήκων δομικών στοιχείων μέχρι το Strength Dk στις τομές του Mars

MARS Sections up to MAIN DECK (STRENGTH DECK)				
FRAME	Distance from AP (m)	Cross-AREA (no transv. stiff) (m ²)	KG (m) (m)	Weight per metre (t/m)
-5	-3	0.510	5.307	4.078
12	7.2	0.624	4.285	4.992
28 aft	16.8	0.701	3.827	5.606
28 aft	16.8	0.774	3.648	6.192
44	26.4	0.769	3.166	6.149
54	32.4	0.808	2.985	6.461
64	38.4	0.808	2.985	6.461
76	45.6	0.771	3.105	6.166
92 aft	55.2	0.647	3.571	5.178
92 fore	55.2	0.739	3.564	5.915
108	64.8	0.553	3.606	4.427
116	69.6	0.244	3.36	1.949
124	74.34	0.000	2.63	0.000

Επίσης, παρατίθεται το παραστατικό διάγραμμα της κατανομής βάρους των διαμήκων στοιχείων της μεταλλικής κατανομής, μέχρι το κατάστρωμα αντοχής.

Σημειώνεται ότι, η απότομη αλλαγή που σημειώνεται στον νομέα 92, οφείλεται στην πλευρική φρακτή των δεξαμενών του γλυκού νερού που εντάσσεται στον νομέα αυτό και έχει την μορφή διπλού τοιχώματος (double skin), εντός του μηχανολογικού χώρου των bow thrusters.



Σχήμα 3. 2: Κατανομή βάρους διαμήκων κατασκευαστικών στοιχείων μέχρι το Strength Dk

3.3. Εγκάρσια Δευτερεύοντα Ενισχυτικά

Όπως προαναφέρθηκε, το σύστημα ενίσχυσης στα άκρα του πλοίου γίνεται μεικτό, με αποτέλεσμα στα διαστήματα ανάμεσα στις προσδιορισμένες τομές (Fr-5 - Fr28 aft) και (Fr92 fore - Fr116), να υπάρχουν εγκάρσια δευτερεύοντα ενισχυτικά.

Οι τομές αυτές παρουσιάζονται ξεχωριστά στο [Παράρτημα: Β](#).

Δυστυχώς, το πρόγραμμα, πέρα από τον υπολογισμό των τάσεων, δεν παρέχει πληροφορίες για τον υπολογισμό του βάρους και του κέντρου των εγκάρσιων ενισχυτικών.

Επομένως, τα στοιχεία αυτά, υπολογίζονται αριθμητικά για κάθε ένα ενισχυτικό, στις προσδιορισμένες τομές, όπου το μεικτό σύστημα βρίσκεται σε ισχύ. Καθώς η κατανομή του βάρους είναι ανά νομέα, θα πρέπει να μετατραπεί ανά μέτρο, για να προστεθεί στην αντίστοιχη κατανομή των διαμήκων στοιχείων της μεταλλικής κατανομής.

Σε αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη ενισχυμένων νομέων και εδρών, στις θέσεις των οποίων δεν υπάρχουν δευτερεύοντα εγκάρσια ενισχυτικά.

Υπενθυμίζεται ότι, το frame spacing είναι 600 mm και ότι ο ενισχυμένος νομέας βρίσκεται ανά 4 απλούς. Για τις έδρες του διπύθμενου ισχύει το ίδιο, εκτός και αν υπάρχει περισσότερη ανάγκη τοπικής στήριξης.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, για τον υπολογισμό της κατανομής βάρους ανά μέτρο των εγκάρσιων δευτερευόντων ενισχυτικών, ισχύουν οι εξής τύποι:

$$(W/\text{metre}) = \begin{cases} ((W/\text{frame})/0.6) * (3/4) & , \text{ (above Tank Top)} \\ ((W/\text{frame})/0.6) * ((S_{\text{flour}}-1)/S_{\text{flour}}) & , \text{ (below Tank Top)} \end{cases}$$

όπου S_{flour} , το μέσο frame spacing των εδρών σε κάθε διάστημα μεταξύ των τομών του Mars.

Επίσης, ο υπολογισμός του όγκου μιας βολβολάμας μπορεί να προσεγγιστεί ως εξής:

$$V(\text{bulb stif.}) = 1.2 * V(\text{flat bar stiff.})$$

Σύμφωνα με τα όλα τα παραπάνω, υπολογίζεται η κατανομή βάρους όλων των εγκάρσιων δευτερευόντων ενισχυτικών μέχρι το κατάστρωμα αντοχής, σε όλους τους νομείς με μεικτό σύστημα ενίσχυσης πρίμα και πύρα του πλοίου. Οι υπολογισμοί αυτοί παρουσιάζονται στο [Παράρτημα Γ](#) (σελ. Γ,1-Γ,3), για κάθε νομέα ξεχωριστά (Frames: -5 (Transom), 12, 28 AFT, 92 FORE, 108 & 116) στους [πίνακες Γ.1, Γ.2, Γ.3, Γ.4, Γ.5, & Γ.6](#) αντίστοιχα.

Τελικά με την άθροιση σε κάθε νομέα της κατανομής βάρους των διαμήκων δομικών στοιχείων και των εγκάρσιων απλών ενισχυτικών, προκύπτει το τελικό βάρος των ελασμάτων και των δευτερευόντων ενισχυτικών της μεταλλικής κατασκευής μέχρι το

κατάστρωμα αντοχής. Επιπροσθέτως, με το θεώρημα των ροπών υπολογίζεται το συνολικό κέντρο βάρους.

Τα αποτελέσματα και ο υπολογισμός βρίσκονται στο [πίνακα Γ.7](#) στο Παράρτημα Γ (σελ. Γ.3).

Η αριθμητική ολοκλήρωση της κατανομής βάρους, με ενσωματωμένα πλέον τα εγκάρσια ενισχυτικά, με τη μέθοδο των τραπεζίων, οδηγεί στον υπολογισμό του ολικού βάρους των ελασμάτων και των δευτερευόντων ενισχυτικών (εγκάρσιων και διαμήκων), της μεταλλικής κατασκευής, μέχρι το κατάστρωμα αντοχής.

Το κέντρο βάρους κατά το διάμηκες (LCG) και καθ' ύψος (VCG) υπολογίζεται εφαρμόζοντας το θεώρημα των ροπών προς τις αντίστοιχες διευθύνσεις, καθώς είναι γνωστά, από προηγούμενους υπολογισμούς, τα κέντρα των τομών. Η διαδικασία αυτή της ολοκλήρωσης λαμβάνει χώρα στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3. 2 : Ολοκλήρωση κατανομής βάρους περιβλήματος και απλών ενισχυτικών μεταξύ των τομών του Mars

Total Shell & Ordinary Stiff. up to MD (STRENGTH Deck) (Mars) Weight								
FRAME	Distance from AP (m)	Total Weight per metre (t/m)	KG above BL (m)	Integration of Weight between frames (t)	Mean LCG of section between frames (m)	Mean KG of section between frames (m)	Mz from BL (t*m)	Mx from AP (t*m)
-5	-3	4.767	5.264					
12	7.2	6.218	4.262	56.02	2.77	4.70	263.1	155.4
28 aft	16.8	7.180	3.708	64.31	12.34	3.97	255.0	793.9
28 fore	16.8	6.254	3.68	0.00	16.80	3.69	0.0	0.0
44	26.4	6.273	3.238	60.13	21.61	3.46	208.0	1299.2
54	32.4	6.585	3.057	38.57	29.47	3.15	121.3	1136.8
64	38.4	6.585	3.057	39.51	35.40	3.06	120.8	1398.6
76	45.6	6.290	3.178	46.35	41.92	3.12	144.4	1942.8
92 aft	55.2	5.414	3.513	56.18	50.04	3.33	187.2	2811.1
92 fore	55.2	6.967	3.399	0.00	55.20	3.45	0.0	0.0
108	64.8	5.093	3.836	57.89	59.25	3.58	207.5	3430.2
116	69.6	2.768	3.416	18.87	66.49	3.69	69.6	1254.4
124-.06	74.34	0.000	2.63	6.56	69.60	3.42	22.4	456.5
Total Shell & Ordinary Stiff. up to MD (STRENGTH Deck) (Mars) Weight				444.38	33.03	3.60	1599.3	14678.9

3.4. Πρωτεύοντα Ενισχυτικά (Έδρες, Ενισχυμένοι Νομείς)

3.4.1. Έδρες (Flours)

Όσον αφορά τον υπολογισμό των εδρών, η μεγάλη μεταβλητότητα των γραμμών του πλοίου στην περιοχή του πυθμένα, όσο και η εναλλαγή στο ύψος του διπύθμενου κατά μήκος του πλοίου, οδηγούν στην μελέτη κάθε έδρας ξεχωριστά, για την εξαγωγή πιο έγκυρου αποτελέσματος. Σε αυτή την απόφαση συντέλεσε το γεγονός ότι, η ισαπόσταση μεταξύ των εδρών δεν είναι σταθερή, λόγω διαφορετικών απαιτήσεων τοπικής στήριξης, όπως έχει προαναφερθεί. Συνάμα, πολλές έδρες αποτελούν και υδατοστεγή όρια των δεξαμενών του διπύθμενου και χρήζουν παραπάνω ενίσχυσης, ενώ οι υπόλοιπες διαθέτουν ανθρωποθυρίδες, καθώς απαιτείται προσβασιμότητα σε κάθε χώρο του πλοίου. Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω, διαμορφώνεται προσεγγιστικά ο παρακάτω τύπος για τον υπολογισμό του όγκου, άρα και του βάρους των εδρών:

$$\text{Volume} = (C) * \text{thickness} * \text{Cross-Area (up to Tank Top)}$$

Όπου (C), ο συντελεστής για τα ενισχυτικά και τις ανθρωποθυρίδες των εδρών και διαμορφώνεται ως εξής:

- (C) = 1.5 όταν η έδρα είναι φρακτή δεξαμενής (λόγω της επιπλέον ενίσχυσης)
- (C) = 0.8, όταν η έδρα ΔΕΝ είναι φρακτή δεξαμενής (λόγω της ύπαρξης ανθρωποθυρίδων).

Το εμβαδόν της κάθε εγκάρσιας τομής μέχρι το διπύθμενο, καθώς και το κέντρο της, υπολογίστηκε από το NAPA, μέσω των πινάκων Bonjeans της μοντελοποιημένης γάστρας στο αντίστοιχο ύψος διπυθμένου και διαμήκους σημείου της έδρας. Στις έδρες του διπυθμένου στο μηχανοστάσιο (E.R.TankTop), όπου το ύψος δεν είναι σταθερό κατά το εγκάρσιο λόγω της ύπαρξης 'σπασίματος' (knuckle), η εγκάρσια τομή βρέθηκε με την χρήση του AutoCad.

Στον [πίνακα Γ.8](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.4 - Γ.5), παρουσιάζεται ο αναλυτικός υπολογισμός κάθε έδρας ξεχωριστά για το βάρος και το κέντρο της, από τον οποίο προκύπτει το συνολικό βάρος των εδρών ίσο με :

$$W_{\text{FLOURS}} = 41.5 \text{ t}$$

Για την μετ' έπειτα διαμόρφωση της κατανομής βάρους, θα χρειαστεί να προσεγγιστεί η αντίστοιχη κατανομή των εδρών. Λόγω των μεταβλητών ισαποστάσεων των εδρών η κατανομή δεν μπορεί να είναι ομοιόμορφη. Έτσι θα προσεγγιστεί σε ομοιόμορφες κατανομές ανάμεσα στις προσδιορισμένες τομές, ενώ στα σημεία των τομών, ως τιμή θα ληφθεί η μέση τομή των κατανομών που συνορεύουν σε αυτό το σημείο.

Η διαδικασία αυτή εκτελείται στον [πίνακα Γ.9](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.5).

3.4.2. Ενισχυμένοι Νομείς (Web Frames)

Οι ενισχυμένοι νομείς τοποθετούνται σταθερά ανά 4 απλούς νομείς (2,4 μέτρα) και στόχο έχουν την στήριξη των δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών, παραλαμβάνοντας τα φορτία τους. Όπως προαναφέρθηκε, ο προσδιορισμός της γεωμετρίας τους έχει βασιστεί σε πλοίο παρόμοιων χαρακτηριστικών και σκοπού.

Στην περιοχή του παραλλήλου τμήματος, όπου ακολουθείται το διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, οι ενισχυμένοι νομείς συμβάλλουν στην στήριξη, τόσο των πλευρικών διαμήκων ενισχυτικών πάνω από το διπύθμενο, όσο και των διαμήκων ενισχυτικών των καταστρωμάτων.

Από την άλλη μεριά, στα άκρα του πλοίου που ακολουθείται μεικτό σύστημα, τα διαμήκη ενισχυτικά βρίσκονται στο κύριο κατάστρωμα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν Web Frames στα πλευρά και στο Tween Deck.

Στον [πίνακα Γ.10](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.6), παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των ενισχυμένων νομέων μέχρι το κύριο κατάστρωμα και πραγματοποιείται ο αναλυτικός υπολογισμός τους, από όπου και προκύπτει το συνολικό βάρος τους ως:

$$W_{\text{WEB FRAMES}} = 44.3 \text{ t}$$

3.5. Υδατοστεγείς Εγκάρσιες Φρακτές μέχρι το Upper Deck

Οι Εγκάρσιες Υδατοστεγείς Φρακτές (Transverse Watertight Bulkheads), που βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα αντοχής, δηλαδή το Main Deck, συμβάλλουν στην αντοχή του πλοίου και χωρίζουν το κύτος του πλοίου σε επιμέρους διαμερίσματα.

Στις φρακτές αυτές περιλαμβάνονται η Φρακτή Πρόσκρουσης (Collision Bulkhead) (Fr.108), η πρυμναία φρακτή (FR.12), οι φρακτές του μηχανοστασίου (FR.28 FR.48) και άλλες 2 εγκάρσιες φρακτές που τοποθετούνται στους χώρους ενδιαίτησης (FR.72 FR.92). Οι φρακτές αυτές επιλέγεται να έχουν πάχος 10mm, όσο είναι και το πάχος των side frames και των εδρών που βρίσκονται στο διπύθμενο. Στις παραπάνω φρακτές, προστίθεται και το εξωτερικό περίβλημα του πλοίου στην περιοχή του καθρέφτη (Transom). Σημειώνεται επίσης ότι, οι φρακτές στους νομείς 28 και 108 εκτείνονται μέχρι το Upper Deck.

Επιπροσθέτως, υπάρχουν και διάφορες άλλες, μικρότερες εγκάρσιες φρακτές που αποτελούν όρια δεξαμενών ή παρέχουν στήριξη και στεγανότητα (πχ. Moonpool). Στους υπολογισμούς που ακολουθούν, για τα ενισχυτικά των φρακτών, θεωρείται 50% αύξηση του αρχικού όγκου ($\text{Volume}(+\text{stiff})=1.5*\text{Volume}(\text{no stiff})$).

Στον [πίνακα Γ.11](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.7), υπολογίζεται το βάρος για τις υδατοστεγείς εγκάρσιες φρακτές μέχρι το Upper Deck, το οποίο προσδιορίζεται ως:

$$W_{\text{TRANS.BHDS}} = 91.8 \text{ t}$$

Μερικές μικρές διαμήκης φρακτές, που αποτελούν κατά κύριο λόγο όρια δεξαμενών, δεν συμπεριλήφθηκαν στον αρχικό υπολογισμό με τις τομές του Mars. Γι' αυτό ευθύνεται το γεγονός ότι εκτείνονται για μικρό διάστημα κατά μήκος του πλοίου, είτε το ότι βρίσκονται πάνω από το κατάστρωμα αντοχής. Το βάρος των φρακτών αυτών προσδιορίζεται στον [πίνακα Γ.12](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.8), όπου και παρατίθεται ο αναλυτικός υπολογισμός τους. Σύμφωνα με τον πίνακα, το βάρος των φρακτών αυτών προκύπτει:

$$W_{\text{TRANS.BHDS}} = 32.4 \text{ t}$$

3.6 Υπερκατασκευές

Όπως σημειώθηκε και παραπάνω, ως υπερκατασκευή νοείται το τμήμα της μεταλλικής κατασκευής άνωθεν του καταστρώματος αντοχής, που στην περίπτωση αυτή συμπίπτει με το κύριο κατάστρωμα (Main Dk- z=6.8 m). Οι υπερκατασκευές δεν συμμετέχουν στην κάμψη του πλοίου ως δοκός (διαμήκης αντοχή), ούτε και στην διαμόρφωση την ροπής αντίστασης στην μέση τομή. Έτσι, σχεδιάζονται για να παραλάβουν μόνο τοπικά φορτία, με αποτέλεσμα το μικρότερο πάχος των δομικών στοιχείων της υπερκατασκευής. Σε περιπτώσεις όπου η ελάφρυνση του βάρους της κατασκευής υπερισχύει της επιβάρυνσης του κόστους κατασκευής (π.χ. yacht, ταχύπλοα επιβατηγά - catamaran κ.τ.λ.), ως υλικό των υπερκατασκευών, και όχι μόνο, χρησιμοποιείται το αλουμίνιο.

Στην προκείμενη περίπτωση θα προτιμηθεί η χρήση του απλού ναυπηγικού χάλυβα. Το σύστημα ενίσχυσης επιλέγεται να είναι το εγκάρσιο, καθώς παραλαμβάνονται μόνο τοπικές φορτίσεις. Έτσι τα απλά ενισχυτικά θα είναι εγκάρσια και θα στηρίζονται σε 3 πρωτεύοντα διαμήκη ενισχυτικά καταστρώματος (διαδοκίδες), τοποθετημένα στην centerline και 3,5 μετρά εκατέρωθεν της, ισοκατανέμοντας έτσι το φορτίο που παραλαμβάνουν. Τέλος, οι διαδοκίδες στηρίζονται πάνω σε κολόνες, οι οποίες τοποθετούνται κάθε 8 νομείς, πάνω σε ενισχυμένο νομέα.

Για τον προσδιορισμό των διαστάσεων ενισχυτικών και των κολόνων, λήφθηκαν στοιχεία από τα κατασκευαστικά σχέδια της υπερκατασκευής ομοίων διαστάσεων πλοίου, όπου οι απαιτήσεις τους κυμαίνονται στα ίδια πλαίσια.

Το τελικό βάρος των υπερκατασκευών θα προκύψει ως συνάθροισή των επιμέρους στοιχείων που τις αποτελούν, τα οποία είναι:

- Το τμήμα της υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck
- Τα διαμήκη στοιχεία (ελάσματα, διαδοκίδες) πάνω από το Upper Deck
- Τα εγκάρσια απλά ενισχυτικά πάνω από το Upper Deck
- Το εγκάρσιο εξωτερικό περίβλημα των υπερκατασκευών
- Οι κολόνες στήριξης της υπερκατασκευής.

Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός μέχρι το Upper Deck εκτελείται ξεχωριστά καθώς μπροστά από τον νομέα 92, το πλάτος του πλοίου ελαττώνεται μη γραμμικά μέχρις ότου φτάσει την πλήρη του πλοίου. Έτσι, δεν μπορεί να ακολουθηθεί η πρακτική της ομοιόμορφης κατανομής του βάρους, όπως ακολουθείται στα υπόλοιπα καταστρώματα των υπερκατασκευών.

3.6.1. Υπερκατασκευές μέχρι το Upper Deck

Καθώς, όπως αναφέραμε προηγουμένως, το βάρος των υπερκατασκευών δεν κατανέμεται ομοιόμορφα, αυτό θα υπολογισθεί μέσω ολοκλήρωσης μεταξύ των επιλεγμένων τομών. Αυτές οι τομές είναι τα άκρα του διαστήματος, όπου η υπερκατασκευή έχει το μέγιστο πλάτος (FR28, FR92), το άκρο του πλοίου (FR123), όπου πρακτικά η εγκάρσια τομή έχει μηδενική τιμή και μια ενδιάμεση τομή (FR108), για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της γεωμετρίας της πλώρης.

Σε αυτές τις τομές θα προσδιοριστεί το τρέχον βάρος ανά μέτρο για τα διαμήκη στοιχεία (ελάσματα, διαδοκίδες) και τα εγκάρσια απλά ενισχυτικά, το άθροισμα των οποίων θα ολοκληρωθεί αριθμητικά με την μέθοδο των τραπεζίων, για να δώσει το τελικό αποτέλεσμα. Με την χρήση του θεωρήματος των ροπών υπολογίζεται και το κέντρο βάρους. Σημειώνεται ότι, στους υπολογισμούς λήφθηκε υπόψιν και το παραπέτο της πλώρης και εξαιρέθηκαν οι κολόνες, οι οποίες υπολογίζονται ξεχωριστά.

Στο Παράρτημα Γ (σελ. Γ.8), παρουσιάζεται η κατανομή βάρους στα διαμήκη στοιχεία (ελάσματα, διαδοκίδες) (πίνακας Γ.13) και στα εγκάρσια απλά ενισχυτικά (πίνακας Γ.14).

Τέλος, στον πίνακα Γ.15 του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.8), βρίσκεται το τελικό αποτέλεσμα του βάρους της υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck, από την ολοκλήρωση στις τομές αυτές, αφού πρώτα υπολογιστεί η συνολική κατανομή βάρους σε κάθε νομέα, με την ομαδοποίηση διαμήκων και εγκάρσιων κατασκευαστικών στοιχείων.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει:

$$W_{SS \text{ UPPER DK}} = 97,9 \text{ t}$$

3.6.2. Υπερκατασκευές πάνω από το Upper Deck

Το γεγονός ότι η εγκάρσια τομή της υπερκατασκευής πάνω από το Upper Deck παραμένει σταθερή κατά το διάμηκες, απλουστεύει την διαδικασία. Δεν απαιτείται ολοκλήρωση μεταξύ των τομών, παρά μόνο ο πολλαπλασιασμός της σταθερής κατανομής βάρους με το μήκος της υπερκατασκευής. Για τα εγκάρσια ενισχυτικά, γίνεται η μετατροπή του βάρους ανά νομέα σε βάρος ανά μέτρο, απλά με την διαίρεση με το 0,6 (frame spacing). Το κέντρο βάρους κατά το διάμηκες για το κάθε στρώμα της υπερκατασκευής λογίζεται ως το μέσο της, καθώς το βάρος κατανέμεται ομοιόμορφα, ενώ για το καθ' ύψος εφαρμόζεται το θεώρημα των ροπών.

Στους πίνακες του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.9), παρουσιάζεται τα χαρακτηριστικά, τόσο των διαμήκων στοιχείων (ελάσματα & ενισχυτικά) (Πίνακας Β.16), όσο και των εγκάρσιων ενισχυτικών (Πίνακας Β.17) και υπολογίζεται το βάρος τους ως.

$$W_{SS \text{ LONG.}} = 58.8 \text{ t}$$

$$W_{SS \text{ TRANS STIF}} = 17.0 \text{ t}$$

3.6.3. Εγκάρσιες Φρακτές των Υπερκατασκευών

Οι εγκάρσιες φρακτές, αποτελούν το εγκάρσιο εξωτερικό περίβλημα των υπερκατασκευών. Στους υπολογισμούς εξαιρούνται οι φρακτές μέχρι το Upper Deck στους νομείς 28 και 108 που υπολογίστηκαν παραπάνω, ενώ τα υδατοστεγή παράθυρα στην γέφυρα, για λόγους απλούστευσης, θεωρήθηκαν φρακτές και υπολογίστηκαν με την ίδια διαδικασία. Επίσης, για τα ενισχυτικά των φρακτών θεωρείται 50% αύξηση του αρχικού όγκου ($\text{Volume}(\text{+stiff})=1.5*\text{Volume}(\text{no stiff})$).

Τελικά, στον [πίνακα Γ.18](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.10), βρίσκονται οι υπολογισμοί για τις εγκάρσιες φρακτές των υπερκατασκευών πάνω από το Upper Deck, το βάρος των οποίων προσδιορίζεται ως:

$$W_{SS \text{ TRANS.SHELL}} = 27.3 \text{ t}$$

3.6.4. Κολόνες Στήριξης της Υπερκατασκευών

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι κολόνες (pillars) στηρίζουν της διαδοκίδες των καταστρωμάτων των υπερκατασκευών. Τοποθετούνται 2 κολόνες, 3,5 μέτρα εκατέρωθεν της Centerline, ανά 8 νομείς και εδράζονται πάνω σε πρωτεύον ενισχυτικό (εγκάρσιο στο Main Dk, διάμηκες στα υπόλοιπα), ώστε να παραλαμβάνεται η φόρτισή τους από στιβαρό δομικό στοιχείο, που την διανέμει στην υπόλοιπη κατασκευή.

Η ισαπόσταση τους κατά το εγκάρσιο και ο αριθμός τους κατά το διάμηκες, λήφθηκαν έτσι ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν το ανυποστήρικτο μήκος των διαμήκων ενισχυτικών.

Ο προσδιορισμός του πάχους τους, εξαρτάται από τα φορτία που ενδέχεται να υπάρχουν στα καταστρώματα που στηρίζουν. Οι θλιπτικές τάσεις που υφίστανται οι κολόνες από τα φορτία αυτά, θα πρέπει να μην οδηγήσουν σε λυγισμό, που είναι η κυριότερη αιτία αστοχίας τους.

Σημειώνεται, ότι για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των κολόνων λήφθηκαν στοιχεία από τα κατασκευαστικά σχέδια του όμοιου πλοίου, όπου η ισαπόσταση των κολόνων και τύπος του φορτίου που στηρίζουν στην αντίστοιχη θέση είναι παρεμφερής.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, στον [πίνακα Γ.19](#) του Παραρτήματος Γ (σελ. Γ.10), παρουσιάζονται τα προσδιορισθέντα χαρακτηριστικά των κολόνων στήριξης, ανά κατάστρωμα και τύπο αναληφθέντος φορτίου, και γίνονται οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό του βάρους και του κέντρου τους.

Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει ως:

$$W_{PILLARS} = 10.1 \text{ t}$$

3.6.5. Συνολικό Βάρος Υπερκατασκευών

Συνολικά, το βάρος του συνόλου των υπερκατασκευών προκύπτει ως η υπέρθεση των παραπάνω ομάδων δομικών στοιχείων, ενώ το κέντρο της προκύπτει από τις αντίστοιχες ροπές, διαδικασία η οποία παρουσιάζεται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα.

Πίνακας 3. 3: Συνολικός υπολογισμός βάρους υπερκατασκευών

Total Superstructure Steel Weight					
Description	Total Weight	LCG from AP	VCG from BL	Mx from AP	Mz from BL
	(t)	(m)	(m)	(tm)	(tm)
Weight from Main Dk to Upper Dk	97.90	43.47	4.92	4255.4	482.05
Weight (A+B+Nav. Dk)-Without Trans.Stiff	58.810	47.218	14.127	2776.9	830.80
Transverse Stiffeners from A+B+Nav. Superstr.	16.998	47.074	13.986	800.1	237.73
Trans. Shellplate on Superstructure + Stiff	27.255	47.51	11.21	1294.9	305.53
Total Weight of Pillars on Superstructure	10.139	39.57	9.75	401.2	98.86
Total Superstructure Steel Weight	211.10	45.138	9.261	9528.5	1954.97

3.7. Συνολικό Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής W_{STEEL}

Πλέον, με όλα τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν την μεταλλική κατασκευή του πλοίου προσδιορισμένα, μπορεί να πραγματοποιηθεί ο τελικός υπολογισμός του συνολικού βάρους της μεταλλικής κατασκευής, ο οποίος βρίσκεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. 4: Συνολικός υπολογισμός βάρους και κέντρου μεταλλικής κατασκευής

Total Steel Weight (W_{steel})					
Wsteel Category	Total Weight	LCG from AP	VCG from BL	Mx from AP	Mz from BL
	t	m	m	(tm^2)	(tm^2)
Shell & Ordinary Stiff. up to MD (Strenght Deck) (Mars) Weight	444.38	33.03	3.60	14679	1599
Superstructure Steel Weight	211.10	45.14	9.26	9529	1955
Transverse WT Bulkheads up to Upper Deck Weight	91.79	31.352	4.337	2878	398
Longitudinal Bulkheads Weight (Not Specified On Mars)	19.35	27.029	4.25	523	82
Webs & Girders Weight	44.30	33.021	4.485	1463	199
Flours Weight	41.45	29.82	1.476	1236	61
Total Steel Weight (W_{steel})	852.3	35.55	5.038	30307	4294

3.8 Ανάλυση Κατανομής Βάρους Μεταλλικής Κατασκευής W_{STEEL}

Για τον προσδιορισμό της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής, θα πραγματοποιηθεί η υπέρθεση των κατανομών της κάθε ομάδας δομικού στοιχείου που την συνθέτει.

Ως σημεία ελέγχου της κατανομής, λαμβάνονται οι διαμήκεις θέσεις εγκάρσιων τομών, που επιλέχθηκαν για την μελέτη αντοχής μέσω του Mars. Συνάμα, βάση της κατανομής, αποτελεί η κατανομή των διαμηκών κατασκευαστικών στοιχείων που προσδιορίστηκε ανωτέρω (Σχήμα 3. 1).

Εν συνεχεία, στην βάση αυτή θα ενσωματώνονται οι υπολογισμένες κατανομές βάρους των δομικών στοιχείων που μεταβάλλονται κατά μήκος του πλοίου σε ένα ή παραπάνω σημεία ελέγχου.

Επομένως, προστίθενται με την σειρά οι κατανομές βάρους των εγκάρσιων δευτερευόντων ενισχυτικών, των εδρών (Flours), των ενισχυμένων νομέων (Web Frames) και του τμήματος της υπερκατασκευής μέχρι το Upper Deck μαζί με τα pillars.

Στην συνέχεια, προστίθενται οι κατανομές των δομικών στοιχείων που είναι ομοιόμορφες στο διάστημα δράσης τους. Αυτές είναι οι υπερκατασκευές πάνω από το Upper Deck και οι διαμήκεις φρακτές που δεν είχαν προσδιοριστεί στις τομές του Mars.

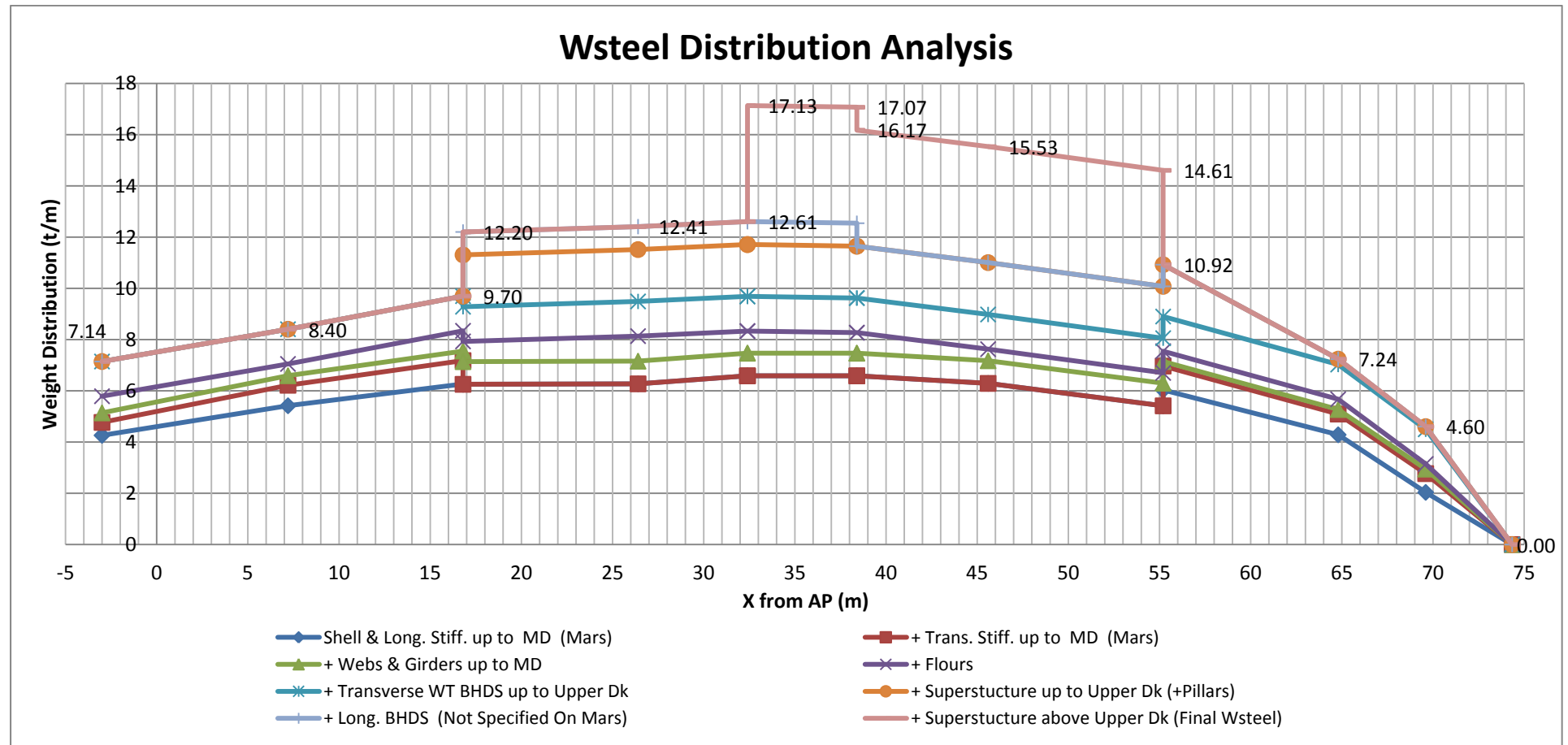
Για την αποφυγή των μεγάλων συγκεντρώσεων βάρους σε μεμονωμένα σημεία, η κατανομή των εγκάρσιων φρακτών θεωρείται επίσης ομοιόμορφη σε όλο το μήκος του πλοίου και προστίθεται και αυτή με την σειρά της.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας ανάλυσης και υπέρθεσης της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής W_{steel} στις επιμέρους κατηγορίες που την απαρτίζουν:

Πίνακας 3. 5: Ανάλυση και υπέρθεση της κατανομής βάρους της W_{steel} στις επιμέρους κατηγορίες που την απαρτίζουν

Wsteel Distribution Analysis per Category										
Frame	X from AP	Shell & Long. Stiff. up to MD (Mars)	Trans. Stiff. up to MD (Mars)	Webs & Girders up to MD	Flours	Trans. WT Bulkheads up to Upper Deck	Superstr. up to Upper Dk (+Pillars)	Long. Bulkheads (Not Specified On Mars)	Superstr. above Upper Dk	Final Wsteel Weight Distribution on each frame
	Extend:	Transom - Fore End	Trans.-Fr28 & Fr92- Fore	Transom - Fore End	Transom - Fore End	Transom - Fore End	Fr27 - Fore End	Fr28 - Fr64	Fr54 - Fr92	
	(m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)	(t/m)
-5	-3	4.262	0.505	0.372	0.652	1.354				7.144
12	7.2	5.417	0.801	0.372	0.460	1.354				8.404
28 aft	16.8	6.268	0.912	0.372	0.789	1.354				9.695
28 fore	16.8	6.254	0.000	0.884	0.789	1.354	2.024	0.896		12.202
44	26.4	6.273	0.000	0.884	0.979	1.354	2.024	0.896		12.410
54	32.4	6.585	0.000	0.884	0.862	1.354	2.024	0.896		12.606
54	32.4	6.585	0.000	0.884	0.862	1.354	2.024	0.896	4.520	17.126
64	38.4	6.585	0.000	0.884	0.799	1.354	2.024	0.896	4.520	17.063
64	38.4	6.585	0.000	0.884	0.799	1.354	2.024		4.520	16.167
76	45.6	6.290	0.000	0.884	0.453	1.354	2.024		4.520	15.525
92 aft	55.2	5.414	0.000	0.884	0.402	1.354	2.024		4.520	14.599
92 fore	55.2	6.030	0.937	0.177	0.402	1.354	2.024			10.924
108	64.8	4.285	0.809	0.177	0.403	1.354	0.211			7.238
116	69.6	2.037	0.731	0.177	0.200	1.354	0.106			4.604
124	74.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000

Το τελικό διάγραμμα της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής, καθώς και οι κατανομές όλων των επιμέρους στοιχείων που την απαρτίζουν αθροιστικά, παρουσιάζονται παραστατικά παρακάτω:



Σχήμα 3. 3: Τελικό διάγραμμα της κατανομής βάρους της μεταλλικής κατασκευής

Για την εισαγωγή της κατανομής του βάρους στο Nara ως διακριτοποιημένα στοιχεία, καθώς επίσης και για τον έλεγχο της ορθότητας της, ολοκληρώνεται αριθμητικά η καμπύλη της κατανομής μεταξύ των σημείων ελέγχου, με την μέθοδο του τραpezίου.

Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζεται το βάρος και το κέντρο των επιμέρους διαμήκων στοιχείων, χωρίζοντας την κατανομή σε 10 τραpezία, τα οποία προσδιορίζονται στο παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3. 6: Διακριτοποίηση κατανομής Wsteel

Wsteel Analysis on Each Segment Between MARS Sections (Trapezoid method)						
Frame	X from AP	Final Wsteel on Frame	Segment Description	Integration of Weight between frames	Mean LCG of section between frames	Mx from Ap
-5	-3	7.144				
12	7.2	8.404	STEEL SEG. FR:-5 - 12	79.30	2.51	199.27
28 aft	16.8	9.695	STEEL SEG. FR:12 - 28	86.88	12.34	1072.24
28 fore	16.8	12.202				
44	26.4	12.410	STEEL SEG. FR:28 - 44	118.13	21.64	2556.52
54	32.4	12.606	STEEL SEG. FR:44 - 54	75.05	29.42	2208.12
54	32.4	17.126				
64	38.4	17.063	STEEL SEG. FR:54 - 64	102.57	35.39	3630.22
64	38.4	16.167				
76	45.6	15.525	STEEL SEG. FR:64 - 76	114.09	41.93	4783.49
92 aft	55.2	14.599	STEEL SEG. FR:76 - 92	144.59	50.25	7266.09
92 fore	55.2	10.924				
108	64.8	7.238	STEEL SEG. FR:92 - 108	87.18	59.03	5145.77
116	69.6	4.604	STEEL SEG. FR:108 - 116	28.42	66.67	1894.71
124	74.4	0.000	STEEL SEG. FR:116 - 124	10.91	69.60	759.41
Total Wsteel of Segments				847.11	34.84	29515.84

Όπως παρατηρείται, υπάρχει μικρή απόκλιση από το προηγούμενο συγκεντρωτικό υπολογισμό της μεταλλικής κατασκευής, της τάξεως του 0.6% στο βάρος και του 2% στο LCG. Αυτή η διαφορά, κυρίως στο LCG, οφείλεται στην θεώρηση της ομογενοποιημένης κατανομής των θεωρητικά σημειακών βαρών των εγκαρσίων φρακτών. Επίσης, η αριθμητική τραpezοειδής ολοκλήρωση, εκ φύσεως εμπεριέχει το σφάλμα της διακριτοποίησης της συνεχόμενης καμπύλης σε επιμέρους διαστήματα.

Όσον αναφορά το κέντρο βάρους, για το καθ' ύψος λαμβάνεται το προηγουμένως υπολογισθέν, ενώ κατά το εγκάρσιο, η μεταλλική κατασκευή θεωρείται συμμετρική (TCG= 0m), για απλούστευση των υπολογισμών (οι ασυμμετρίες θα εξετασθούν στην συνέχεια).

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προσδιορίζεται το αναλυτικό σχέδιο της Μέσης Τομής (Midship Section), το οποίο και παρουσιάζεται παρακάτω:

MIDSHIP SECTION

TYPICAL MIDSHIP
(WEB SECTION)
FRAME SPACING 2400

TYPICAL MIDSHIP
(ORDINARY SECTION)
FRAME SPACING 600

LOCATION	STIFF. NAME	STIFF. TYPE
BOTTOM	B1 – B11	HB – 185 x 9
SIDE SHELL	S1 – S3	HB – 175 x 9
SIDE SHELL	S4 – S6	HB – 150 x 8
INNER BOTTOM	I1 – I8	HB – 155 x 7
INNER BOTTOM	I9 – I11	HB – 165 x 7
TWEEN DECK	T1 – T13	FB – 100 x 7.5
MAIN DECK	MD1–MD13	HB – 175 x 8
UPPER DK GIRDER	SS1 – SS2	T 350x10 100x12
A DECK GIRDER	SS3 – SS4	T 320x9 100x12

NOTES:
1: STEEL MATERIAL:
GRADE "A" STEEL ($\sigma_y = 235 \text{ N/MM}^2$)

2: MAX ALLOWABLE STILL WATER BENDING

LOADING CONDITION	HOGGING (kN-M)	SAGGING (kN-M)
INTACT CONDITION	1,500,000	-1,500,000

MAIN PARTICULARS

SPECIAL PURPOSE VESSEL

Length Rule = 70.013 m

Length B.P. = 70.1 m

B = 15.5 m

Strength Dk (Main Dk) = 6.80 m

Draft Scantling = 5.00 m

Draft Design = 4.40 m

50 PERSONEL SPECIAL PURPOSE VESSEL

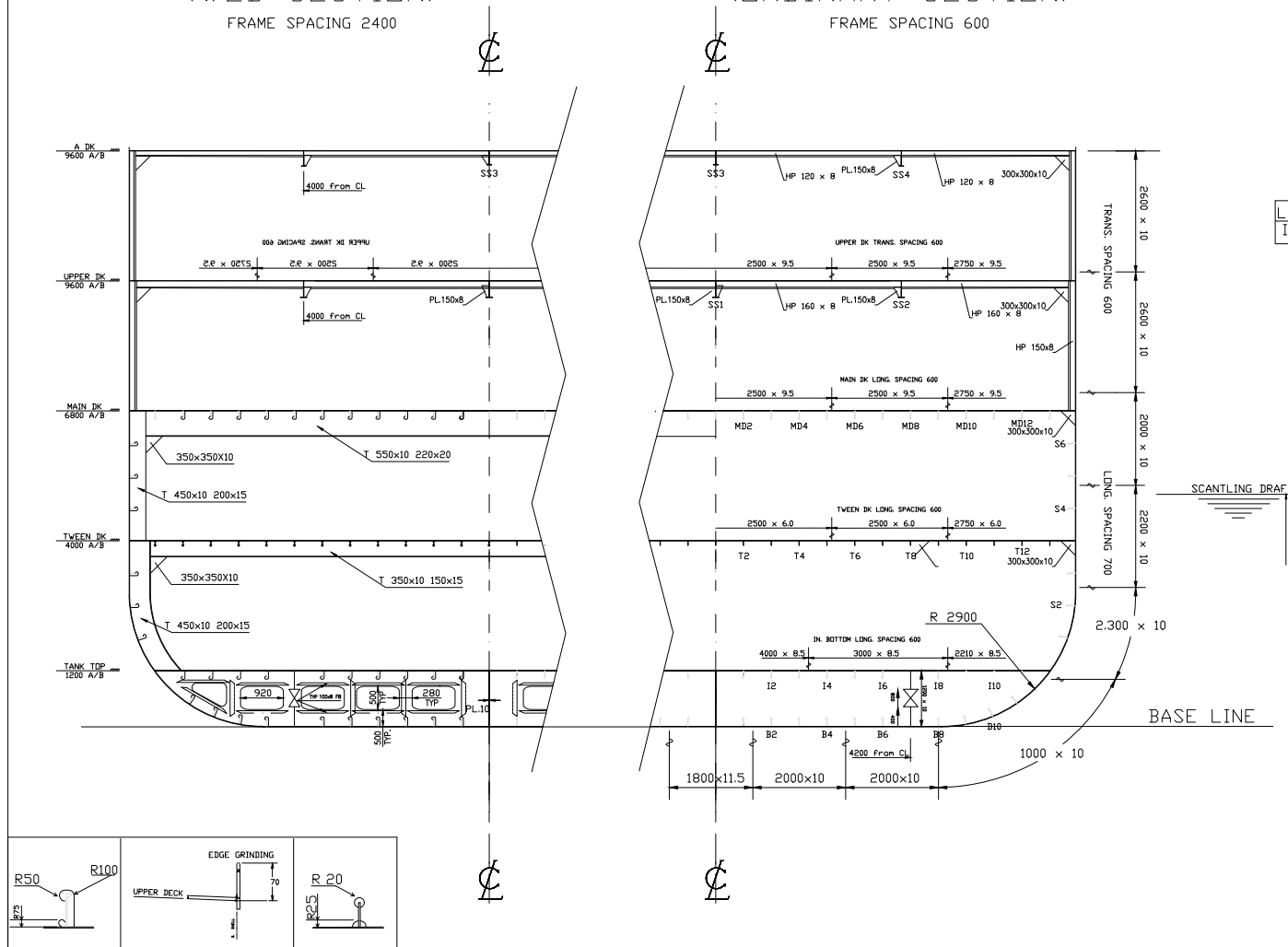
NAME OF VESSEL : PERSEAS

DATE : 5-19

MIDSHIP SECTION

CHALKODAIMON EVANGELIOS A.M: 08113018
THESIS PROJECT

NTUA – NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
NAVAL ARCHITECTURE & MARINE
ENGINEERING



Σχέδιο 3. 1: Μέση Τομή (Midship Section)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΕΝΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ (LIGHTSHIP)

Στο κεφάλαιο αυτό, λαμβάνει χώρα η διαμόρφωση της κατανομής βάρους του κενού σκάφους (Lightship), ώστε να μπορεί να γίνει στην συνέχεια η μελέτη της διαμήκουσ αντοχής (πλοίο ως δοκός), για τον καθορισμό των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών (Shear Forces - SF, Bending Moments – BM), σε κάθε κατάσταση φόρτωσης του Trim & Stability Booklet.

Ο υπολογισμός βάρους του κενού σκάφους, αποδομείται στον προσδιορισμό του βάρους των τριών μεγάλων κατηγοριών που το αποτελούν και είναι οι εξής :

- Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής (W_{STEEL})
- Το βάρος του εξοπλισμού (Outfitting – W_{OT})
- Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

Κομμάτια του βάρους εξοπλισμού αποτελούν η ενδιαίτηση και το βάρος του ειδικού εξοπλισμού που διαθέτει το πλοίο ως ωκεανογραφικό, τα οποία θα υπολογισθούν ξεχωριστά.

Χρησιμοποιώντας ως βάση την, υπολογισθείσα στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατανομή βάρους της μεταλλικής κατασκευής και προσθέτοντας τα επιπλέον βάρη των παραπάνω κατηγοριών θα προκύψει το τελικό αποτέλεσμα της κατανομής του Lightship.

Σημειώνεται, ότι η ενδιαίτηση και το βάρος του εξοπλισμού (πλην του ειδικού ωκεανογραφικού εξοπλισμού) κατανέμονται ομοιόμορφα στο πεδίο δράση τους.

Αντιθέτως, η μηχανολογική εγκατάσταση και ο ειδικός εξοπλισμός θα προστεθούν μεμονωμένα στην συνέχεια, ως σημειακά βάρη γύρο από το σημείο εφαρμογής του εκάστοτε στοιχείου, σύμφωνα με την θέση του στο σχέδιο της Γενικής Διάταξης.

Το τελικό αποτέλεσμα της κατανομής του Lightship, παρουσιάζεται σε διάγραμμα στο τέλος του κεφαλαίου, μαζί με την ανάλυση των βαρών που την απαρτίζουν, όπως αυτή εισήχθη στο πρόγραμμα του Nara.

4.1. Βάρος Εξοπλισμού W_{OT} (Outfitting)

4.1.1. Βάρος Ενδιαίτησης W_{ACC}

Το βάρος ενδιαίτησης W_{ACC} περιλαμβάνει τα βάρη του εξοπλισμού που “ντύνει” όλους τους κλειστούς χώρους που προβλέπονται για διαμονή, σίτιση και υγιεινή για το πλήρωμα και το επιστημονικό προσωπικό, καθώς και τους χώρους των εργαστηρίων. Δηλαδή, στα βάρη αυτά συμπεριλαμβάνονται οι μονώσεις, ο επιστημονικός εξοπλισμός των εργαστηριακών χώρων, κάθε είδους ξυλουργικές επικαλύψεις, ο εξοπλισμός των κοινόχρηστων χώρων, τα έπιπλα των καμπινών, τα οριζόντια διαχωριστικά panels των χώρων αυτών (π.χ. τοίχοι καμπινών), κ.α.

Για τα παραπάνω βάρη προσδιορίζονται, ανά κατηγορία, οι μέσοι συντελεστές των βαρών τους ανά τετραγωνικό επιφάνειας. Οι συντελεστές αυτοί προέκυψαν από παλαιότερες μελέτες, εκτιμήσεις και στατιστικά στοιχεία.

Πίνακας 4. 1: Συντελεστές βαρών χώρων ενδιαίτησης

Accommodation Region	Acc. Weight Coeff. W (t/m ²)
Laboratories	0.130
Scientific Equipment Rooms	0.200
Workshops	0.180
Equipment Or Storage)	0.200
Offices	0.120
Public Toilet	0.120
4-bed cabin	0.120
2-bed crew cabin	0.140
Corridor	0.055
Stairs	0.070
Dry stores	0.133
Laundry	0.160
Galley	0.120
Pantry	0.100
Refrigerated stores	0.185
Gym	0.100
Hospital	0.090
Mesh Rooms	0.080
Living Rooms	0.080
Wheelhouse	0.075

Από το Σχέδιο της Γενικής Διάταξης, έγινε εμβαδομέτρηση κάθε χώρου ξεχωριστά, όπου πολλαπλασιαζόμενο με τον αντίστοιχο συντελεστή, οδηγεί στο εκάστοτε βάρος ενδιαίτησης. Η άθροιση των επιμέρους χώρων καταλήγει στο συνολικό βάρος ενδιαίτησης. Το κέντρο του προκύπτει από το θεώρημα των ροπών.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται αναλυτικά, ανά κατάστρωμα, το βάρος ενδίαιτησης από όλους χώρους ξεχωριστά:

Πίνακας 4. 2: Αναλυτικός Υπολογισμός βάρους ενδίαιτησης ανά κατάστρωμα

Accommodation Region	Acc. Region Area	Acc. Weight Coeff.	Acc. Weight	LCG from AP	KG above BL	Mx from AP	Mz from BL
	(m ²)	(t/m ²)	(t)	(m)	(m)	(tm)	(tm)
Tank Top FR:56 -72							
Engineer's Office	16.9	0.120	2.028	35.4	1.6	71.791	3.245
Electrical Workshop	19.6	0.180	3.528	41.1	1.6	145.001	5.645
Preservation/Cooling Room	30	0.200	6	40.2	1.6	241.2	9.6
Mechanical Workshop	20.8	0.180	3.744	35.4	1.6	132.538	5.99
Engineer's Store	14.9	0.180	2.682	41.4	1.6	111.035	4.291
Stairs	9.2	0.070	0.644	37.8	1.6	24.343	1.03
Corridor	18.75	0.055	1.031	37.2	1.6	38.353	1.65
Tank Top Fr:72 – 92							
Transducers Room On Tank Top	55.5	0.200	11.1	45	1.6	499.5	17.76
Bottom Equipment Room	14.6	0.200	2.92	49.2	1.6	143.664	4.672
Gym	24.6	0.100	2.46	53.4	1.6	131.364	3.936
Laundry	1.15	0.160	0.184	49.2	1.6	9.053	0.294
Corridor	18.1	0.055	0.996	49.8	1.6	49.601	1.594
Linen Stores	10.8	0.133	1.436	53.4	1.6	76.682	2.298
Stairs	9.2	0.070	0.644	49.8	1.6	32.071	1.03
Tween Deck Top							
Engine Control Room	21.6	0.200	4.32	13.2	4.6	57.024	19.872
2-Bed Crew Cabin Fr:48-72	146.3	0.120	17.556	37.2	4.6	653.083	80.758
Corridor Fr:48-72	34.8	0.055	1.914	36.6	4.6	70.052	8.804
Stairs	9.2	0.055	0.506	37.8	4.6	19.127	2.328
2-Bed Crew Cabin Fr:72-92	125.6	0.120	15.072	49.8	4.6	750.586	69.331
Corridor Fr:72-92	34.9	0.055	1.92	48	4.6	92.16	8.832
Stairs	9.2	0.700	6.44	49.8	4.6	320.712	29.624
Main Deck							
Galley	59.2	0.120	7.104	60.6	7.2	430.502	51.149
Pantry	27.2	0.100	2.72	63	7.2	171.36	19.584
Refrigerator	19.2	0.185	3.552	57	7.2	202.464	25.574
Officers/Scientists Meshroom	52.3	0.080	4.184	51.6	7.2	215.894	30.125
Crew Meshroom	42.5	0.080	3.4	51	7.2	173.4	24.48
Meeting Room & Library	40.8	0.120	4.896	46.2	7.2	226.195	35.251
Crew Living Room	26.6	0.080	2.128	45	7.2	95.76	15.322
Scientists Living Room	30.2	0.080	2.416	39	7.2	94.224	17.395
Public Toilets	15	0.120	1.8	41.4	7.2	74.52	12.96
Officers Living Room	19.1	0.080	1.528	34.8	7.2	53.174	11.002
Hospital	17.5	0.090	1.575	30	7.2	47.25	11.34
Preservation/Cooling Room	8.95	0.185	1.656	31.8	7.2	52.661	11.923
Corridor	41	0.055	2.255	36.6	7.2	82.533	16.236
Stairs	9.2	0.070	0.644	37.8	7.2	24.343	4.637
Stairs	9.2	0.070	0.644	49.8	7.2	32.071	4.637

Laboratories							
Chemical & Biological Lab	51.1	0.130	6.643	21	7.1	139.503	47.165
CTD Control Room	10	0.130	1.3	31.8	7.1	41.34	9.23
Geophysical Lab	53.8	0.130	6.994	37.8	7.1	264.373	49.657
Wet Lab	22.9	0.130	2.977	21	7.1	62.517	21.137
Computer Lab	23.4	0.130	3.042	28.2	7.1	85.784	21.598
Controlled Enviroment Lab	23	0.130	2.99	31.8	7.1	95.082	21.229
Upper Deck							
Meteorological Lab	10.8	0.130	1.404	54	10	75.816	14.04
2-Bed Crew Cabin	110	0.120	13.2	40.2	10	530.64	132
1-Bed Officer Cabin	60	0.140	8.4	51	10	428.4	84
Stairs	9.2	0.070	0.644	49.8	10	32.071	6.44
Scientist 's Technical Office	10.6	0.120	1.272	39.6	10	50.371	12.72
Corridor	110	0.055	6.05	46.2	10	279.51	60.5
A Deck							
4X20Ft Container Capacity (Labs, Equipment Or Storage)	58.4	0.200	11.68	37.2	12.6	434.496	147.168
Ship's Office (A- Deck)	28.9	0.120	3.468	43.8	12.6	151.898	43.697
Stairs	9.2	0.070	0.644	55.8	12.6	35.935	8.114
Corridor	34	0.055	1.87	48	12.6	89.76	23.562
1-Bed Senior Officer Cabin	119.5	0.150	17.925	49.2	12.6	881.91	225.855
Bridge	199.8	0.075	14.985	49.2	15.3	737.262	229.271
Total Accomodation Weight (Wacc)			233.115	43.163	7.428	10062	1731.58

4.1.2. Βάρος Εξοπλισμού (χωρίς ενδιαίτηση & ειδικό εξοπλισμό)

Σε αυτή την κατηγορία, εντάσσονται τα βάρη του αναγκαίου βοηθητικού εξοπλισμού για την ασφαλή λειτουργία και ναυσιπλοΐα του πλοίου. Σύμφωνα με τον πίνακα από την πηγή: Μελέτη και εξοπλισμός Πλοίου 1 (Συλλογή Βοηθημάτων) ρ. 58-59, λαμβάνουμε ένα συντελεστή βάρους για κάθε κατηγορία βοηθητικού εξοπλισμού.

Ο συντελεστής w_{OT} για κάθε κατηγορία εξοπλισμού ορίζεται ως:

$$w_{OT} = W_{OT} / (LBD) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Όπου } (LBD) = 69.1 * 15.5 * 6.8 = 7283.1 \text{ m}^3$$

Το εύρος συντελεστή w_{OT} λαμβάνεται για επιβατηγό πλοίο, που ταιριάζει περισσότερο στο υπό μελέτη σκάφος, όντας το μόνο πλοίο κυβισμού από τις υπάρχουσες επιλογές. Η τελική επιλογή του συντελεστή καθορίζεται σύμφωνα με τις ειδικές ανάγκες του σκάφους. Για παράδειγμα, στην περίπτωση (ομάδα VIII2), η τελική επιλογή συντελεστή υπερβαίνει τα προτεινόμενα όρια, επειδή τα βάρη του ηλεκτρικού εξοπλισμού (καλώδια κ.λ.π.) είναι σημαντικά υψηλότερα από ένα συμβατικό επιβατηγό πλοίο λόγω της χρήσης των ηλεκτροπρόωσης. Οι κατηγορίες στις οποίες δεν λαμβάνονται τιμές, αφορούν εξοπλισμό άλλου τύπου πλοίου.

Επισημαίνεται, ότι κάθε είδους ξυλουργικές εργασίες (ομάδα I & III) αποτελούν την ενδιαίτηση του πλοίου και έχουν ήδη ληφθεί υπόψιν, ενώ ο ειδικός εξοπλισμός του πλοίου (γερανοί, A frame, δειγματοληπτικά μηχανήματα ωκεανογραφίας) θα προσδιοριστεί στην συνέχεια ξεχωριστά.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εν λόγω πίνακας με τον υπολογισμό του βάρους βοηθητικού εξοπλισμού ανά κατηγορία, σύμφωνα με τον αντίστοιχο συντελεστή.

Πίνακας 4. 3: Υπολογισμός βάρους βοηθητικού εξοπλισμού W_{OT} ανά κατηγορία

Περιγραφή	Ομάδα	Σχόλιο	Όρια συντ/στή w (kr/m3)	Επιλογή συντ/στή (kr/m3)	Συνολικό Βάρος (t)
Χονδρές Ξυλουργικές Εργασίες	I	Λαμβάνεται στο Wacc	(8-14)	-	
Μονωτικές Εργασίες	II1		-	-	
Χωμ. & Αντιδιαβρωτικές εργασίες	II2	Χρώματα κτλ.	(4-10)	8	58.27
Μικρές Ξυλουργικές Εργασίες	III	Λαμβάνεται στο Wacc	(8-12)	-	
Σωληνουργικές εργασίες σκάφους	IV		(5-6)	6	43.70
Μηχανουργικές εργασίες	V		10	10	72.83
Φορτοεκφορτωτικά εξαρτήματα (εκτός γερανών & βαρούλκων)	VI	Τροχαλίες, αλυσίδες κτλ υπολογίζεται ξεχωριστά	0.5	-	
Μέσα ρυμούλκησης και όρμισης	VII	Εκτός από τα βαρούλκα	1	1	7.28
Ψυκτικά Μηχανήματα	VIII1		-	-	
Λοιπά Βοηθ. Μηχανήματα (εκτός ερευνητικού εξοπλισμού και γερανών που υπολογίζεται ξεχωριστά)	VIII2	Ηλεκτρολογικά, (μεγάλο βάρος λόγω azimuth) κλιματισμός, πυρόσβεση, βαρούλκα	(12-20)	22	160.23
Λοιπός Εξοπλισμός	IX	Εξοπλισμός πρόσδεσης και ναυσιπλοΐας	(3-4)	4	29.13
Συνολικό WOT χωρίς Ενδιαίτηση, Ερευνητικό Εξοπλισμό και Γερανούς					371.44

Το κέντρο βάρους του εν λόγω εξοπλισμού μπορεί να ληφθεί από τον αντίστοιχο πίνακα από τη Συλλογή Βοηθημάτων της Μελέτης Πλοίου σελ.67-68. Επιλέγεται το εύρος του κέντρου βάρους επιβατηγού πλοίου, που ταιριάζει περισσότερο στο υπό μελέτη πλοίο. Για το καθ' ύψος κέντρο επιλέχθηκε χαμηλότερο όριο από το εν λόγω εύρος, καθώς η ενδιαίτηση και ο επιστημονικός εξοπλισμός, που ανεβάζουν το κέντρο βάρους, υπολογίζονται ξεχωριστά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το προσδιορισθέν βάρος και το κέντρο του Outfitting.

Πίνακας 4. 4: Προσδιορισμός κέντρου βάρους εξοπλισμού

	Weight (t)	LCG from AP (m)	VCG from BL (m)
CG PROPOSED RANGE		(0.52-0.54)LBP	(0.8-0.9)D
CG CHOICE		.53LBP	0.8D
W_{OT} .(no Acc & Cranes)	371.44	36.623	5.44

4.1.3. Βάρος Επιστημονικού εξοπλισμού & γερανών

Το ωκεανογραφικό, ως πλοίο ειδικού σκοπού (Special Purpose Ship – SPS vessel), διαθέτει ειδικό επιστημονικό εξοπλισμό, ο οποίος έχει αναλυθεί ενδελεχώς σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ενδεικτικά αναφέρονται, το σύστημα Drop keel εντός του Moonpool και το πρυμναίο A frame για ρυμούλκηση κ.τ.λ.

Ο υπολογισμός του βάρους τους θα περατωθεί με την εκτίμηση του βάρους κάθε ειδικού μηχανισμού ξεχωριστά. Η εκτίμηση αυτή, βασίζεται από δεδομένα αντλούμενα από αντίστοιχο υπάρχον SPS που έχει παρόμοιο εξοπλισμό και διαστάσεις με το υπό μελέτη πλοίο, καθώς επίσης και από το διαδίκτυο.

Το κέντρο των βαρών προσδιορίσθηκε σύμφωνα με την θέση του εκάστοτε μηχανισμού στην Γενική Διάταξη του πλοίου. Καθώς ο εξοπλισμός αυτός είναι τοποθετημένος στα πλευρά του πλοίου, επηρεάζεται η συμμετρία κατά το εγκάρσιο, με αποτέλεσμα το TCG του Lightship να είναι μη μηδενικό.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εν λόγω πίνακας με την εκτίμηση του βάρους του ειδικού εξοπλισμού του ωκεανογραφικού.

Πίνακας 4. 5: Εκτίμηση βάρους ειδικού εξοπλισμού ωκεανογραφικού.

Total Scientific Equipment & Cranes Weight									
Description	W	LCG from AP	Frame aft	Frame fore	TCG from CL	VCG from BL	Mx from AP	My from CL	Mz from BL
Item	(t)	(m)			(m)	(m)	(tm)	(tm)	(tm)
Side A frame CTD System	40	33.4	27	42	-6.4	6.7	1336	-256	268
Aft A frame	80	-1.5	-5	0	0	12.8	-160	0	1024
Aft A frame Base	30	-0.9	-5	2	0	9.5	-60	0	285
2 Umbrical Winches for A frame	50	15.6	24	28	0	10.7	780	0	535
2 Aft Cranes	25	0.9	0	3	0	10.3	22.5	0	257.5
MOONPOOL TOP WINCH	20	33	52	58	0	6.8	660	0	136
MOONPOOL DROP KEEL	50	33	52	58	0	3.5	1650	0	175
Lifeboat incl. Davits	15	29.1	43	54	-6.1	9.9	436.5	-91.5	148.5
Total Scientific Equipment & Cranes Weight	310	15.048			-1.12	9.126	4665	-347.5	2829

4.2. Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης (W_M)

Σε αυτή την κατηγορία βαρών εντάσσονται όλα τα μηχανολογικά στοιχεία που αποτελούν την προωστική εγκατάσταση του πλοίου, η οποία λειτουργεί με ηλεκτροπρόωση με την χρήση azimuths. Κατά κύριο λόγο, το βάρος αυτό βρίσκεται στο κεντρικό και βοηθητικό μηχανοστάσιο, όπου βρίσκονται οι κύριες μηχανές του πλοίου, καθώς και στο Propulsion Room όπου βρίσκονται τα azimuths.

Ο προσδιορισμός του βάρους βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο της διπλωματικής και προηγείται της μελέτης της αντίστασης του πλοίου, όπου καθορίζεται η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά της προωστήριας εγκατάστασης (κύριες μηχανές, azimuths). Συνεπώς, για τα βάρη αυτά μόνο εκτίμηση μπορεί να γίνει, η οποία θα βασιστεί σε δεδομένα από πλοίο παρόμοιων διαστάσεων και ταχύτητας καθώς και από το ίντερνετ, όπως στην περίπτωση του ειδικού ωκεανογραφικού εξοπλισμού.

Δεδομένων των παραπάνω, θεωρούνται 3 οκτακύλινδρες μηχανές WARTSILA 3x8L20DF συνολικής ισχύος 4400 kW, ενώ το τυπικό βάρος του azimuth μαζί με τον κινητήρα ανέρχεται στους 35 τόνους. Επιπροσθέτως, θεωρείται στον χώρο του κύριου και του βοηθητικού μηχανοστασίου, εκτός από το βάρος των μηχανών, επιπλέον βάρος της τάξεως των 170 τόνων, που αφορά δευτερεύοντα και βοηθητικά μηχανήματα, καθώς επίσης και τους μετασχηματιστές που απαιτούνται στην ηλεκτροπρόωση. Επίσης, λαμβάνονται υπόψιν βάρη που αφορούν τα 2 bow thrusters, την γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και την δομή του φουγάρου, που δεν υπολογίστηκε στην μεταλλική κατασκευή.

Παρακάτω, παρατίθεται ο πίνακας με την εκτίμηση του βάρους των στοιχείων της μηχανολογικής εγκατάστασης. Το κέντρο του εκάστοτε στοιχείου προέκυψε από το σχέδιο της Γενικής Διάταξης.

Πίνακας 4. 6: Αναλυτική εκτίμηση βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

Total Machinery Weight (W_M)									
Item Description	W	LCG from AP	Frame aft	Frame fore	TCG from CL	VCG from BL	Mx from AP	My from CL	Mz from BL
	(t)	(m)			(m)	(m)	(tm)	(tm)	(tm)
3 M/E WARTSILA 3x8L20DF	62.4	22.5	32	43	0	2.5	1404	0	156
Engine Room except M/E	100.0	22.8	28	48	0	2.5	2280	0	250
Aux. Engine Room	70.0	12	12	28	0	4.5	840	0	315
Azimuths	50.0	1.8	0	6	0	2.3	90	0	115
Azimuth motors	18.0	4.8	6	10	0	4.3	86.4	0	77.4
2 Bow thruster tunnels	10.0	61.2	98.7	105.3	0	2	612	0	20
2 Bow thruster motors	9.0	61.2	98.7	105.3	0	4.1	550.8	0	36.9
Funnel Structure	25.0	22.5	34	42	6.5	13.6	562.5	162.5	340
Emergency Generator	10.0	29.1	46	51	5.8	9.9	291	58	99
Total Machinery Weight (W_M)	354.4	18.952			0.622	3.977	6716.7	220.5	1409.3

4.3. Τελική Κατανομή Βάρους Κενού Σκάφους (W_{LS})

Με όλα τα βάρη που αποτελούν το Lightship προσδιορισμένα, μπορεί να πραγματοποιηθεί ο τελικός υπολογισμός του βάρους του κενού σκάφους, καθώς και του κέντρου του, μέσω του θεωρήματος των ροπών, ο οποίος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. 7: Τελικός προσδιορισμός βάρους και κέντρου του κενού σκάφους (Lightship)

Final Lightship Calculation						
	Weight	LCG from AP	TCG from CL	VCG from BL	Relative Weight	$w=W/(LBD)$
	(t)	(m)	(m)	(m)	%	(kp/m ³)
Total Steel Weight (W_{steel})	847.11	34.843	0.000	5.038	40.03%	116.31
Accommodation Weight (W_{acc})	233.12	43.163	0.000	7.428	11.02%	32.01
Outfitting W.(no Acc & Cranes)	371.44	36.623	0.000	5.440	17.55%	51.00
Machinery Weight (W_M)	354.40	18.952	0.622	3.977	16.75%	48.66
Cranes & Scientific Equipment	310.00	15.284	-1.121	9.126	14.65%	42.56
Final Lightship	2116.07	30.545	-0.060	5.793		290.54

Το αποτέλεσμα είναι απολύτως λογικό και ταιριάζει στο προσδοκώμενο. Το γεγονός αυτό, στηρίζεται στο ότι τα ποσοστά των επιμέρους κατηγοριών είναι σε φυσιολογικά πλαίσια. Επίσης, οι συντελεστές βάρους w των ομάδων, σύμφωνα με τον πίνακα του βοηθήματος της μελέτης σελ.57, βρίσκονται εντός της μέσης τιμής του εύρους των συντελεστών που αντιστοιχούν σε επιβατηγά (άνω όριο) και σε ρυμουλκά (κάτω όριο), δηλαδή τους τύπους πλοίων που το ωκεανογραφικό (SPS) έχει τις περισσότερες ομοιότητες.

Συνάμα, η εγγύτητα των αποτελεσμάτων με το ωκεανογραφικό Neil Armstrong (IMO: 9688946), είναι αρκετά εντυπωσιακή (25 t απόκλιση) και φαίνεται παρακάτω. Αυτό είναι το σκάφος στο οποίο βασίζεται το υπό μελέτη πλοίο και έχει σχεδόν τις ίδιες διαστάσεις.

Πίνακας 4. 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων με ωκεανογραφικό όμοιων διαστάσεων

	LBP	B	D	M/E Power	Lightship
	m	m	m	KW	t
Neil Armstrong	67.44	15.24	6.706	4176	2091
Proposed Vessel	69.10	15.50	6.80	4400	2116.1

Τα στοιχεία που απαρτίζουν την μηχανολογική εγκατάσταση και τον επιστημονικό εξοπλισμό λαμβάνονται ως μεμονωμένες σημειακές μάζες, ενώ το υπόλοιπο Outfitting κατανέμεται ομοιόμορφα στο μήκος δράσης του. Τα στοιχεία αυτά, προστίθενται στην ήδη γνωστή κατανομή της μεταλλικής κατασκευής, ώστε να διαμορφωθεί η τελική μορφή της κατανομής του Lightship για την διαμήκη αντοχή. Παρακάτω, παρατίθενται τα στοιχεία του Lightship και το διάστημα δράσης τους, όπως αυτά εισήχθησαν στο πρόγραμμα Nara, καθώς και η τελική κατανομή του Lightship που προέκυψε, μαζί με τις κατανομές των επιμέρους στοιχείων που την αποτελούν και μελετήθηκαν ενδελεχώς στα κεφάλαια 3 & 4.

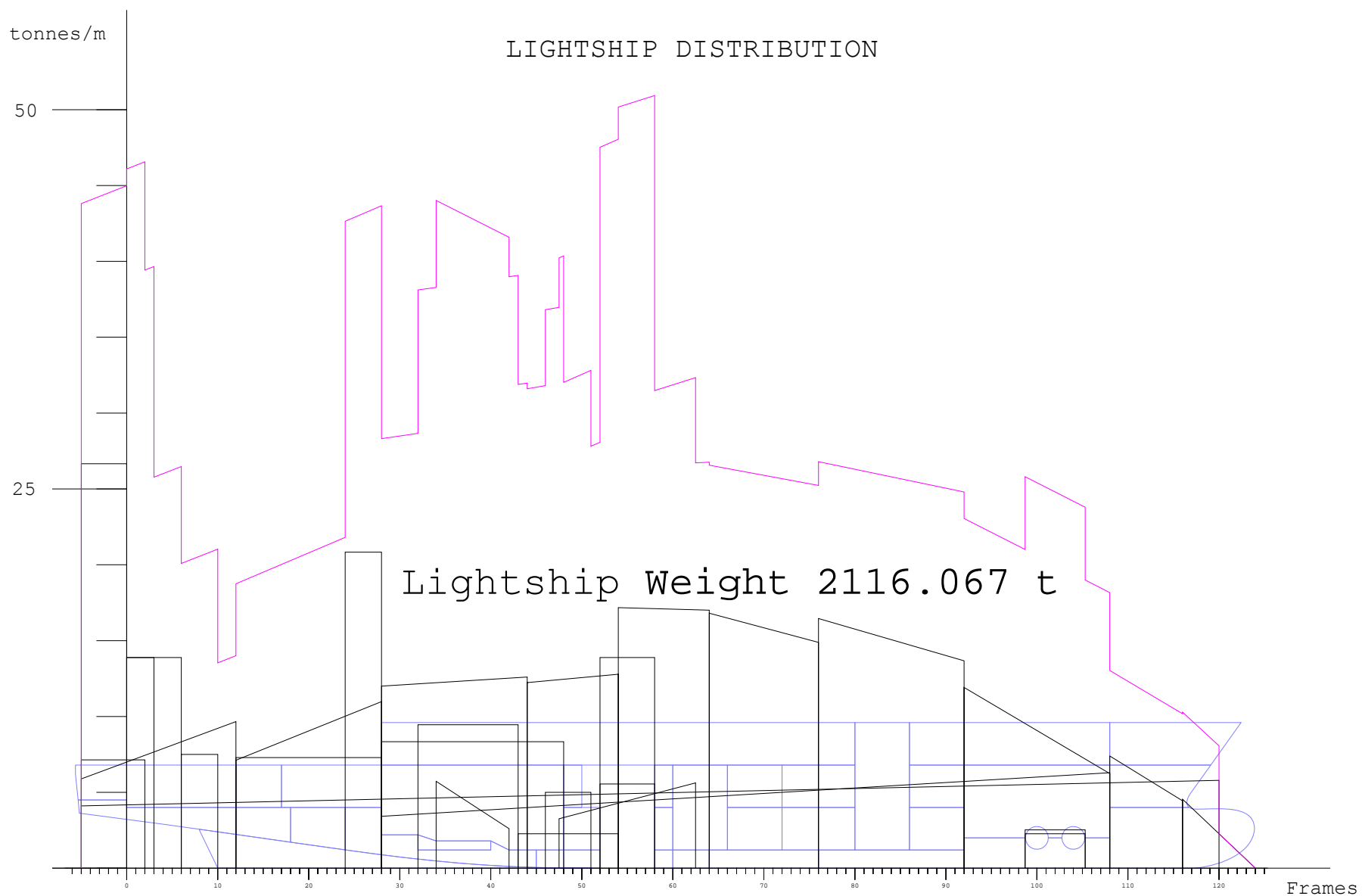
Πίνακας 4. 9: Ανάλυση βαρών Lightship όπως εισήχθησαν στο NAPA

```

** Lightweight version   A
** Date 2021-04-28      8:33 PM
** Origin calculated from lightweight elements
DIST,ELEM;
WEI, 2116.067; ** (t)
CG, 30.593, -0.062,

```

	NAME	WEIGHT	X	Y	Z	XA	XF	TEXT
ELE	AUXER	70.0	12.00	0.00	4.50	7.20	16.80,	'AUX.ENGINE RM'
ELE	AZI1	50.0	1.80	0.00	2.30	0.00	3.60	'Azimuths'
ELE	AZI2	18.0	4.80	0.00	4.30	3.60	6.00,	'Azimuth motors'
ELE	BTHR1	10.0	61.20	0.00	2.00	59.22	63.18,	'2 Bow thruster tunnels'
ELE	BTHR2	9.0	61.20	0.00	4.10	59.22	63.18,	'2 Bow thruster motors'
ELE	CRANES	25.0	0.90	0.00	10.30	0.00	1.80,	'2 Aft Cranes'
ELE	EMGEN	10.0	29.10	5.80	9.90	27.60	30.60,	'Emergency Genarator'
ELE	ENGN	62.4	22.50	0.00	2.50	19.20	25.80,	'3 M/E WARTSILA 3x8L20DF'
ELE	ENGNRM	100.0	22.80	0.00	2.50	16.80	28.80,	'Engine Room no M/E'
ELE	FUNNEL	25.0	22.50	6.50	13.60	20.40	25.20,	'FUNNEL STRUCTURE'
ELE	LBOAT	15.0	29.10	-6.10	9.90	25.80	32.40,	'Lifeboat incl. Davits'
ELE	MPOOL1	20.0	33.00	0.00	6.80	31.20	34.80,	'MOONPOOL TOP WINCH'
ELE	MPOOL2	50.0	33.00	0.00	3.50	31.20	34.80,	'MOONPOOL ROV SYSTEM'
ELE	PIFR1	80.0	-1.50	0.00	11.0	-3.00	0.00,	'Aft Pi frame'
ELE	PIFR2	30.0	-0.90	0.00	9.50	-3.00	1.20,	'Aft PIframe Base'
ELE	PIFR3	50.0	15.60	0.00	10.70	14.40	16.80,	'2 Umbrical Winches for P'
ELE	SROV	40.0	33.40	-6.40	6.70	28.50	37.50,	'Side PI frame ROV System'
ELE	ST1	79.3	2.51	0.00	5.17	-3.00	7.20,	'STEEL SEG. FR:-5 - 12'
ELE	ST10	10.9	71.20	0.00	5.17	69.60	74.34,	'STEEL SEG. FR:116 - 124'
ELE	ST2	86.9	12.34	0.00	5.17	7.20	16.80,	'STEEL SEG. FR:12 - 28'
ELE	ST3	118.1	21.64	0.00	5.17	16.80	26.40,	'STEEL SEG. FR:28 - 44'
ELE	ST4	75.0	29.42	0.00	5.17	26.40	32.40,	'STEEL SEG. FR:44 - 54'
ELE	ST5	102.6	35.40	0.00	5.17	32.40	38.40,	'STEEL SEG. FR:54 - 64'
ELE	ST6	114.1	41.93	0.00	5.17	38.40	45.60,	'STEEL SEG. FR:64 - 76'
ELE	ST7	144.6	50.25	0.00	5.17	45.60	55.20,	'STEEL SEG. FR:76 - 92'
ELE	ST8	87.2	59.50	0.00	5.17	55.20	64.80,	'STEEL SEG. FR:92 - 108'
ELE	ST9	28.4	67.00	0.00	5.17	64.80	69.60,	'STEEL SEG. FR:108 - 116'
ELE	WACC	233.1	43.16	0.00	7.43	16.80	64.80,	'ACCOMODATION'
ELE	WOT	371.4	36.62	0.00	5.44	-3.00	72.00,	'OUTFITING (NO ACC & SCI.)'
	TOTAL	2116.1	30.56	-0.06	5.77			



Σχήμα 4. 1: Τελική κατανομή Lightship

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ DEADWEIGHT & ΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δύο σκέλη, όπως προΐδεάζει ο τίτλος του. Στο πρώτο προσδιορίζονται οι επιμέρους ομάδες βαρών που διαμορφώνουν το πρόσθετο βάρος (deadweight) του πλοίου.

Στο δεύτερο σκέλος του κεφαλαίου, πραγματοποιείται η διεξαγωγή πρόσθετων υπολογισμών, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Η Καταμέτρηση της χωρητικότητας του πλοίου (Gross & Net Tonnage)
- Ο Καταρτισμός του πληρώματος
- Ο Δείκτης Εξαρτισμού (Equipment Number - EN)
- Η Γραμμή Φόρτωσης (Load Line)

5.1 Ανάλυση Deadweight

Το Deadweight (πρόσθετο βάρος) του υπό μελέτη πλοίου, μπορεί να αποδομηθεί σε επιμέρους ομάδες βαρών, οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, μαζί με τα αντίστοιχα ειδικά βάρη (Specific Gravity) στην περίπτωση των δεξαμενών.

Πίνακας 5. 1: Ομάδες βαρών Deadweight

LOAD	PURPOSE	Specific Gravity (t/m ³)
DO	Diesel Oil	0.860
FW	Fresh Water	1.000
HFO	Heavy Fuel Oil	0.940
LO	Lubricating Oil	0.900
MIS	Miscellaneous Tanks	1.000
WB	Water Ballast	1.025
CAS	Solid Cargo	-
MISS	Miscellaneous Items	-
PASS	Special Personnel	-
SB	Solid Ballast	-

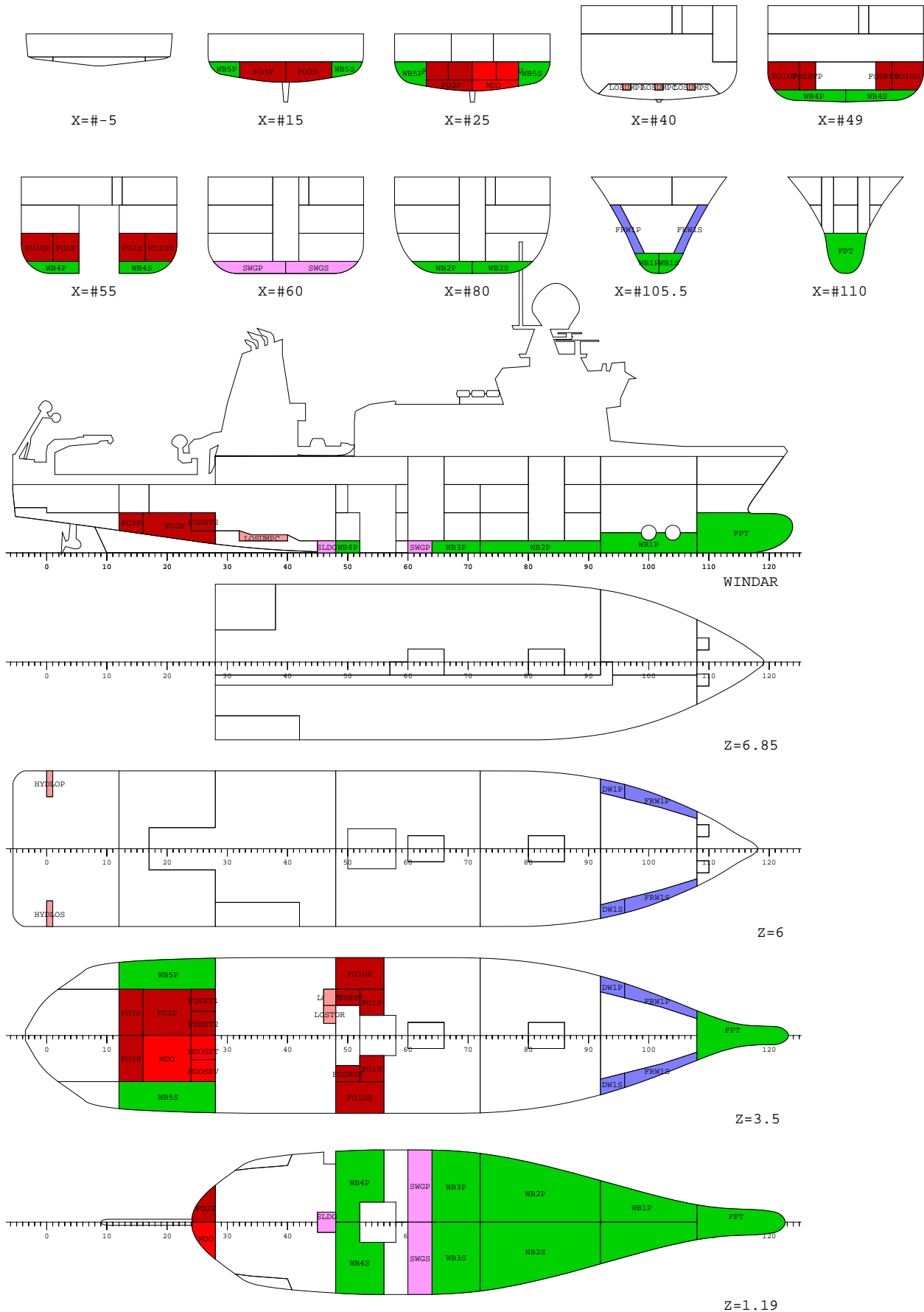
5.1.1 Βάρη δεξαμενών

Οι δεξαμενές αναλώσιμων (bunkers) είναι οι ομάδες βαρών DO FW HFO & LO και αποτελούν τις δεξαμενές που καταναλώνονται κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Στις λοιπές δεξαμενές (MIS) συλλέγονται τα απόβλητα που δημιουργούνται κατά την διάρκεια του πλου. Το θαλάσσιο έρμα (WB) διασφαλίζει την απαιτούμενη ευστάθεια και διαγωγή.

Όλες οι παραπάνω ομάδες αποτελούν τις δεξαμενές του πλοίου, τα βάρη των οποίων (W_{FW} , W_{DO} , W_{HFO} , W_{LO} , W_{MIS} & W_{WB}) υπολογίζονται από το πρόγραμμα Nara, έπειτα από την μοντελοποίηση των δεξαμενών αυτών στο πρόγραμμα.

Η διαμερισματοποίηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το προκαταρκτικό σχέδιο της γενικής διάταξης, που αναλύθηκε ενδελεχώς στο κεφάλαιο 2. Η διαδικασία εισαγωγής της γεωμετρίας των δεξαμενών στο Nara περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η διάταξη των διαμερισμάτων και των δεξαμενών του πλοίου (Tank Plan), όπως προέκυψε από το NAPA παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5. 1: Διάταξη των διαμερισμάτων (Tank Plan)

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία (όγκος κέντρο και ελεύθερη επιφάνεια) όλων των δεξαμενών του πλοίου, όπως προέκυψε από την μοντελοποίηση στο Nara.

Σημειώνεται, ότι στον τελικό όγκο των δεξαμενών (Vnet) έχει γίνει μείωση της τάξεως του 2 % σε σχέση με τον αρχικό όγκο (VOLM), λόγω του όγκου που καταλαμβάνει η εσωτερική ενίσχυση της μεταλλικής κατασκευής της δεξαμενής (steel reduction).

Πίνακας 5. 2 : Γεωμετρικά στοιχεία δεξαμενών (Όγκος, Κέντρο & Ελεύθερη επιφάνεια)

NAME	DES	VOLM m3	VNET m3	CGX m	CGY m	CGZ m	IYMAX m4
CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.860)							
MDOSET	MDO STL. TK	10.4	10.2	15.60	-1.20	3.10	2.8
MDOSRV	MDO SRV. TK	9.5	9.3	15.60	-3.50	3.10	2.1
MDO	MDO TK S	61.8	60.6	12.75	-2.20	2.63	56.6
SUBTOTAL		81.7	80.1	13.45	-2.23	2.75	
CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1.000)							
FRW1P	FRESH W. TK P	36.5	35.7	60.84	3.98	4.54	4.8
FRW1S	FRESH W. TK 1 S	36.5	35.7	60.84	-3.98	4.54	4.8
DW1S	DRINK.W.TK 1 S	16.6	16.2	56.39	-5.21	4.38	0.8
DW1P	DRINK W. TK P	16.6	16.2	56.39	5.21	4.38	0.8
SUBTOTAL		106.1	104.0	59.45	0.00	4.49	
CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.940)							
FO1P	NO1 HFO TK P	17.5	17.1	32.40	3.30	2.60	3.5
FO1S	NO1 HFO TK S	17.5	17.1	32.40	-3.30	2.60	3.5
FOSRVP	HFO SERVICE TK P	10.8	10.5	30.00	3.80	2.60	0.8
FOSRVS	HFO SERVICE TK S	10.8	10.5	30.00	-3.80	2.60	0.8
FOSET1	NO1 HFO STL. TK	9.5	9.3	15.60	3.50	3.10	2.1
FOSET2	NO2 HFO STL. TK	10.4	10.2	15.60	1.20	3.10	2.8
FO3S	NO3 HFO TK S	19.7	19.3	8.44	-2.20	3.10	19.5
FO3P	NO3 HFO TK P	19.7	19.3	8.44	2.20	3.10	19.5
FO2P	NO2 HFO TK P	61.8	60.6	12.75	2.20	2.63	56.6
FO1OP	NO1 OUT. HFO TK P	40.8	40.0	31.20	6.12	2.64	12.5
FO1OS	NO1 OUT. HFO TK S	40.8	40.0	31.20	-6.12	2.64	12.5
SUBTOTAL		259.1	253.9	22.21	0.70	2.73	
CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.900)							
LOSET	LO SETTLING TK	5.4	5.3	28.20	3.80	2.60	0.4
LOSTOR	LO STOR. TK	6.0	5.9	28.20	2.10	2.60	0.6
HYDLOP	HUDR. LO TK P	4.1	4.0	0.30	6.42	5.46	0.8
HYDLOS	HUDR. LO TK S	4.1	4.0	0.30	-6.42	5.46	0.8
LOSUMPC	LO SUMP TK. C	2.5	2.4	21.45	0.00	1.53	0.2
LOSUMPP	LO SUMP TK. P	2.5	2.4	21.45	3.20	1.53	0.2
LOSUMPS	LO SUMP TK. S	2.5	2.4	21.45	-3.20	1.53	0.2
SUBTOTAL		27.0	26.5	17.95	1.23	3.16	

NAME	DES	VOLM m3	VNET m3	CGX m	CGY m	CGZ m	IYMAX m4
CAPACITY OF Miscellaneous (RHO=1.000)							
SWG P	SEAWAGE TK P	18.7	18.3	37.20	3.27	0.63	74.8
SWG S	SEAWAGE TK S	18.7	18.3	37.20	-3.27	0.63	74.8
SLDG	SLUDGE TK.	4.1	4.0	27.91	0.00	0.63	1.2
SUBTOTAL		41.5	40.7	36.29	0.00	0.63	
CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)							
FPT	FORE PEAK TK	88.0	86.2	68.62	0.00	2.17	23.0
WB2S	NO2 DB WB TK S	69.0	67.6	48.58	-2.52	0.65	202.7
WB3P	NO3 DB WB TK P	36.5	35.8	40.78	3.20	0.63	141.8
WB3S	NO3 DB WB TK S	36.5	35.8	40.78	-3.20	0.63	141.8
WB4P	NO4 WB TK P	30.0	29.4	31.04	3.65	0.66	108.4
WB4S	NO4 WB TK S	30.0	29.4	31.04	-3.65	0.66	108.4
WB2P	NO2 DB WB TK P	69.0	67.6	48.58	2.52	0.65	202.7
WB1P	NO1 DB WB TK P	44.1	43.3	59.10	1.45	1.08	35.9
WB1S	NO1 DB WB TK S	44.1	43.3	59.10	-1.45	1.08	35.9
WB5P	NO5 WB TK P	46.1	45.1	12.64	5.93	3.13	23.7
WB5S	NO5 WB TK S	46.1	45.1	12.64	-5.93	3.13	23.7
SUBTOTAL		539.4	528.6	44.42	0.00	1.39	
TOTAL		7641.3	7551.8	35.14	0.00	5.12	

5.1.2. Βάρος έρματος (Στερεό & Υγρό)

Το Lightship του πλοίου δεν είναι συμμετρικό, με αποτέλεσμα την ύπαρξη εγκάρσιας κλίσης του πλοίου. Επίσης, λόγω της ανασήκωσης του πυθμένα στο πρυμναίο κομμάτι του πλοίου, υπάρχει έλλειψη άντωσης πρύμνηθεν, που οδηγεί σε μεγάλες έμπρυμνες διαγωγές. Το φαινόμενο αυτό, ενισχύεται από ενδεχόμενη τοποθέτηση φορτίου στον εκτεθειμένο χώρο του κύριου καταστρώματος, πρύμνηθεν του νομέα 28.

Για τον περιορισμό της κλίσεως και της διαγωγής αλλά και την μείωση του κέντρου βάρους των καταστάσεων, τοποθετείται στέρεο έρμα (solid ballast) σε μορφή χαλύβδινων πλακών (χελώνες), στο tank top πάνω από το διπύθμενο. Συνολικά 52 τόνοι χελωνών, για την εξισορρόπηση του πλοίου, τοποθετούνται στο port side πλώραθεν του πλοίου με τις ακριβείς θέσεις, άλλα και τον χώρο στον οποίο βρίσκονται, να είναι οι εξής:

Πίνακας 5. 3: Βάρος και θέση στερεού έρματος (Solid Ballast)

Item Type	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
SB ON TT FR:86- 92 (LINEN STORE)	22.0	53.40	4.00	1.35
SB ON VOIDF FR:111-115	30.0	68.00	0.00	4.10
TOTAL	52.0	61.823	1.692	2.937

Για την μείωση της διαγωγής, χρησιμοποιούνται οι πρωραίες δεξαμενές θαλάσσιου έρματος (Water Ballast), το συνολικό βάρος των οποίων εξαρτάται από το βάρος του φορτίου που βρίσκεται κατανεμημένο στο κατάστρωμα στην εκάστοτε κατάσταση φόρτωσης.

5.1.3. Φορτίο, Επιβάτες & Υπόλοιπα βάρη

Το φορτίο (Cargo) στην κατάσταση φόρτωσης Homo_Dep του Trim & Stability, εκτιμήθηκε ως 312 τόνοι, από τους οποίους οι 250 είναι κατανεμημένοι στο εκτεθειμένο κύριο κατάστρωμα, πρύμνηθεν του νομέα 28 (Cargo on deck). Υπενθυμίζεται, ότι το Main Dk στην περιοχή αυτή, έχει σχεδιαστεί στο Mars ώστε να παραλαμβάνει ομογενές φορτίο 5 t/m².

Το φορτίο αυτό περιλαμβάνει ειδικό/ωκεανογραφικό εξοπλισμό και η εκτίμησή του βάρους τους υπερεκτιμήθηκε σε σχέση με το αναμενόμενο, για να καλύψει την ακραία περίπτωση βαρέως φορτίου. Τέτοιο παράδειγμα φορτίου αποτελεί βαρούλκο καλωδίου πολλών χιλιομέτρων, προς πόντιση μέσω του Π frame.

Το υπόλοιπο βάρος αφορά 4 κοντέινερ 8 τόνων έκαστος (32 τόνοι) τοποθετημένα στο A Deck. Επίσης, θεωρήθηκε ως φορτίο 30 τόνων ενδεχόμενος εργαστηριακός/ωκεανογραφικός εξοπλισμός, ευρισκόμενος κυρίως στο Transducers Room.

Στην ομάδα των υπολοίπων φορτίων (MISS) εντάσσονται οι προμήθειες (provisions), τα βάρη των αποθηκών (Bosun & Engine Room Stores) και το βάρος του πληρώματος.

Το βάρος του επιστημονικού προσωπικού (PASS) λαμβάνεται ξεχωριστά από το πλήρωμα (25 άτομα έκαστος), καθώς θεωρούνται επιβάτες και προϋποθέτουν ειδική μεταχείριση. Το βάρος ανά άτομο και στις δύο περιπτώσεις, μαζί με τις αποσκευές του, λαμβάνεται ως 120 κιλά.

Το μέγιστο Deadweight συναντάται στην κατάσταση Homo_Dep του Trim & Stability, όπου το πλοίο έχει το μέγιστο βύθισμα (T = 4.4 m). Σύμφωνα με την κατάσταση αυτή, το μέγιστο Deadweight αποδομείται, ως προς τις ομάδες βαρών που αναλύθηκαν άνωθεν, ως εξής:

Πίνακας 5. 4: Ομάδες βαρών Deadweight στην κατάσταση Homo_Dep

LOAD	PURPOSE	MASS t	XM m	YM m	ZM m
CAS	Solid Cargo	312.00	15.909	0.000	7.163
DO	Diesel Oil	68.80	13.446	-2.225	2.745
FW	Fresh Water	104.00	59.452	0.000	4.490
HFO	Heavy Fuel Oil	238.70	22.212	0.702	2.734
LO	Lubricating	23.80	17.947	1.225	3.164
MIS	Miscellaneous Tanks	4.10	36.291	0.000	0.077
MISS	Miscellaneous Items	23.50	52.128	0.000	6.611
PASS	Special Personnel	3.00	36.000	0.000	9.000
SB	Solid Ballast	52.00	61.823	1.692	2.937
WB	Water Ballast	315.60	57.149	0.000	1.196
TOTAL	DEADWEIGHT	1145.50	35.384	0.115	3.781

Περισσότερες πληροφορίες για τα επιμέρους βάρη των ομάδων του Deadweight για όλες τις καταστάσεις φόρτωσης παρουσιάζονται στο Trim & Stability Booklet, που παραδίδεται στα πλαίσια της διπλωματικής και βρίσκεται στο [Παράρτημα Ζ](#).

5.2. Πρόσθετοι Υπολογισμοί

5.2.1. Καταμέτρηση

Σε αυτό το σημείο θα πραγματοποιηθεί η καταμέτρηση, η οποία αποτελεί σημαντικό στοιχείο εξατομίκευσης ενός πλοίου, που περιλαμβάνεται απαραίτητως, στη νηολόγηση και σε όλα τα πιστοποιητικά του. Η χωρητικότητα διακρίνεται σε ολική (Gross Tonnage) και σε καθαρά (Net Tonnage) και παρουσιάζεται πάντοτε ως ακέραιος αριθμός.

Ο υπολογισμός στην παρούσα διπλωματική θα γίνει βάσει των διεθνών κανονισμών. Οι κανονισμοί αυτοί, περιέχονται στο κείμενο της Διεθνούς Συνδιάσκεψης για την Καταμέτρηση των Πλοίων (ICTM 1969).

Η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) είναι ένας δείκτης του συνολικού όγκου των κλειστών χώρων του πλοίου και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του αριθμού και της σύνθεσης του πληρώματος. Η καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage) αναφέρεται στους χώρους φορτίου και επιβατών και αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μέγεθος της οικονομικής αξίας του πλοίου. Και τα δύο μεγέθη αυτά, αποτελούν κριτήριο για τον προσδιορισμό διαφόρων τελών (σε λιμάνια, διώρυγες κ.τ.λ), φόρων, εξόδων δεξαμενισμού (dry docking), ασφαλίσεων κ.α.

Για την καθαρή χωρητικότητα, στην περίπτωση των πλοίων ειδικού σκοπού (SPS vessel), όπως είναι και το υπό μελέτη πλοίο, όπου δεν υπάρχει κλειστός χώρος φορτίου και επιβατών, ο προσδιορισμός της γίνεται ως συνάρτηση της ολικής χωρητικότητας.

Στα πλοία υπό ελληνική σημαία, η καταμέτρηση προσδιορίζεται βάσει των Κόρων Ολικής Χωρητικότητας (Κ.Ο.Χ.). Ο κόρος (Register Ton – R.T.) είναι μονάδα μέτρησης όγκου στον οποίο αντιστοιχούν $2,83 \text{ m}^3$. Σύμφωνα με αυτήν την χωρητικότητα, οι κλειστοί χώροι που δεν παρέχουν οικονομικό όφελος εξαιρούνται από την μέτρηση. Σε αυτούς τους χώρους εντάσσονται οι δεξαμενές θαλάσσιου έρματος (water ballast), καθώς και οι χώροι κάτω από το διπύθμενο. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση κατά 40%, περίπου, της χωρητικότητας από την αντίστοιχη των διεθνών κανονισμών.

5.2.1.1. Ολική Χωρητικότητα

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς, η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage) υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$GT = k1 * V_{TOTAL}$$

όπου :

$$k1 = 0,2 + 0,02 * \log V_{TOTAL}$$

V_{TOTAL} είναι ο όγκος όλων των κλειστών χώρων του πλοίου. Είναι δηλαδή, ο κλειστός όγκος της γάστρας $V_{STABHULL}$ συν το όγκο των κλειστών υπερκατασκευών .

$$V_{TOTAL} = V_{STABHULL} + V_s$$

Ως κλειστός όγκος γάστρας ($V_{STABHULL}$), νοείται το κομμάτι του πλοίου το οποίο προσφέρει άντωση και ως εκ τούτου συνεισφέρει στην διαμόρφωση των Cross Curves (Stabhull). Στεγανό όριο του όγκου άντωσης του πλοίου αποτελεί το Upper Deck, ενώ αφαιρούνται ως μη στεγανοί όγκοι, τα sea chests και το moonpool.

Από το πρόγραμμα του Nara, στο οποίο έχει μοντελοποιηθεί η γάστρα, προκύπτει ο άνωθεν όγκος και ισούται με $V_{Stabhull} = 7641,3 \text{ m}^3$.

Οι κλειστές υπερκατασκευές, όπως και ο συνολικός όγκος των κλειστών χώρων του πλοίου υπολογίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5. 5: Συνολικός όγκος κλειστών χώρων πλοίου

Superstructures			
	Area	Height	Volume
Superstructure Tier	(m ²)	(m)	(m ³)
A Deck	355.0	2.6	923.0
B Deck	231.2	2.6	601.1
Nav. Bridge Deck	171.0	2.7	461.7
Total Superstructure Volume: V_s			1985.8
Buoyant Hull Volume: $V_{STABHULL}$			7641.3
Total Closed Volume: V_{TOTAL}			9627.1

Επομένως, προκύπτει τελικά η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage):

$$GT = 2692$$

5.2.1.1. Καθαρή Χωρητικότητα

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς (ICTM 1969), η καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage) υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$NT = K_2 \cdot V_c \left(\frac{4d}{3D} \right)^2 + K_3 \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$$

όπου :

- V_c : Τ συνολικός όγκος των χώρων φορτίου
- d : Το μέγιστο έμφορτο βύθισμα. ($d=4.4$ m)
- D : Το πλευρικό ύψος του πλοίου μέχρι το κατάστρωμα στεγανών φρακτών (Strength Dk: $D=6.8$ m)
- N_1 : Αριθμός επιβατών σε καμπίνες. Ως επιβάτες στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, θεωρούνται το επιστημονικό προσωπικό (25 μέλη), το οποίο διαμένει σε καμπίνες. Οπότε, $N_1=25$
- N_2 : Αριθμός των υπόλοιπων επιβατών. ($N_2=0$)
- $K_2=0,2+0,02 \cdot \log V_c$
- $K_3=1,25+(GT+10000)/10000 = 1,5865$

Παράλληλα ισχύουν οι εξής περιορισμοί:

1. Ο παράγοντας $\left\{ \frac{4d}{3D} \right\}^2$ πρέπει να είναι μικρότερος της μονάδας. $\left\{ \frac{4d}{3D} \right\}^2 = 0,74$ οπότε πληρούται ο περιορισμός.
2. Ο όρος της εξίσωσης $K_2 V_c \left\{ \frac{4d}{3D} \right\}^2$ να μην είναι μικρότερος από το 25% του GT. Επομένως, $K_2 V_c \left\{ \frac{4d}{3D} \right\}^2 \geq 673$
3. Η καθαρή χωρητικότητα να είναι τουλάχιστον το 30% της ολικής.
Δηλαδή $NT \geq 0,3 GT = 808$

Καθώς το ωκεανογραφικό, ως πλοίο ειδικού σκοπού, δεν έχει κλειστό χώρο φορτίου, αυτομάτως, ο πρώτος όρος του τύπου, λαμβάνεται ως $0,25 GT = 673$ σύμφωνα με τον δεύτερο περιορισμό.

Επομένως, υπολογίζεται από τον τύπο: $NT = 722,6 < 0.3 GT = 808$.

Οπότε, σύμφωνα με τον τρίτο περιορισμό, η Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage) προσδιορίζεται ως:

$$NT = 808$$

5.2.2. Σύνθεση Πληρώματος

Ο καθορισμός της σύνθεσης του πληρώματος θα βασιστεί στην ελληνική νομοθεσία που αφορά, την ελάχιστη απαιτούμενη σύνθεση για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου (Π.Δ.177/ 1974).

Εκτός από το πλήρωμα, στο πλοίο προβλέπονται 25 θέσεις επιστημονικού προσωπικού (special personnel), που εργάζονται στους επιμέρους εργαστηριακούς χώρους του πλοίου. Στη μελέτη της άθικτης ευστάθειας που θα ακολουθήσει, λαμβάνονται υπόψη ως επιβάτες.

Η επιλογή του πληρώματος γίνεται βάσει της χωρητικότητας, των συνολικών επιβατών (25), των επιβατών σε κλίνες (25), καθώς και της συνολικής εγκατεστημένης ιπποδύναμης των κυρίων μηχανών (4400 kW).

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται αναλυτικά η τελική σύνθεση πληρώματος, 25 στον αριθμό, διατεταγμένη σε πλήρωμα καταστρώματος, πλήρωμα μηχανής και σε λοιπές ειδικεύσεις επί του πλοίου :

Πίνακας 5. 6: Σύνθεση Πληρώματος

Σύνθεση Πληρώματος (25 άτομα)					
Πλήρωμα Καταστρώματος		Πλήρωμα Μηχανής		Λοιπές Ειδικεύσεις	
Ειδικότητα	No.	Ειδικότητα	No.	Ειδικότητα	No.
Πλοίαρχος Α΄	1	Μηχανικός Α΄	1	Ραδιοτηλεγραφετής	1
Υπαρχος	1	Μηχανικοί Β΄	1	Θαλαμηπόλοι	2
Πλοίαρχος Β΄	1	Μηχανικοί Γ΄	2	Μάγειρας Α΄	1
Δόκιμος Πλοίαρχος	1	Μηχανοδηγοί - Χειριστές Γερανών	2	Μάγειρας Β΄ - Χυτροκαθαριστής	1
Ναύκληρος	1	Δόκιμος Μηχανικός	1	Ιατρός	1
Ναύτες	5	Ηλεκτρολόγος	1		
		Βοηθός Ηλεκτρολόγου	1		
Σύνολο	10	Σύνολο	9	Σύνολο	6

5.2.3. Δείκτης εξαρτισμού (Equipment Number – EN)

Ο δείκτης εξαρτισμού χρησιμοποιείται για να καθοριστούν τα συστήματα αγκυροβόλησης, πρόσδεσης και ρυμούλκησης του πλοίου. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός αγκύρωσης προορίζεται για προσωρινή πρόσδεση (αγκυροβόληση) του σκάφους εντός λιμανιού ή προστατευμένης περιοχής όταν το πλοίο περιμένει ελλιμενισμό (ράδα).

Ο τύπος του δείκτη εξαρτισμού (EN) για τον απαιτούμενο εξοπλισμό θεωρεί ταχύτητα ρεύματος 2,5 m/sec, ταχύτητα ανέμου 25 m/sec και το χρησιμοποιούμενο μήκος της αλυσίδας είναι 6 με 10 φορές μεγαλύτερο από το βάθος της θάλασσας. Επίσης, το υπέδαφος θεωρείται στέρεο, ώστε να αποφεύγεται το σύρσιμο της άγκυρας και η συνεπακόλουθη μείωση της απόδοσής της.

Η εξίσωση του δείκτη εξαρτισμού (EN), σύμφωνα με τους κανονισμούς του IACS (IACS Req. 1981/Rev.5 2005), υπολογίζεται ως εξής :

$$EN = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0.1A$$

Στα πλοία ειδικού σκοπού (SPS) , όπως στην εν λόγω περίπτωση, ο τύπος του δείκτη εξαρτισμού τροποποιείται καθώς ο μεσαίος όρος 2Bh μετατρέπεται σε 2(aB+ Σhibi).

Επομένως:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2(aB + \Sigma hibi) + 0.1A$$

όπου:

- Δ: εκτόπισμα του πλοίου σε βύθισμα ίσο με το $T_{ΓΦ} = 4,4$ m ($\Delta_{ΓΦ} = 3162.1$ t)
- B: μέγιστο πλάτος του πλοίου, $B = 15,5$ m
- a: ύψος εξάλων στο βύθισμα $T_{ΓΦ}$ μέχρι το Upper Dk ($a = UD - T_{ΓΦ} = 9.6 - 4.4 = 5.2$ m)
- hi: ύψος του εκάστοτε επιπέδου υπερκατασκευής με πλάτος μεγαλύτερο του B/4 στο κεντρικό διαμήκη άξονα, αγνοώντας τη κυρτότητα
- bi: το μέγιστο πλάτος του εκάστοτε επιπέδου υπερκατασκευής, μεγαλύτερο του B/4
- A: πλευρική επιφάνεια εξάλων και υπερκατασκευών στη θερινή ίσαλο πλεύσης

Το Σhibi άθροισμα υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5. 7: Χαρακτηριστικά υπερκατασκευών πάνω από το Upper Dk

Superstructure h & b for each Tier			
Tier	hi (m)	bi (m)	hibi (m2)
A dk	2.6	15.5	40.3
B dk	2.6	15.5	40.3
Nav.dk	2.8	20.8	58.24
Σhi=	8	Σhibi=	138.84

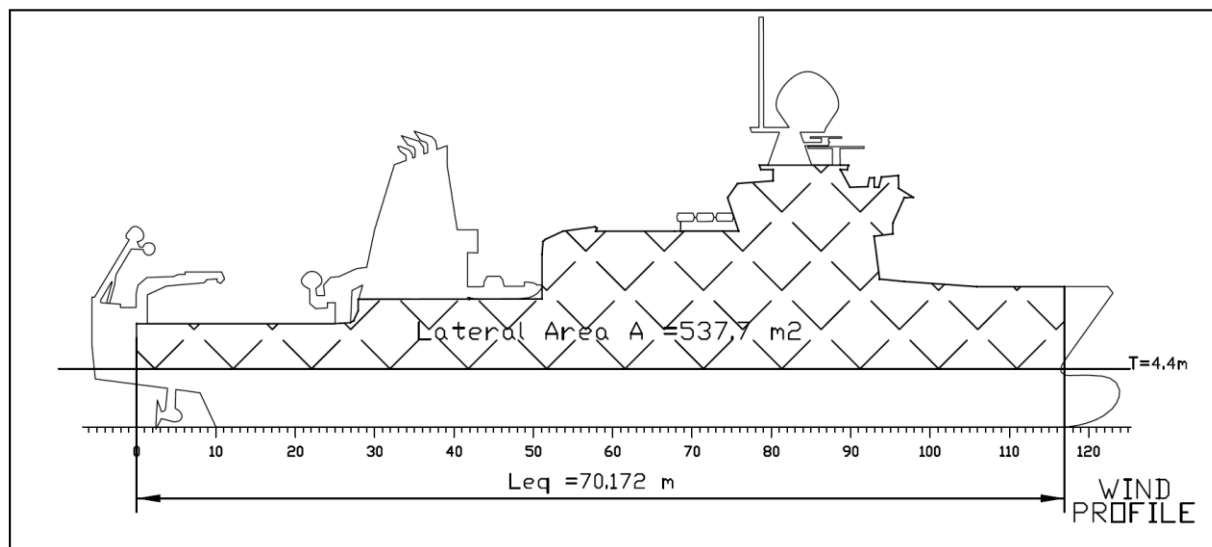
Η πλευρική επιφάνεια πλεύσης αποτελεί το εμβαδόν του προφίλ του πλοίου πάνω από την Γραμμή Φόρτωσης εντός του μήκους εξαρτισμού L_{EQ} , από το οποίο εξαιρούνται οι υπερκατασκευές που έχουν πλάτος μικρότερο των B/4.

Ως μήκος εξαρτισμού L_{EQ} θεωρείται το μήκος μεταξύ καθέτων, με τον περιορισμό να βρίσκεται μεταξύ του εύρους που διαμορφώνεται από το 96% και 97% του μήκος της waterline στο βύθισμα της Γραμμή Φόρτωσης ($L_{WL}=73.1m$).

Καθώς $LBP < 96\% L_{WL} = 70.172$ προκύπτει για το μήκος εξαρτισμού:

$$L_{EQ} = 70,172 \text{ m}$$

Στο παρακάτω παραστατικό διάγραμμα γίνεται η σύγκριση της ζητούμενης πλευρικής επιφάνειας με την συνολικό προφίλ του πλοίου, που θα χρησιμοποιηθεί στο κριτήριο του ανέμου για την άθικτη ευστάθεια.



Σχήμα 5. 2: Πλευρική επιφάνεια εξαρτισμού

Με εμβαδομέτρηση της γραμμοσκιασμένης επιφάνειας προκύπτει η πλευρική επιφάνεια, που υπεισέρχεται στον υπολογισμό του δείκτη εξαρτισμού: $A = 537,7 \text{ m}^2$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προκύπτει ο δείκτης εξαρτισμού ο οποίος ισούται με :

$$EN = 708$$

Σύμφωνα με τυποποιημένους πίνακες του IACS, επιλέγονται το μέγεθος και το μήκος των αγκυρών του πλοίου και η διάμετρος των καδενών.

Πίνακας 5. 8: Χαρακτηριστικά αγκύρωσης πλοίου

Anchoring equipment (acc. to IACS)						
E.N.=708 applicable E.N. Range:	Stockless bower anchors		Stud link chain cable for bower anchors			
	No. *	Mass per anchor (KG)	Total length (m)	Minimum diameter (mm)		
				Mild steel Grade 1	Special quality Grade 2	Extra special quality Grade 3
660-720	3	2100	440	46	40	36

5.2.4. Γραμμή Φόρτωσης (Load Line)

Ο υπολογισμός της Γραμμής Φόρτωσης (Load Line) καθορίζει το μέγιστο βύθισμα, που έχει την δυνατότητα να φτάσει το πλοίο, μέσω του καθορισμού των ελαχίστων εξάλων θέρους (FB_{SUMMER}).

Ο υπολογισμός της Γραμμής Φόρτωσης (Load Line) θα γίνει σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης του 1966 (ILLC 1966).

Αρχικά, θα δοθούν κάποιοι ορισμοί για τα βασικά μεγέθη του πλοίου:

- *Freeboard Deck* (κατάστρωμα εξάλων): Είναι συνήθως το ανώτερο πλήρες κατάστρωμα που εκτίθεται σε καιρό και θάλασσα, το οποίο έχει μόνιμα υδατοστεγή μέσα κλεισίματος (watertight doors & hatches) σε όλα τα ανοίγματα. Καθώς το Upper Dk δεν είναι πλήρες σε όλο το μήκος του πλοίου, ως Freeboard Dk προσδιορίζεται το Main Dk, με $D=6,8$ m.
- *Κοίλο καταστρώματος εξάλων D_f* : το κοίλο D συν το έλασμα του υδροροής του καταστρώματος εξάλων (10 mm). Συνεπώς, $D_f=6,81$ m.
- *Μήκος εξάλων πλοίου L_f* : το 96% του ολικού μήκους της ισάλου στο 85% του D_f ή η απόσταση από την Α.Ρ. έως το πρωραίο σημείο της ισάλου αυτής, όποια απόσταση είναι μεγαλύτερη.
Λαμβάνουμε την πρώτη περίπτωση ως μεγαλύτερη με $L_f=71.098$ m
- *Συντελεστής γάστρας C_B* : Λογίζεται το πηλίκο $\Delta/(L B d)$ όπου d είναι το βύθισμα στο 85% του D , B είναι το πλάτος και Δ το εκτόπισμα στο βύθισμα αυτό. Λαμβάνουμε τελικά $C_B=0.7018$

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης, τα πλοία ειδικού σκοπού ανήκουν στην κατηγορία πλοίων "B" και με $L_f=71.098$ m λαμβάνεται, με γραμμική παρεμβολή μεταξύ μήκους εξάλων 71 & 72 μέτρων, το βασικό ύψος εξάλων :

$$BYE1=739.57 \text{ mm.}$$

Ακολουθούν οι διάφορες διορθώσεις συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου και διαμορφώνονται ως εξής:

- Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B-60 η B-100 (YE2):

Το πλοίο δεν ανήκει σε αυτές τις κατηγορίες – Δεν υφίσταται διόρθωση ($YE2 = 0$)

- Διόρθωση για καλύμματα στομίων κυτών (YE3):

Το πλοίο δεν διαθέτει καλύμματα στομίων κυτών – Δεν υφίσταται διόρθωση ($YE3 = 0$)

- Διόρθωση για πλοία κατηγορίας B με μήκος L κάτω των 100 μ. (YE4):

$$YE4 = 7,5 (100 - L) (0.35 - E_1/L), E_1 \leq 35 \% L$$

Καθώς το ενεργό μήκος των υπερκατασκευών (E_1) είναι μεγαλύτερο του 35 % του μήκους, δεν υφίσταται διόρθωση ($YE4 = 0$)

- Διόρθωση για το συντελεστή γάστρας (YE5) :

$$YE5 = (C_b + 0.68) / 1.36, \text{ για } C_b > 0,68$$

Επομένως, η τροποποίηση εξάλων λόγω του συντελεστή γάστρας C_b είναι:

$$YE5 = 1.016$$

- Διόρθωση για το πλευρικό μήκος (YE6) :

Ισχύει ότι $D_F = 6.81 \text{ m} \geq 4.74 = L/15$, οπότε ο τύπος διαμορφώνεται ως εξής :

$$YE4 = \left(D_F - \frac{L}{15} \right) R, \text{ όπου } R = \frac{L}{0.48} \text{ για } L \leq 120 \text{ m},$$

Συνεπώς, η μείωση εξάλων λόγω του πλευρικού ύψους είναι:

$$YE6 = 306.63 \text{ mm}$$

- Διόρθωση για υπερκατασκευές (YE7) :

Αρχικά, υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή, η έκπτωση ύψους εξάλων αναλογικά με το μήκος εξάλων του πλοίου L , μεταξύ 24 και 85 μέτρων, για δρων μήκος υπερκατασκευής S_1 ίσο με το μήκος του πλοίου ($S_1/L=1$), για το οποίο προκύπτει :

$$\text{Για } S_1/L=1, \text{ YE7} = 743,8 \text{ mm}.$$

Όμως, η υπερκατασκευή δεν διατρέχει όλο το μήκος του πλοίου, καθώς ξεκινάει από τον νομέα 28. Συνεπώς, το ενεργό μήκος των υπερκατασκευών S_1 ανέρχεται στα 53,3 μέτρα, δηλαδή το 75 % του μήκους εξάλων του πλοίου.

Η τελική μείωση των εξάλων για την ύπαρξη υπερκατασκευής, προκύπτει αναλογικά με το ποσοστό του ενεργού μήκους υπερκατασκευής ως προς το μήκος εξάλων του πλοίου. Έτσι υπολογίζεται από γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στο 70% και 80% η τελική μείωση εξάλων, η οποία είναι ίση με:

$$YE7 = 514 \text{ mm}$$

- Διόρθωση για σιμότητα (YE8) :

Έχουμε μηδενική πραγματική σιμότητα στο πλοίο ($M_s = 0$), άρα και έλλειψη σιμότητας σε σχέση με την κανονική, η οποία δίνεται σε κάθε σημείο του πλοίου από τους τύπους:

Μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας για το πρωραίο ήμισυ του πλοίου:

$$M_{NF} = 16,675 * (L/3 + 10) = 556.4 \text{ mm}$$

Μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας για το πρυμναίο ήμισυ του πλοίου:

$$M_{NA} = 8,33375 * (L/3 + 10) = 278.1 \text{ mm}$$

Μέσο μέτρο κανονικής σιμότητας για όλο το πλοίο:

$$M_N = 12.5063 * (L/3 + 10) = 417.3 \text{ mm}$$

Συνεπώς, από την διόρθωση λόγω σιμότητας (YE8), θα γίνει αύξηση των απαιτούμενων εξάλων του πλοίου κατά:

$$YE8=(M_N-M_S)(0.75-S_1/(2L))$$

Όπου S1 το μήκος κλειστών υπερκατασκευών= 53.3 m,

Οπότε προκύπτει τελικά :

$$YE8=-154.33 \text{ mm}$$

Η τελική διαμόρφωση των ελαχίστων εξάλων θέρους, έπειτα από τις ανωτέρω διορθώσεις, προκύπτει ως εξής:

$$FB_{SUMMER} = (BYE1+YE2+YE3+YE4)*YE5+YE6+YE7+YE8$$

Να σημειωθεί, ότι όλες οι διορθώσεις έχουν την τάση μείωσης των ελαχίστων εξάλων, εκτός από την διόρθωση της σιμότητας, καθώς υπήρχε έλλειψη σιμότητας σε σχέση με την κανονική. Τελικά τα ελάχιστα έξαλα θέρους υπολογίζονται ως:

$$FB_{SUMMER} = 697,77 \text{ mm}$$

Το μέγιστο βύθισμα θέρους από την Γραμμή Φόρτωσης προκύπτει:

$$T_{\Gamma\Phi} = D_F - FB_{SUMMER} = 6.113 \text{ m}$$

Φυσικά, το ωκεανογραφικό, ως κατ' εξοχήν πλοίο κυβισμού, δεν θα εκμεταλλευτεί όλο το περιθώριο των εξάλων θέρους για τον καθορισμό του βυθίσματός του, καθώς οι απαιτήσεις του Deadweight, που σχεδιάζεται να έχει, αντιστοιχεί σε ένα βύθισμα σχεδίασης (T_{DESIGN}) αρκετά μικρότερο από αυτό που προκύπτει από τα ελάχιστα έξαλα της Γραμμής Φόρτωσης.

Ως βύθισμα σχεδίασης, λαμβάνεται το βύθισμα της έμφορτης κατάστασης αναχώρησης του πλοίου (κατάσταση 2: Homo_Dep από το Trim & Stability) και ισούται με: $T_{DESIGN} = 4,4$ μέτρα. Στην κατάσταση αυτή, όλες οι δεξαμενές των αναλώσιμων (bunkers) είναι 100 % γεμάτες, ενώ λαμβάνονται υπόψιν 250 τόνοι φορτίου κατανεμημένοι στο κύριο κατάστρωμα.

Έτσι, ως μέγιστο έμφορτο βύθισμα θέρους της Γραμμής Φόρτωσης T_{SUMMER} , λαμβάνεται το βύθισμα σχεδίασης T_{DESIGN} και εκεί θα τοποθετηθεί ο δίσκος του Plimsoll (Plimsoll's mark).

$$T_{SUMMER} = T_{DESIGN} = 4.4 \text{ m}$$

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος του ελάχιστου ύψους πλώρας, που αντιστοιχεί στο βύθισμα και την διαγωγή της εκάστοτε κατάστασης. Το πλοίο βρίσκεται πάντοτε σε έμπρυμο trim, σύμφωνα με τις καταστάσεις φόρτωσης που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια, αλλά για να είμαστε από το safe side, θεωρείται μηδενική διαγωγή (even keel position).

Για πλοία με $L \leq 250$ m το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πλώρας δίνεται από τον τύπο:

$$F_{bF.P.} = 56L \left(1 - \frac{L}{500} \right) \frac{1,36}{C_B + 0,68} = 3385,7 \text{ mm}$$

Το πραγματικό ύψος πλώρας στο πλοίο έως το κατάστρωμα στεγανών φρακτών καθ' ύψος της πλωραίας καθέτου F.P. ισούται με $h = D_f = 6,81$ m.

Οπότε $h > F_{bF.P.}$ και ο κανονισμός τηρείται.

Με γνωστό το τελικό μέγιστο έμφορτο βύθισμα θέρους, μπορεί να υπολογιστεί το μέγιστο βύθισμα Χειμώνα και το μέγιστο βύθισμα Τροπικών Περιοχών. Τα βυθίσματα αυτά διαφέρουν από το βύθισμα θέρους $T_{SUMMER} = T$ κατά $T/48$ mm έκαστος, τα οποία βρίσκονται στο δίσκο του Plimsoll εκατέρωθεν του βυθίσματος θέρους.

Για τα υπόλοιπα βυθίσματα της μπάλας του Plimsoll, τα οποία αφορούν την πλεύση σε γλυκό νερό, λαμβάνονται στο βύθισμα θέρους ($T = 4,4$ m) τα υδροστατικά μεγέθη: $\Delta_{r\phi} = 3060,2$ tons και $TPC(T = T_{r\phi}) = 9,81$ t/cm.

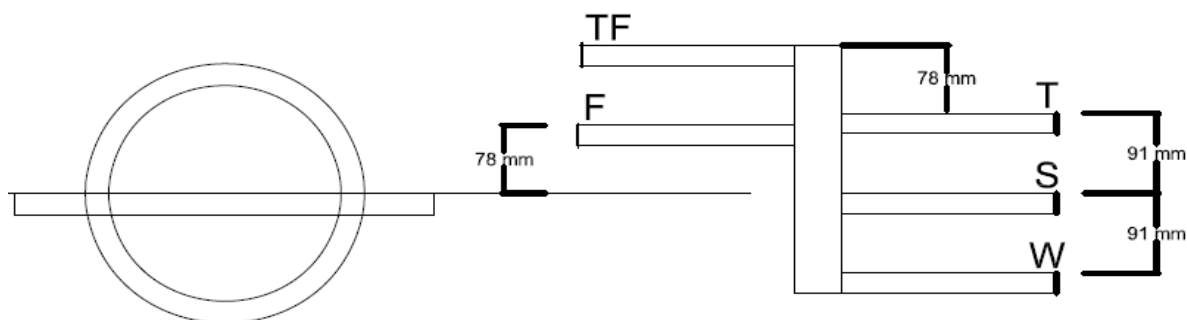
Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας εξάλων του πλοίου, στον οποίο παρατίθενται οι τύποι από τους οποίους προέκυψαν τα βυθίσματα του Plimsoll Mark. Επίσης παρουσιάζονται το εκτόπισμα μαζί με το Deadweight που αντιστοιχούν στα βυθίσματα αυτά.

Υπενθυμίζεται, ότι το Lightship του πλοίου από το οποίο προκύπτει το εκάστοτε Deadweight από το αντίστοιχο εκτόπισμα, υπολογίστηκε στους 2116,07 τόνους.

Πίνακας 5. 9: Πίνακας εξάλων πλοίου (Load Line)

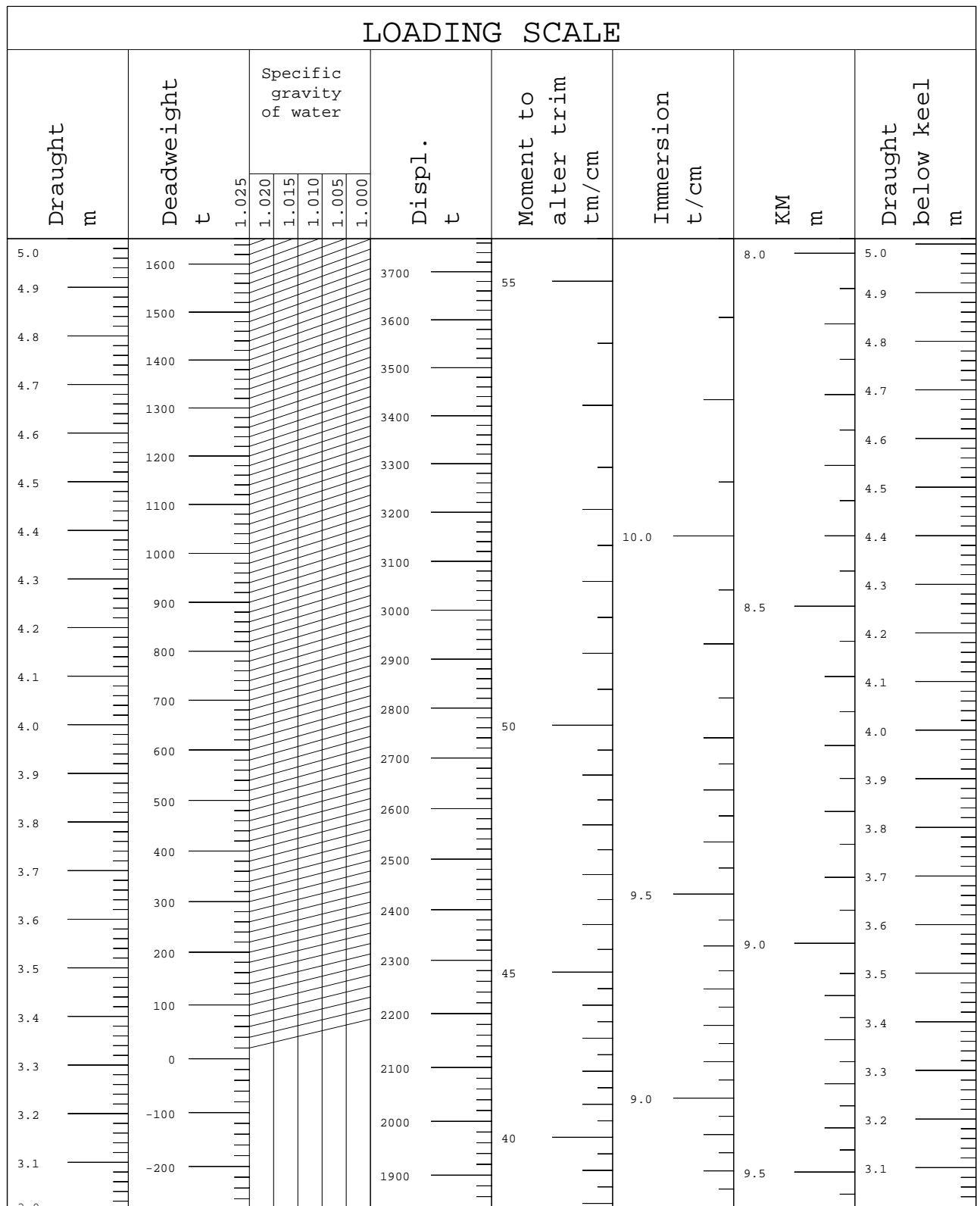
LOADLINE FREEBOARD TABLE					
Plimsoll Marks	T	Freeboard	Density	Displ.	DW
	m	m	t/m ³	t	t
$T_{max} = T_{summer} = T =$	4.570	2.240	1.025	3251.6	1135.5
$T_{WINTER} = T - T/48 =$	4.478	2.332		3161.3	1045.2
$T_{TROPICAL} = T + T/48 =$	4.400	2.410		3162.1	1046
$T_{Fresh\ Water} = T + \Delta / (40 * TPC) =$	4.308	2.502	1	3070.2	954.1
$T_{Tropical_Fresh\ Water} = T_{Tropical} + \Delta / (40 * TPC) =$	4.492	2.318		3254.4	1138.3

Παρακάτω παρουσιάζεται το δίσκος του Plimsoll με τις διαφορές μεταξύ των βυθισμάτων, όπως αυτές επεξηγήθηκαν άνωθεν:



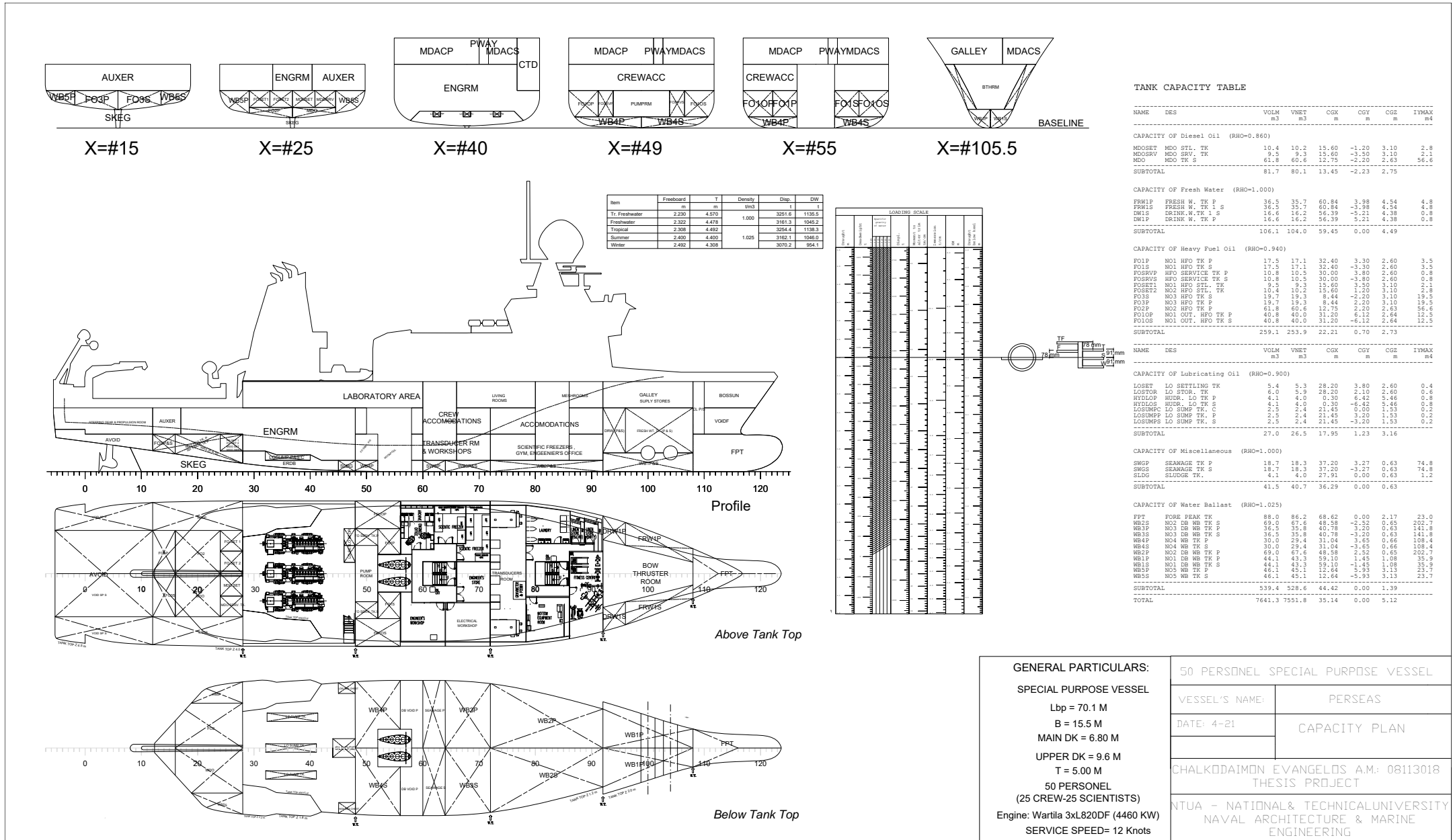
Σχήμα 5. 3 : Plimsoll mark

Επίσης παρακάτω, παρατίθεται το Deadweight Scale, στο οποίο παρουσιάζονται τα κυριότερα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας (εκτόπισμα, deadweight, MCT, TPC, KM) συναρτήσει του βυθίσματος και του ειδικού βάρους (Specific Gravity) του νερού, που κυμαίνεται από 1 t/m³ (γλυκό) μέχρι 1.25 t/ m³ (θαλασσινό):



Σχήμα 5. 4: Deadweight Scale

Τέλος, όλες οι παραπάνω βρίσκονται στο σχέδιο του Capacity Plan, το οποίο και παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχέδιο 5. 1: Capacity Plan

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ (ΑΘΙΚΤΗ & ΒΕΒΛΑΜΕΝΗ)

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά θα γίνει μελέτη της ευστάθειας του πλοίου (άθικτη και βεβλαμένη). Η μελέτη αυτή περατώθηκε μέσω του ναυπηγικού προγραμματιστικού περιβάλλοντος του NARA, στο οποίο θα γίνει και αναφορά.

Στο Nara πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση γραμμών της γάστρας, εν συνεχεία η διαμερισματοποίηση (compartmentation) του εσωτερικού χώρου του πλοίου, ενώ τέλος, προσδιορίστηκαν οι καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου και εισήχθη η υπολογισθήσα κατανομή του Lightship.

Με το πέρας αυτών των διαδικασιών, η μελέτη φτάνει στο σημείο της διεξαγωγής υπολογισμών. Ως προς την άθικτη ευστάθεια, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Trim & Stability Booklet, το οποίο παρατίθεται στο [Παράρτημα \(Z\)](#) και θα αναλυθεί ενδελεχώς.

Η ευστάθεια μετά από βλάβη, μελετήθηκε με την πιθανοθεωρητική προσέγγιση (Probabilistic Damage Stability), οι βασικές αρχές της οποίας, θα αναλυθούν στην συνέχεια. Τα αποτελέσματα του προγράμματος, καθώς και τα δεδομένα που εισήχθησαν σε αυτό, παρουσιάζονται στο [Παράρτημα \(H\)](#), ενώ οι υπολογισμοί θα παραλειφθούν για οικονομία χώρου.

Απότοκο της μελέτης ευστάθειας αποτελεί η καμπύλη περιορισμού του μετακεντρικού ύψους GM (GM Envelope Curve) και συνεπακόλουθα του κέντρου βάρους KG, στην οποία προσδιορίζεται η περιοχή ασφαλούς λειτουργίας του πλοίου συναρτήσει του βυθίσματος και της διαγωγής. Σε αυτή τη περιοχή του (GM ή του KG αντίστοιχα) πληρούνται όλα τα κριτήρια της ευστάθειας, τόσο σε άθικτη, όσο και σε βεβλαμένη κατάσταση.

6.1. Εισαγωγή στο Πρόγραμμα Nara

6.1.1. Σχεδίαση Γραμμών

Η σχεδίαση των ναυπηγικών γραμμών του περιβλήματος του πλοίου, πραγματώνεται στο περιβάλλον του Hull Surface Editor. Το πλοίο χωρίζεται σε 3 κομμάτια: το πρυμναίο (HULLA), το πρωραίο (HULLF) και αυτό της μέσης τομής (HULLM). Το τελευταίο προσδιορίζεται αυτόματα ως το ενωτικό κομμάτι που έχει σταθερή εγκάρσια τομή.

Η γεωμετρία της γάστρας βασίστηκε σε γραμμές υπάρχοντος πλοίου, ιδίου τύπου και παρόμοιου μεγέθους, που ήταν διαθέσιμες σε μορφή Autocad. Στις αρχικές γραμμές πραγματοποιήθηκαν μερικές παρεμβάσεις στη γεωμετρία (π.χ. προσθήκη skeg). Η εισαγωγή των γραμμών στο πρόγραμμα γίνεται στην μορφή ημιγάστρας, καθώς υπάρχει συμμετρία ως προς την Centerline του πλοίου.

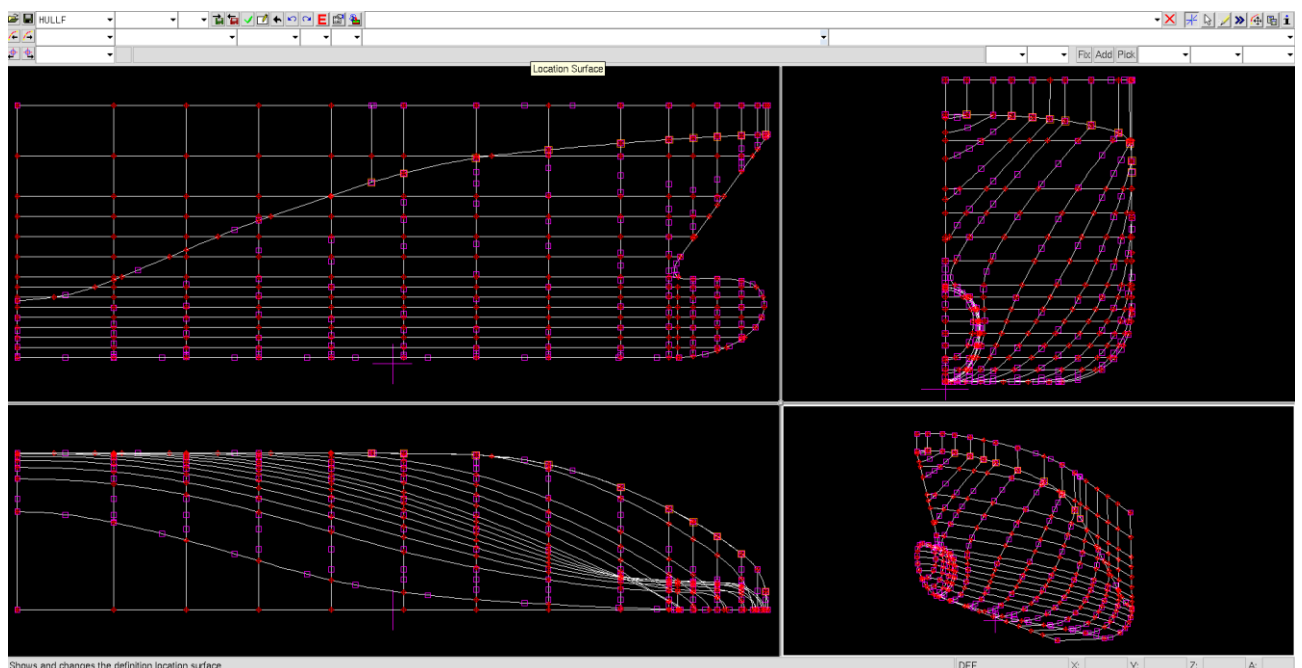
Αρχικά, εισάγονται οι βασικές καμπύλες, από τις οποίες καθορίζεται η γεωμετρία των εγκάρσιων τομών, και προσδιορίζονται οι συνθήκες τους. Τέτοιες γραμμές είναι οι εξής:

- FRA, FRM: εισάγουν το παράλληλο τμήμα, πρύμα και πλώρα αντίστοιχα
- Flat of Side (FS) & Flat of Bottom (FB): ορίζουν το επίπεδο τμήμα πλευράς και πυθμένα αντίστοιχα
- Stern & Stem: αποτελούν την τομή της γάστρας με το επίπεδο συμμετρίας (πρύμα και πλώρα αντίστοιχα)
- Transom: ορίζει την περιοχή του καθρέφτη του πλοίου
- Decka, Deckf: αποτελούν την γραμμή του καταστρώματος μέχρι την οποία περιγράφεται η γάστρα (πρύμα και πλώρα αντίστοιχα)
- Knuckles: διαμορφώνουν τα διάφορα 'σπασίματα' (δημιουργία γωνίας) που υπάρχουν στην γεωμετρία της γάστρας

Με τις βασικές γραμμές προσδιορισμένες, γίνεται η περιγραφή των επιλεγμένων εγκάρσιων τομών (sections), βάσει των βασικών γραμμών, καθώς και σημείων της τομής. Η επιλογή των τομών και των σημείων που τις περιγράφουν, γίνεται βάση ισαπόστασης που εξαρτάται από το μήκος και το ύψος του πλοίου αντίστοιχα, ή της μεγάλης μεταβολής της γεωμετρίας που υπάρχει τοπικά (π.χ. πλώρη και πρύμνη).

Στην συνέχεια, περνάνε οι Waterlines της γάστρας, συναρτήσε των βασικών καμπυλών και των sections. Έτσι δημιουργείται πλέγμα, από το οποίο θα προκύψει η επιφάνεια της γάστρας. Τα ύψη των Waterlines είναι προτιμητέο να συμπίπτουν με αυτά των σημείων περιγραφής των sections, ώστε η τομή τους να αποτελεί σημείο ελέγχου.

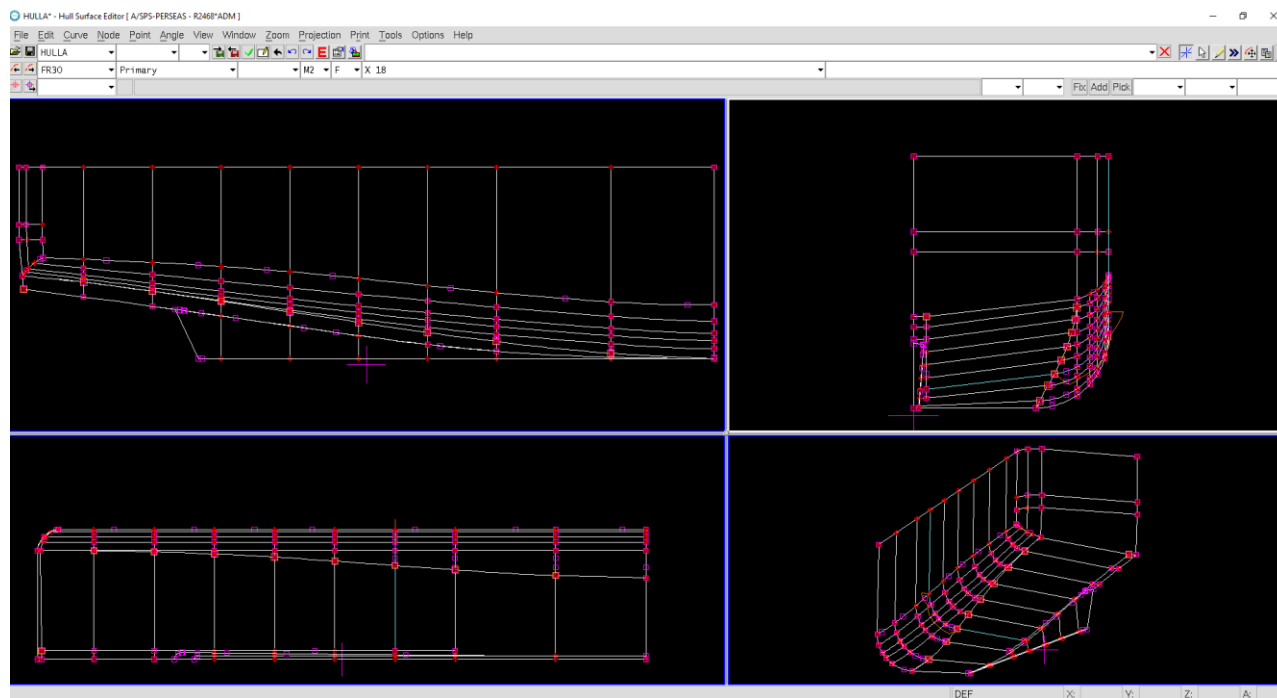
Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, για το πρωραίο κομμάτι τις γάστρας αποτελεί το πλέγμα που απεικονίζεται στο παρακάτω στιγμιότυπο, όπως αυτό εμφανίζεται στο περιβάλλον του Hull Surface Editor, στο οποίο περατώθηκε.



Σχήμα 6. 1: Σχεδίαση Πρωραίου τμήματος (Hull Surface Editor)

Στην περιοχή της πρύμνης, η διαδικασία διαφέρει σε σχέση με αυτή του πρωραίου κομματιού στο υπό μελέτη πλοίο. Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι η γεωμετρία της πρύμνης, προσδιορίζεται κατά κύριο λόγο από την ύπαρξη των knuckles (ανύψωση του πυθμένα). Το γεγονός αυτό οδηγεί στη χρήση των Buttocks, στην θέση των Waterlines, για την δημιουργία του πλέγματος, καθώς ακολουθούν καλύτερα την υφιστάμενη γεωμετρία.

Στο παρακάτω στιγμιότυπο παρουσιάζεται το τελικό πλέγμα του πρυμναίου κομματιού στο περιβάλλον του Hull Surface Editor:



Σχήμα 6. 2: Σχεδίαση Πρυμναίου τμήματος (Hull Surface Editor)

Η πυκνότητα των τομών που περιγράφουν την γάστρα, καθώς και των σημείων που περιγράφουν τις τομές, επιλέγεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ του σχεδιαστικού χρόνου και της απαιτούμενης ακρίβειας. Η βελτιστοποίηση της ισορροπίας αυτής, αποτελεί προϊόν εξοικείωσης και εμπειρίας με το πρόγραμμα.

Τέλος, γίνεται εξομάλυνση των γραμμών, όπου αυτό κριθεί αναγκαίο. Το τελικό αποτέλεσμα της διαμόρφωσης των γραμμών της γάστρας, προκύπτει στο Lines Plan, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:

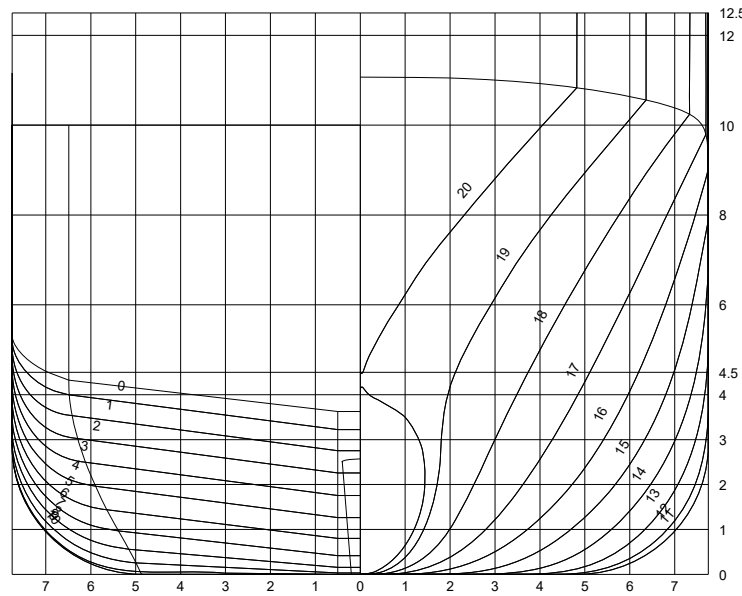


NAPA OY
 NAVAL ARCHITECTURE SOFTWARE
 AND CALCULATION SERVICES

Lines Drawing

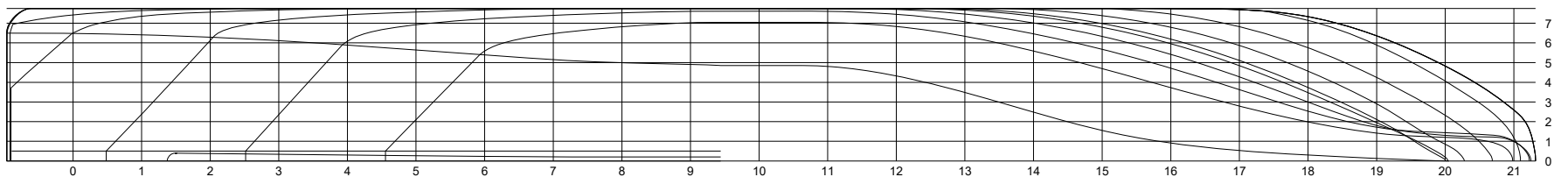
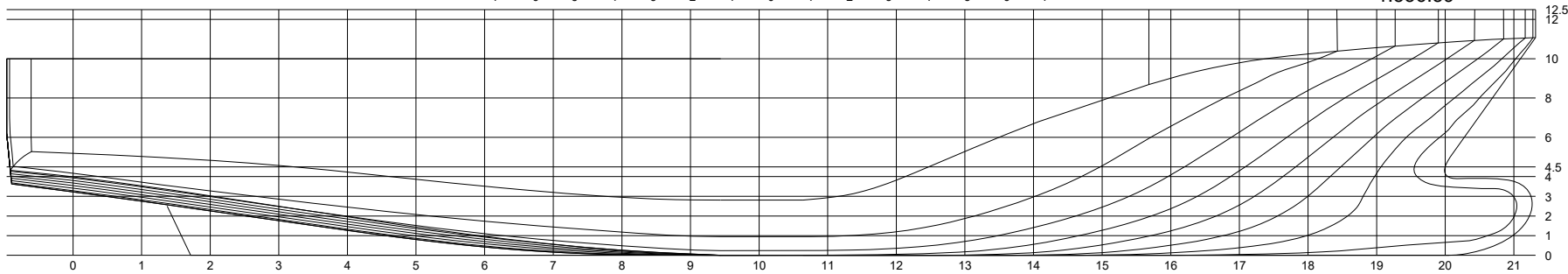
Loa: 77.89 m
 Lwl: 73.13 m
 Lpp: 69.91 m
 Bmax: 15.50 m
 Bwl: 15.50 m
 Tdwl: 4.50 m
 Lwl/Bwl: 4.72
 Lwl/Tdwl: 16.25
 Bwl/Tdwl: 3.44

Disp: 3309 t
 Disv: 3228 m³
 S: 1388 m²
 Cb: 0.6621
 Cm: 0.9486
 Cp: 0.6979
 Cwp: 0.9225
 LCB: -0.48 %
 VCB: 2.62 m
 KMT: 8.22 m



Scale
 1:168.29

Scale
 1:336.59



Scale
 1:336.59



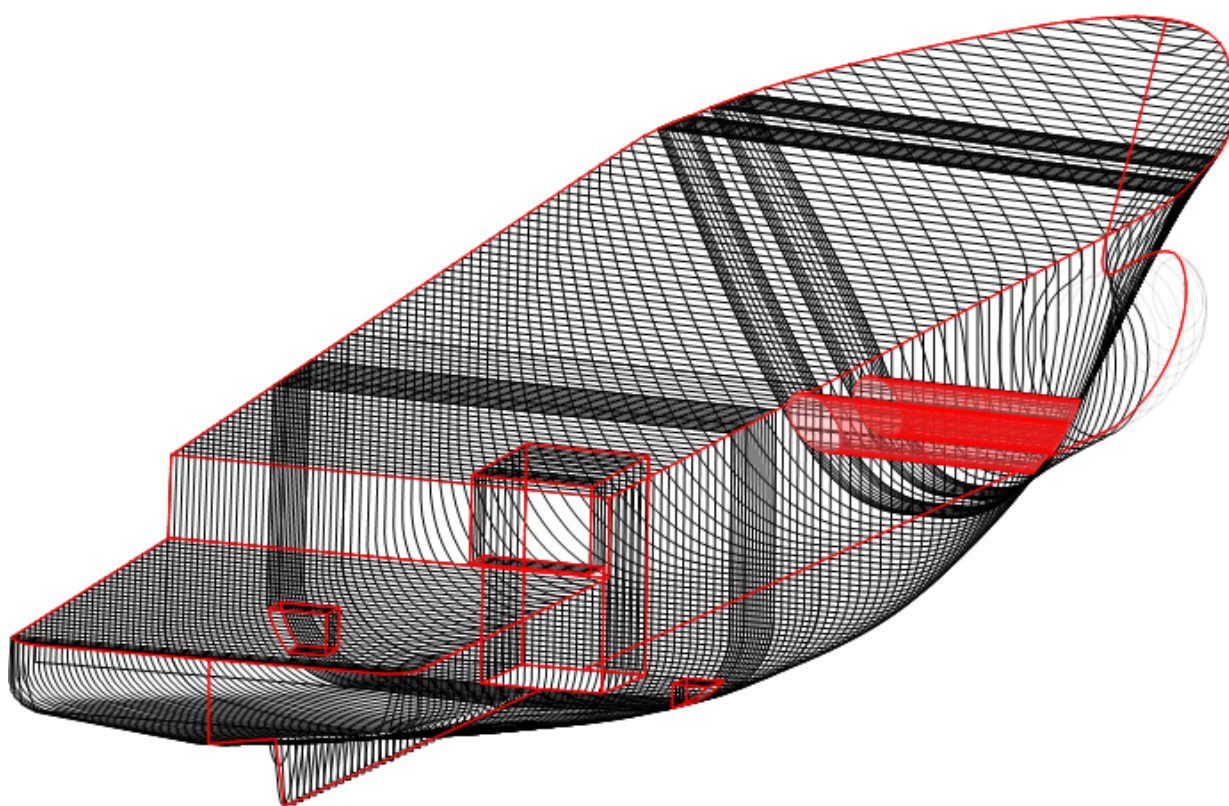
Σχέδιο 6. 1: Σχέδιο Γραμμών - Lines Plan

Proj NEIL_ARMSTRONG/A
 Date 2021-04-13
 Time 7:11 PM
 Sign ADMT

Ο υδατοστεγής χώρος του πλοίου που προσφέρει άντωση και επομένως, συνεισφέρει στη διαμόρφωση των Cross Curves, ονομάζεται Stabhull και πάνω σε αυτό θα βασιστεί η μελέτη της ευστάθειας.

Στεγανό όριο του όγκου άντωσης του πλοίου αποτελεί το Upper Deck, ενώ πίσω από τον νομέα 28 η στεγανότητα παρέχεται από το Main Deck. Σημειώνεται επίσης ότι, από τον συνολικό υδατοστεγή όγκο αφαιρούνται, ως μη στεγανοί χώροι, τα sea chests το moonpool και οι διάτρητες σήραγγες των 2 bow thrusters.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα sections της τελικής μορφής της στεγανής γάστρας Stabhull σε τρισδιάστατη απεικόνιση στον χώρο, όπως αυτά προέκυψαν από το Nara.



Σχήμα 6. 3: Στεγανός όγκος γάστρας ‘Stabhull’

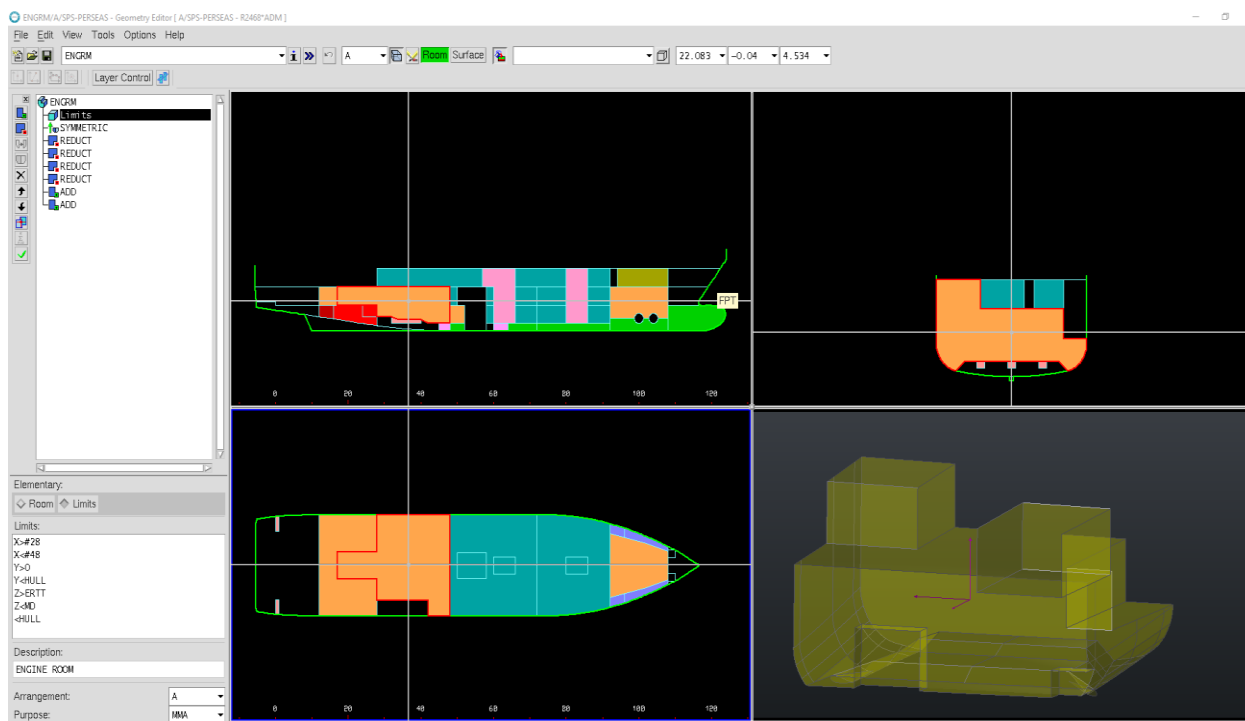
6.1.2. Διαμερισματοποίηση

Η διαμερισματοποίηση (compartmentation) του πλοίου, περατώνεται στο περιβάλλον του Geometry Editor. Βάση της διαμερισματοποίησης αποτελεί φυσικά, το προσδιορισθέν στο κεφάλαιο 2, σχέδιο της Γενικής Διάταξης του πλοίου.

Κάθε χώρος του STABHULL που διαθέτει υδατοστεγή χωρίσματα, διαμερισματοποιείται προσδιορίζοντας τα όρια των χώρων ως προς τις τρεις διαστάσεις. Τα άκρα των χώρων είναι είτε μια προσδιορισμένη διάσταση, όταν το άκρο είναι σταθερό, είτε μία επιφάνεια που ακολουθεί τις αλλαγές του ορίου, όταν αυτό μεταβάλλεται. Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας του εκάστοτε διαμερίσματος μπορεί να επιτευχθεί με προσθαφαιρέσεις συνοριακών χώρων. Επίσης, προσδίδεται στον εκάστοτε χώρο η χρήση του.

Τέλος, για την αποφυγή λαθών, ελέγχεται ότι ο συνολικός όγκος όλων των χώρων ισούται με τον όγκο του Stabhull, δηλαδή ότι δεν υπάρχουν επικαλύψεις μεταξύ των διαμερισμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται το περιβάλλον Geometry Editor του Nara. Όπως φαίνεται, τα διαφορετικά χρώματα των διαμερισμάτων αντιστοιχούν στην χρήση του χώρου (π.χ. κόκκινο: δεξαμενή καυσίμου, πορτοκαλί: χώρος μηχανολογικών εξαρτημάτων). Το συγκεκριμένο στιγμιότυπο ελήφθη από την διαμερισματοποίηση του μηχανοστασίου, το τρισδιάστατο μοντέλο του οποίου, φαίνεται κάτω δεξιά στην εικόνα.



Σχήμα 6. 4: Περιβάλλον διαμερισματοποίησης (Compartment Editor)

Πλέον, η γεωμετρία της γάστρας είναι πλήρως προσδιορισμένη και έτοιμη για διεξαγωγή αποτελεσμάτων.

6.2. Άθικτη Ευστάθεια

6.2.1. Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας

Ως πλοίο ειδικού σκοπού (SPS vessel), τα κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας, με τα οποία πρέπει να συμμορφώνεται το πλοίο, είναι οι κανονισμοί του SPS Code 2008 Resolution A.534(13). Οι κανονισμοί αυτοί, παραπέμπουν στα κριτήρια ευστάθειας συμβατικών μονόγαστρων πλοίων σύμφωνα με το Res.A.749(18).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας εφαρμόζονται πάνω στην καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ και είναι τα εξής:

- Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη του GZ μέχρι τις 30° πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,055 mrad.
- Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη του GZ μέχρι τη γωνία $\min(40^\circ, \theta_\phi)$ πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,09 mrad.
- Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη του GZ, από τις 30° μέχρι τη γωνία $\min(40^\circ, \theta_\phi)$, πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,03 mrad.
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ πάνω από τις 30° να είναι τουλάχιστον 0,2 μέτρα.
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ να αντιστοιχεί σε γωνία μεγαλύτερη των 25° .
- Το μετακεντρικό ύψος GM, διορθωμένο από την ελεύθερη επιφάνεια των δεξαμενών να είναι τουλάχιστον 0,15 μέτρα.
- Το κριτήριο του ανέμου.
- Η ροπή του ανέμου να μην δημιουργήσει κλίση μεγαλύτερη των 16° ή γωνίας που αντιστοιχεί στο 80% του καταστρώματος εξάλων, το οποίο, στο χαμηλότερό του σημείο, αντιστοιχεί στο Main Dk ($z = 6.8$ m).

Όπου θ_ϕ είναι η γωνία κατάκλισης.

Ως σημείο κατάκλισης θεωρείται το, απροστάτευτο από τον καιρό, άνοιγμα για την τροφοδοσία αέρα στο μηχανοστάσιο. Σύμφωνα με το σχέδιο της Γενικής Διάταξης, το σημείο αυτό βρίσκεται στις γρίλιες εξαερισμού, από την εσωτερική μεριά του φουγάρου. Παρόλο που το φουγάρο βρίσκεται από το port side, το απροστάτευτο άνοιγμα λαμβάνεται και από τις δύο πλευρές του πλοίου ώστε να είμαστε από το safe side για την μελέτη της άθικτης ευστάθειας.

Καθώς τα 25 άτομα από το επιστημονικό προσωπικό θεωρούνται επιβάτες, προκύπτουν επιπλέον τα πρόσθετα κριτήρια των επιβατηγών πλοίων :

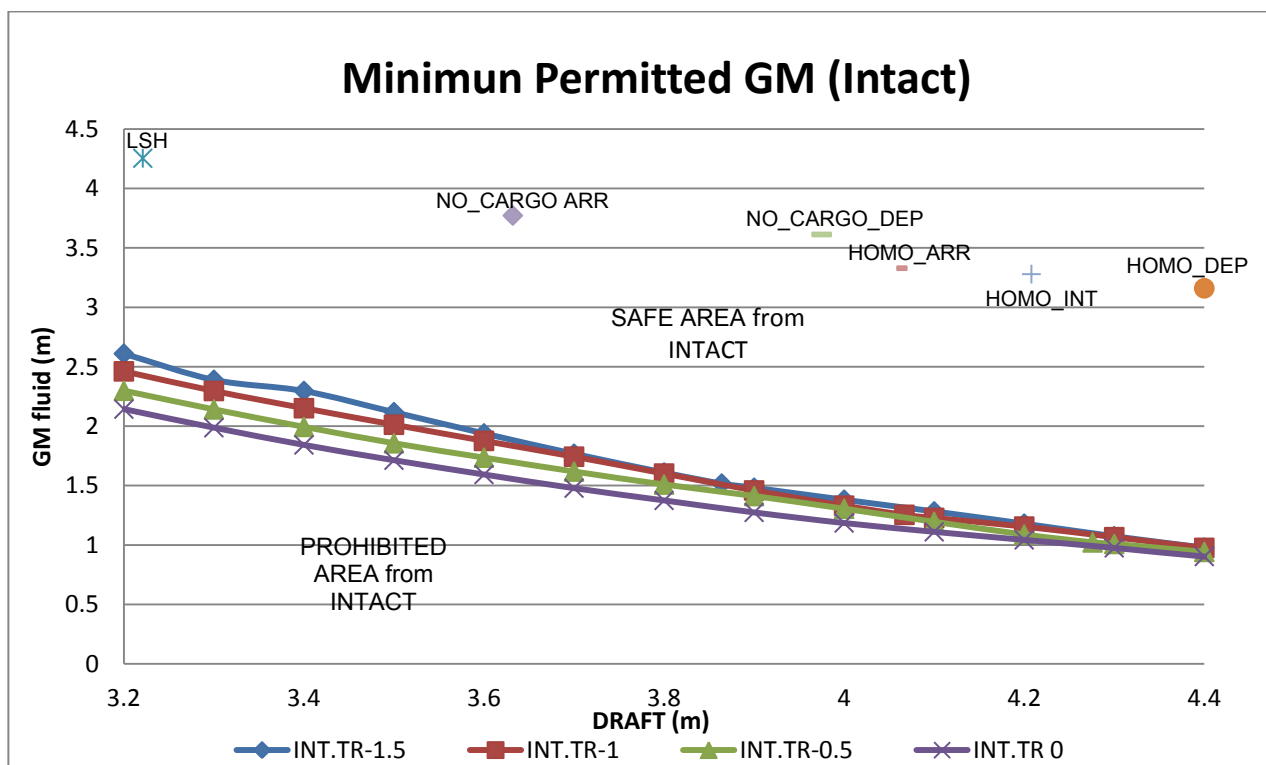
- Το κριτήριο της στροφής, η ροπή της οποίας να μην προκαλέσει κλίση μεγαλύτερη των 10° . Για τον προσδιορισμό της ροπής αυτής, ως ταχύτητα πλοίου ορίστηκαν οι 12 κόμβοι.

- Το κριτήριο των επιβατών, σύμφωνα με το οποίο, η ροπή των επιβατών αν μεταφερθούν στην πλευρά του πλοίου (4 άτομα ανά τετραγωνικό) να μην δημιουργήσει κλίση μεγαλύτερη των 10° .

Τα κριτήρια του ανέμου, της στροφής και των επιβατών αναλύονται περαιτέρω, ως προς τον τρόπο υπολογισμού τους, στο πρώτο κεφάλαιο ([Part I](#)) του Trim & Stability Booklet, που βρίσκεται στο [Παράρτημα \(Z\)](#).

Το εύρος του, διορθωμένου από ελεύθερες επιφάνειες, μετακεντρικού ύψους GM_{FLUID} , για το οποίο πληρούνται όλα τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας για τις εκάστοτε διαγωγές (trims: -1.5m, -1.0m, -0.5m, even keel), παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Συνάμα, παρουσιάζονται και οι αντίστοιχες θέσεις των υπό μελέτη καταστάσεων φόρτωσης, οι οποίες βρίσκονται στην ασφαλή περιοχή, καθώς πληρούν τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας.



Σχήμα 6. 5: Επιτρεπόμενο εύρος GM_{FLUID} για την άθικτη ευστάθεια

Παρατηρείται ότι, η καμπύλη του trim -1.5m (aft) υπερκαλύπτει τις καμπύλες των υπόλοιπων διαγωγών σε όλο το εύρος βυθισμάτων.

Συνεπώς, η περιοχή ασφαλούς πλεύσης, υπό το πρίσμα της άθικτης ευστάθειας, ορίζεται εξ'ολοκλήρου από την καμπύλη περιορισμού του GM με trim -1.5m (aft).

6.2.2. Καταστάσεις Φόρτωσης (Loading Conditions)

Αρχικά, εισάγεται η κατανομή του Lightship, όπως αυτή προσδιορίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ώστε να μπορεί να γίνει η μελέτη της διαμήκους αντοχής σε κάθε κατάσταση φόρτωσης.

Υπενθυμίζεται, ότι το Lightship του πλοίου δεν είναι συμμετρικό, με αποτέλεσμα την ύπαρξη εγκάρσιας κλίσης του πλοίου. Για τον λόγο αυτό, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 5, έχουν τοποθετηθεί 52 t solid ballast με την μορφή χελώνων.

Οι καταστάσεις φόρτωσης στις οποίες θα γίνει η μελέτη άθικτης ευστάθειας είναι οι εξής:

- Lightship plus Permanent Ballast (NOT seagoing)
- Full Load Departure (Draft 4.4m) 100% Consumables
- Full Load Intermediate 50% Consumables
- Full Load Arrival 10% Consumables
- Ballast Departure 100% Consumables – No Cargo
- Ballast Arrival 10% Consumables – No Cargo

Επίσης υπενθυμίζεται ότι, ως φορτίο στην Full Load Departure θεωρείται 315.6 τόνοι, η μεγάλη πλειοψηφία των οποίων, βρίσκονται κατανεμημένοι στο εκτεθειμένο κύριο κατάστρωμα (Cargo on Deck).

Στα αναλώσιμα (consumables) εντάσσονται οι κατηγορίες βαρών, οι οποίες καταναλώνονται κατά την διάρκεια του ταξιδιού, όπως τα καύσιμα, το γλυκό νερό και οι προμήθειες (HFO, DO, FW κ.τ.λ.). Οι δεξαμενές αυτές (Bunkers) θεωρούνται 100% γεμάτες κατά την αναχώρηση, ενώ περιορίζονται στο 10% κατά την άφιξη, όπως ορίζει ο κανονισμός.

Η μείωση των λιπαντικών θεωρείται αμελητέα κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Όσον αφορά τις δεξαμενές κατάλοιπων (Miscellaneous Tanks - MIS), η πληρότητά τους στις ενδεικτικές καταστάσεις Departure, Intermediate και Arrival εκτιμάται 10% , 50% και 90% αντίστοιχα.

Να σημειωθεί, ότι στις παραπάνω καταστάσεις, η ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής (ή ζεύγους δεξαμενών - P&S) με την μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια από κάθε κατηγορία αναλώσιμων, θεωρείται η μέγιστη δυνατή. Αυτό αποσκοπεί στο να είμαστε από το safe side ως προς την μείωση του μετακεντρικού ύψους λόγω ύπαρξης ελεύθερων επιφανειών.

Εξαίρεση αποτελούν οι δεξαμενές θαλάσσιου έρματος, καθώς είναι γεμάτες, με αποτέλεσμα να εξαλείφονται τα φαινόμενα της ελεύθερης επιφάνειας.

6.2.3. Trim & Stability Booklet

Το Trim & Stability Booklet, το οποίο επισυνάπτεται στο [Παράρτημα \(Ζ\)](#) της διπλωματικής, εμπεριέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις αναμενόμενες καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου, ως προς την ευστάθεια και τα υδροστατικά του στοιχεία και αποσκοπεί στην ασφαλή πλεύση του πλοίου.

Αρχικά, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία του πλοίου, τα οποία αφορούν τα κριτήρια ευστάθειας, καθώς και οδηγίες για τον προσδιορισμό της καμπύλης GZ, με την χρήση των Cross Curves και την ικανοποίηση των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας χωρίς την χρήση H/Y, μέσω παραδείγματος.

Για κάθε μια από τις καταστάσεις φόρτωσης, το Trim & Stability Booklet εμπεριέχει τα εξής:

- παρουσιάζεται σκαρίφημα του πλοίου με την κατάσταση των δεξαμενών.
- παρουσιάζεται αναλυτικά η κατάσταση φόρτωσης των δεξαμενών και των πρόσθετων βαρών.
- προσδιορίζεται η ίσαλος πλεύσης του πλοίου, και τα υδροστατικά στοιχεία της γάστρας στη θέση αυτή.
- διαμορφώνεται η καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ και εξετάζεται η ικανοποίηση των κριτηρίων ευστάθειας.
- μελετάται η διαμήκης αντοχή του πλοίου και διαμορφώνεται το διάγραμμα διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου.

Επιπροσθέτως, εμπεριέχονται οι πίνακες των υδροστατικών στοιχείων και των Cross Curves, οι οποίοι προκύπτουν εξ' ολοκλήρου από την γεωμετρία της γάστρας, στην ισοβύθιστη κατάσταση, καθώς και στις έμπρυμνες διαγωγές -1.5μ -1.0μ, & -0.5μ.

Για τις ίδιες διαγωγές, παρατίθενται οι πίνακες των επιτρεπτών ορίων για το ελάχιστο GM, που το πλοίο πρέπει να έχει ούτως ώστε να πληρούνται τα κριτήρια ευστάθειας, τόσο σε άθικτη, όσο και σε βεβλαμμένη κατάσταση.

Συνάμα, εμπεριέχονται οι όγκοι και τα κέντρα των δεξαμενών του πλοίου.

Σημειώνεται ότι, οι ογκομετρικοί/υδροστατικοί πίνακες, για κάθε μία δεξαμενή ξεχωριστά, παραλείπεται για εξοικονόμηση χώρου.

Επίσης, εμπεριέχονται, για την μελέτη της διαμήκου αντοχής του πλοίου, η κατανομή του βάρους του Lightship και τα επιτρεπτά όρια των φορτίσεων (SF – BM).

Τέλος, παρουσιάζονται πρόσθετα στοιχεία για την ευστάθεια, όπως τα απροστάτευτα ανοίγματα (unprotected openings) της γάστρας και η πλευρική επιφάνεια του πλοίου, βάσει του οποίου προσδιορίζεται η ροπή του ανέμου.

Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά οι υπό μελέτη καταστάσεις φόρτωσης, αναλυόμενες ανά κατηγορία βάρους, καθώς και τα αποτελέσματά τους ως προς τα υδροστατικά χαρακτηριστικά, την ευστάθεια και την διαμήκη αντοχή:

Πίνακας 6. 1: Περίληψη καταστάσεων φόρτωσης

Summary of Loading Conditions							
		LSH	HOMO_DEP	HOMO_INT	HOMO_ARR	NO_CARGO_DEP	NO_CARGO_ARR (DL)
		Lightship plus Permanent Ballast (NOT seagoing)	Full Load Departure (Draft 4.4m) 100% Consumables	Full Load Intermediate 50% Consumables	Full Load Arrival 10% Consumables	Ballast Departure 100% Consumables -No Cargo	Ballast Arrival 10% Consumables -No Cargo - (DL)
Lightweight + Deadweight							
Solid cargo	t	0.0	312.0	312.0	312.0	0.0	0.0
Diesel Oil	t	0.0	68.8	34.4	6.9	68.8	6.9
Fresh Water	t	0.0	104.0	52.0	10.4	104.0	10.4
Heavy Fuel Oil	t	0.0	238.7	119.3	23.9	238.7	23.9
Lubricating Oil	t	0.0	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
Miscellaneous	t	0.0	4.1	20.3	35.0	4.1	35.0
Miscell. Items	t	0.0	23.5	20.8	20.8	23.5	20.8
Special Personnel	t	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Water Ballast	t	0.0	315.6	315.6	315.6	177.1	177.1
Solid Ballast	t	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
Deadweight	t	52.0	1145.5	953.3	803.4	695.0	352.9
Lightweight	t	2116.1	2116.1	2116.1	2116.1	2116.1	2116.1
Displacement	t	2168.1	3261.6	3069.4	2919.5	2811.0	2469.0
Draught (moulded)							
Mean Draught	m	3.221	4.400	4.208	4.059	3.975	3.632
Fore Draught	m	2.097	3.781	3.581	3.438	3.504	3.169
Aft Draught	m	4.345	5.019	4.835	4.681	4.445	4.095
Draught at LCF	m	3.424	4.499	4.307	4.157	4.047	3.700
Trim and Stability							
Trim	m	-2.248	-1.237	-1.254	-1.242	-0.941	-0.927
Heel	deg	-0.3	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
LCB	m	31.179	32.203	32.350	32.521	33.218	33.737
LCF	m	28.621	29.361	29.427	29.471	29.553	29.860
LCG	m	31.297	32.246	32.397	32.571	33.254	33.778
MCT	tm/cm	49.74	54.32	54.53	54.44	53.80	52.40
TCP	t/cm	9.65	10.07	10.05	10.03	10.00	9.90
Max GZ	m	1.57	1.72	1.70	1.66	1.86	1.72
KM	m	9.977	8.354	8.547	8.713	8.812	9.197
KG	m	5.723	5.086	5.136	5.258	5.074	5.276
GMo	m	4.254	3.268	3.412	3.455	3.739	3.921
GMCorr.	m	0.000	0.108	0.132	0.126	0.125	0.149
GM	m	4.254	3.160	3.279	3.329	3.613	3.772
GMlim(Intact&Damage)	m	-	1.420	1.408	1.574	2.006	3.772
Stability Status		-	OK	OK	OK	OK	OK
Longitudinal Strength							
Max Shear Force	t	-191	309	277	250	-334	-274
Relative Shear Force	%	31.8	51.4	46.2	41.7	55.7	45.7
Max Bending Moment	tm	3685	5799	5549	5354	5798	5290
Relative Bending Moment	%	24.1	37.9	36.3	35.0	37.9	34.6

6.3. Ευστάθεια μετά από βλάβη

Απότοκο της μελέτης ευστάθειας μετά από βλάβη, αποτελεί ο προσδιορισμός της καμπύλης περιορισμού του GM υπό το πρίσμα της βεβλαμμένης ευστάθειας, ώστε, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη καμπύλη της άθικτης ευστάθειας, να καθοριστεί η περιοχή του GM για ασφαλή πλεύση του πλοίου από άποψη ευστάθειας.

Σύμφωνα με τον SPS Code 2008 (MSC/Res.266(84)), η μελέτη της βεβλαμμένης ευστάθειας βασίζεται στο κεφάλαιο II της SOLAS, όπου η μελέτη προσεγγίζεται πιθανοθεωρητικά, με το πλοίο να θεωρείται επιβατηγό, με επιβάτες το επιστημονικό προσωπικό (special personnel).

Πιο συγκεκριμένα, η πιθανοθεωρητική αυτή προσέγγιση, χρησιμοποιεί την πιθανότητα επιβίωσης μετά από σύγκρουση, ως μέτρο ασφάλειας των πλοίων σε βεβλαμμένη κατάσταση. Αυτή η πιθανότητα αναφέρεται στους κανονισμούς ως "επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης A" (Attained Subdivision Index).

Η φιλοσοφία πίσω από την πιθανότητα είναι ότι, δύο διαφορετικά πλοία με τον ίδιο δείκτη A, έχουν το ίδιο επίπεδο ασφάλειας έναντι βύθισης ή ανατροπής, σε περίπτωση κατάκλισης στεγανών διαμερισμάτων που προκλήθηκε λόγω σύγκρουσης.

Για να ικανοποιεί το πλοίο τα κριτήρια βεβλαμμένης ευστάθειας, θα πρέπει ο δείκτης A να είναι τουλάχιστον ίσος με τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης R.

Σημειώνεται επίσης, ότι δεν γίνεται μελέτη του Regulation 9 της SOLAS, που αφορά τις περιοχές του πλοίου με έλλειψη διπύθμενου, καθώς το υπό μελέτη πλοίο διαθέτει παντού διπύθμενο, συνεπώς δεν εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία.

6.3.1. Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A

Η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου μετά από σύγκρουση, εκφρασμένη μέσα από τον επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A, υπολογίζεται ως άθροισμα του γινομένου της πιθανότητας κατάκλισης καθενός διαμερίσματος ή κάθε ομάδας γειτονικών διαμερισμάτων, επί την αντίστοιχη πιθανότητα επιβίωσης από την εκάστοτε κατάκλιση.

Καθώς η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου εξαρτάται από την κατάσταση φόρτωσης την στιγμή της πρόσκρουσης, ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης πρέπει να βασίζεται σε αντιπροσωπευτικά αρχικά βυθίσματα.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, τα βυθίσματα αυτά είναι τα εξής:

1. Deepest Subdivision Draught (DS): είναι η ίσαλος γραμμή, με μηδενική διαγωγή αρχικά, που αντιστοιχεί στην γραμμή φόρτωσης θέρους του πλοίου, δηλαδή σε βύθισμα 4.4 μέτρα.
2. Light Service Draught (DL): είναι το μικρότερο δυνατό βύθισμα που το πλοίο μπορεί να

έχει σε υπηρεσιακή κατάσταση φόρτωσης, συνυπολογίζοντας το έρμα που χρειάζεται για την επίτευξη του απαιτούμενου βυθίσματος και ευστάθειας.

Στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, η DL αντιστοιχεί στη κατάσταση «Ballast Arrival 10% Consumables–No Cargo» από τις προαναφερθείσες φορτώσεις. Η διαγωγή της DL λαμβάνεται επίσης από αυτή τη κατάσταση και ισούται με $trim_{DL} = -0.927$ m.

3. Partial Subdivision Draught (DP): η ίσαλος γραμμή σε βύθισμα που προκύπτει από την DL, προσαυξημένο κατά 60% της διαφοράς βυθίσματος μεταξύ των DL και DS, ενώ η διαγωγή λαμβάνεται κατ' αντιστοιχία με αυτή της DS.

Ο Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A, σύμφωνα με της ανωτέρω συνθήκες φόρτωσης, θα σταθμιστεί ως εξής:

$$A = 0.4 A_s + 0.4 A_p + 0.2 A_l$$

όπου οι δείκτες s, p και l αντιστοιχούν στα βυθίσματα DS, DP και DL αντίστοιχα. Οι συντελεστές των φορτώσεων δείχνουν πώς σταθμίζεται ο δείκτης A από κάθε κατάσταση φόρτωσης, με την DL να έχει την λιγότερη επιρροή.

Συνεπώς, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, ο προσδιορισμός του επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης (Attained Subdivision Index) A, για κάθε μια από τις καταστάσεις φόρτωσης, υπολογίζεται ως:

$$A = \sum p_i s_i$$

Όπου:

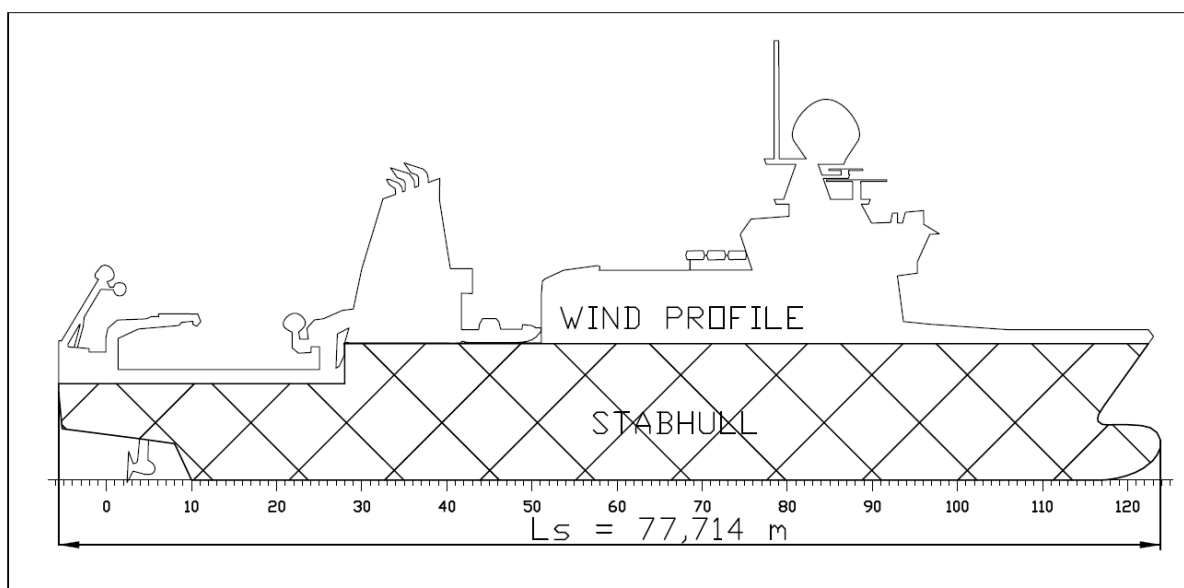
- P_i : η πιθανότητα σεναρίου βλάβης στην διαμήκη ζώνη i, που αντιστοιχεί σε κατάκλιση ενός ή περισσότερων γειτονικών διαμερισμάτων.
- S_i η πιθανότητα ότι η ευστάθεια, μετά και κατά την διάρκεια του σεναρίου κατάκλισης i, θα είναι επαρκής για να αποφευχθεί η ανατροπή είτε η επικίνδυνη κλίση καθ' όλα τα στάδια της κατάκλισης.

Σε έναν υπό κατάκλιση χώρο, ο όγκος του νερού που θα εισχωρήσει εξαρτάται από την διαχωριτότητα του χώρου αυτού. Σε χώρους αποθήκευσης (stores), θεωρείται ότι κατακλύζεται το 60% του διαθέσιμου όγκου, σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις το 85%, ενώ σε όλους τους υπόλοιπους χώρους του πλοίου, κατακλύζεται το 95% του διαθέσιμου όγκου.

6.3.2. Εύρος επιτρεπόμενης Διαγωγής

Η καμπύλη περιορισμού του GM, που παράγεται από την μελέτη στις αρχικές συνθήκες, ισχύει για διαγωγές εντός του εύρους του $\pm 0,5\%$ του μήκους υποδιαίρεσης L_s .

Το μήκος υποδιαίρεσης L_s (Subdivision Length) εξαρτάται από την γεωμετρία του υδατοστεγούς μέρους του πλοίου (Stabhull) και ο ορισμός του διαφέρει ανά περίπτωση. Στο υπό μελέτη πλοίο, το μήκος υποδιαίρεσης ορίζεται στο παρακάτω διάγραμμα, στο οποίο παρουσιάζεται το υδατοστεγές (Stabhull), όσο και το συνολικό προφίλ του πλοίου, σύμφωνα με το οποίο προσδιορίζεται το μήκος αυτό ως $L_s = 77.714\text{ m}$.



Σχήμα 6. 6: Μήκους υποδιαίρεσης L_s

Συνεπώς, το εύρος της διαγωγής στο οποίο ισχύει η καμπύλη περιορισμού του GM, λαμβάνεται ως $\pm 0,5\% L_s = \pm 0.005 \cdot 77,714 = \pm 0,388\text{ m}$ από την διαγωγή της DS. Η διαγωγή αυτή αναφέρεται στο ολικό μήκος του πλοίου, επομένως γίνεται αναγωγή στο μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP} . Τελικά, προκύπτει καλυπτόμενο εύρος διαγωγής ίσο με $\pm 0,350\text{ m}$ για την καμπύλη του GM.

Η περιοχή της διαγωγής στις καταστάσεις λειτουργίας βρίσκεται κοντά στο 1.30 μέτρα έμπρυμνα. Επομένως, για να καλυφθεί η περιοχή λειτουργίας του trim, θα χρειαστούν ακόμα 2 καμπύλες περιορισμού του GM, με τις διαγωγές των οποίων να ισαπέχουν 1% του L_s , δηλαδή 0,7 m έμπρυμνα, ώστε να επικαλύπτεται το εύρος δράσης μεταξύ των καμπυλών.

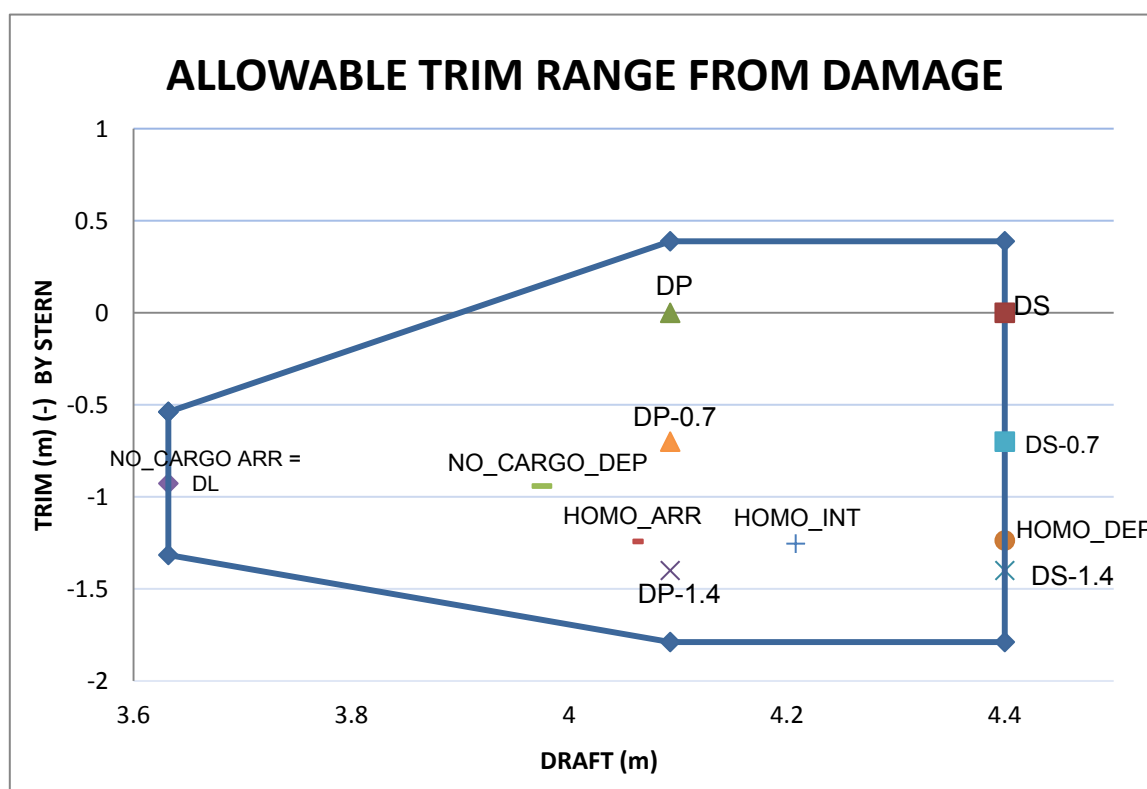
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η πιθανοθεωρητική μελέτη βεβλαμένης ευστάθειας θα πραγματοποιηθεί για 3 σετ αρχικών καταστάσεων φόρτωσης, όπου οι καταστάσεις με μερικό και μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης (DP, DS), εκτός από την ισοβύθιστη κατάσταση, θα έχουν έμπρυμνη διαγωγή -0.7 & -1.4 μέτρα. Η κατάσταση Light Service (DL) είναι ίδια

για όλα τα σετ διαγωγών και αντιστοιχεί στη Ballast Arrival 10% Consumables–No Cargo. Παρακάτω, παρουσιάζονται περιληπτικά τα υδροστατικά στοιχεία για κάθε αρχική ίσαλο πλεύσης, για όλα τα σετ διαγωγών:

Πίνακας 6. 2: Χαρακτηριστικά πλεύσης αρχικών συνθηκών DL, DP & DS

INITIAL CONDITIONS		No Cargo Arr	TRIM 0			TRIM = -0.7 = 1 % Ls		TRIM = -1.4 = 2 % Ls	
		DL	DP	DS	DP-0.7	DS-0.7	DP-1.4	DS-1.4	
T	m	3.632	4.093	4.400	4.093	4.400	4.093	4.400	
TRIM	m	-0.927	0.000	0.000	-0.700	-0.700	-1.400	-1.400	
HEEL	deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
DISPL.	t	2468.7	2857.1	3162.1	2910.5	3217.7	2965.5	3274.7	
LCB	m	33.737	34.884	34.379	33.537	33.139	32.183	31.920	
TCB	m	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
VCB	m	2.158	2.383	2.563	2.421	2.601	2.473	2.651	
KMT	m	9.197	8.610	8.399	8.681	8.387	8.668	8.341	

Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται η περιοχή επιτρεπόμενης διαγωγής, τα όρια της οποίας απέχουν 0,5% Ls = 0.350 m από τις καταστάσεις με διαγωγή 0 & -1.4 m. Η περιοχή αυτή, καθώς επίσης και τα σημεία των καταστάσεων φόρτωσης της άθικτης, όσο και της βεβλαμμένης ευστάθειας, περιγράφονται στο παρακάτω παραστατικό διάγραμμα.



Σχήμα 6. 7: Επιτρεπόμενη περιοχή διαγωγής από damage stability

6.3.3. Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R

Η μελέτη της βεβλαμμένης ευστάθειας απαιτεί ελάχιστη τιμή A για ένα συγκεκριμένο πλοίο. Αυτή η ελάχιστη τιμή αναφέρεται ως «απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης R» (Required Subdivision Index).

Ο δείκτης R για επιβατηγά πλοία, σύμφωνα με την SOLAS 2009 (MSC.421(98) Reg. 6.2.3), ορίζεται με τον εξής τύπο:

$$R_{PASS} = 1 - \frac{5000}{L_S + 2.5N + 15225}$$

Όπου:

- $L_S = 77,714$ m, το μήκος υποδιαίρεσης, όπως αυτό αναλύθηκε παραπάνω
- $N_1 = 0$, ο αριθμός των ατόμων για τους οποίους παρέχονται σωστικές λέμβοι
- $N_2 = 50$, ο αριθμός των ατόμων (συνυπολογίζοντας αξιωματικούς και πλήρωμα), οι οποίοι επιτρέπεται να επιβαίνουν στο πλοίο, επιπρόσθετα του N_1

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει **$R_{PASS} = 0.6785$ (SOLAS 2009).**

Ο δείκτης R για επιβατηγά πλοία, σύμφωνα με την SOLAS 2020 (MSC.421(98) Reg. 6.2.3), ορίζεται ως εξής:

Πίνακας 6. 3: Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R για επιβατηγά κατά SOLAS 2020

<i>Persons on board</i>	<i>R</i>
$N < 400$	$R = 0.722$
$400 \leq N \leq 1,350$	$R = N / 7,580 + 0.66923$
$1,350 < N \leq 6,000$	$R = 0.0369 \times \ln(N + 89.048) + 0.579$
$N > 6,000$	$R = 1 - (852.5 + 0.03875 \times N) / (N + 5,000)$

Λαμβάνοντας υπόψιν τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει **$R_{PASS} = 0.722$ (SOLAS 2020).**

Σύμφωνα με τον SPS Code 2008 (MSC.266(84) Ch.2 2.2), για πλοία ειδικού σκοπού με μέγιστο αριθμό επιβαινόντων τους 60, όπως και στην περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης R λαμβάνεται ως το 80 % του αντίστοιχου δείκτη των επιβατηγών πλοίων.

$$R_{SPS} = 0.8 R_{PASS} \text{ (SPS Code 2008)}$$

Συνεπώς, λαμβάνεται ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης R συναρτήσει του αντίστοιχου δείκτη για τα επιβατιγά, σύμφωνα με την SOLAS 2009, αλλά και την SOLAS 2020, ως εξής:

$$R_{SPS} = 0.54281 \text{ (SOLAS 2009)}$$

$$R_{SPS} = 0.57760 \text{ (SOLAS 2020)}$$

Ο απαιτούμενος δείκτης R που προκύπτει από την SOLAS 2020 είναι πιο αυστηρός από τον αντίστοιχο δείκτη της SOLAS 2009. Συνεπώς, για να είναι τα αποτελέσματα της μελέτης από το safe side, στους υπολογισμούς θα ληφθεί ο απαιτούμενος δείκτης R σύμφωνα με την SOLAS 2020, δηλαδή:

$$R_{SPS} = 0.57760$$

Για να θεωρείται το πλοίο ασφαλές από άποψη ευστάθειας μετά από βλάβη, ο συνολικός δείκτης A θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο R, καθώς και ο δείκτης κάθε κατάστασης ξεχωριστά, να είναι τουλάχιστον ίσος από το 90% του απαιτούμενου R.

$$A > R_{SPS}$$

$$A_{s,p,l} > 0.9 R_{SPS}$$

Όπου s, p, l αντιπροσωπεύουν τις αρχικές καταστάσεις DS, DP & DL αντίστοιχα.

6.3.4. Αποτελέσματα Nara

Η πιθανοθεωρητική μελέτη βεβλαμμένης ευστάθειας πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Probabilistic Damage στο Nara Manager. Εκεί έγινε η εισαγωγή όλων των δεδομένων που απαιτούνται για την μελέτη. Τα δεδομένα αυτά επηρεάζουν την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου στα σενάρια κατάκλισης και είναι τα εξής:

- A Class Bulkheads: Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2, σε περίπτωση πυρκαγιάς, αποτρέπουν την μετάδοσή της για 60 λεπτά το πολύ, χωρίζοντας το πλοίο σε αντιπυρικές ζώνες (π.χ. χώροι κλιμακοστασίων). Σε περίπτωση βλάβης, τα A Class Bulkheads αποτρέπουν την κατάκλιση των γειτονικών χώρων για ένα χρονικό διάστημα, μέχρι την κατάρρευσή τους, οδηγώντας σε διαδοχική κατάκλιση. Ο προσδιορισμός τους πρέπει να γίνει προσεκτικά, καθώς μελετώνται και τα ενδιάμεσα στάδια κατάκλισης, με τρομερή επίδραση στον υπολογιστικό χρόνο του προγράμματος. Γι' αυτό τον λόγο, δεν προσδιορίστηκαν τα A-Bulkheads του Main Dk ως τα πλέον ακίνδυνα, καθώς έχουν μικρή πιθανότητα κατάκλισης. Οι χώροι αυτοί του Main Dk θεωρείται ότι συνδέονται μεταξύ τους και το κατακλισθέν νερό περνάει ελεύθερα από τον έναν χώρο στον άλλο.

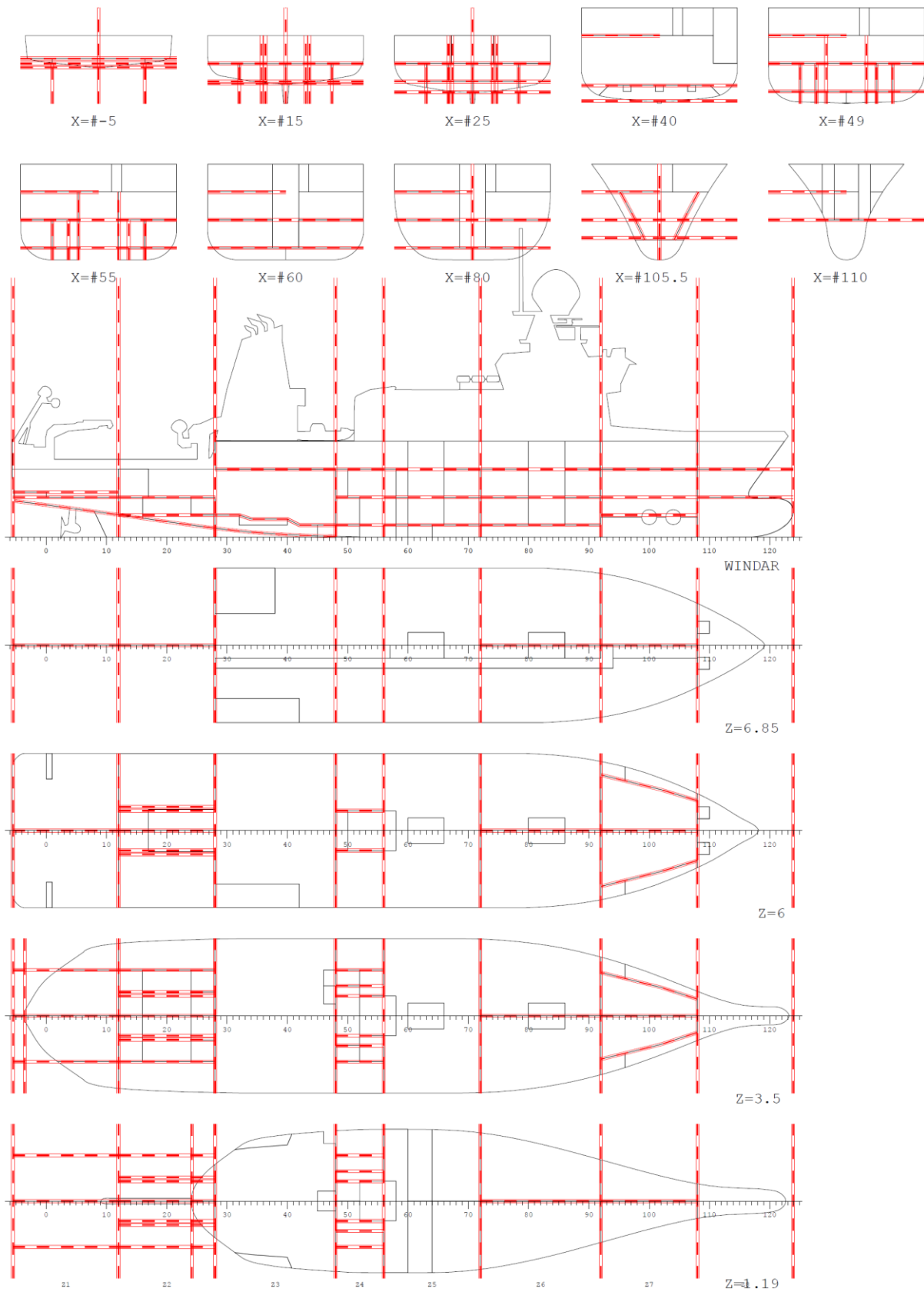
- Τα εξαεριστικά των δεξαμενών (air vents) αποτελούν ενδεχόμενα σημεία κατάκλισης των δεξαμενών σε μεγάλες κλίσεις. Τα εξαεριστικά είναι καιροστεγή (weathertight) ανοίγματα και θεωρήθηκε ότι κάθε δεξαμενή έχει δύο, ώστε να είμαστε από το safe side. Τοποθετήθηκαν πρύμα και πώρα της εκάστοτε δεξαμενής με την οποία συνδέονται και 0,76 μέτρα πάνω το κατάστρωμα εξάλων, όπως ορίζει ο κανονισμός.
- Οι θέσεις των υδατοστεγών θυρών, που σε αντίθεση με τα A Bulkheads, δεν επιτρέπουν την διαδοχική κατάκλιση.
- Η διάταξη διαφυγής των επιβατών που περιλαμβάνει τις θέσεις των master stations, καθώς και τις οριζόντιες και κάθετες εξόδους του πλοίου. Επίσης, προσδιορίζονται οι ενδεχόμενες διαδρομές των επιστημόνων-επιβατών για να φτάσουν στα master stations. Σε περίπτωση σύγκρουσης, οι επιβάτες στην διαδρομή διαφυγής, θα πρέπει να μην διασχίσουν χώρο υπό κατάκλιση.
- Οι cross-flooding δεξαμενές, δηλαδή οι συμμετρικές, ως προς την CL, δεξαμενές έρματος (PS & SB), που είναι συνδεδεμένες με σωλήνα. Σκοπός του cross-flooding είναι, σε περίπτωση κατάκλισης της μίας δεξαμενής, να πλημμυρίσει και η συμμετρική της, ώστε να περιοριστούν οι εγκάρσιες ροπές που οδηγούν σε μεγάλες κλίσεις. Στη περίπτωση του υπό μελέτη πλοίου, δεν κρίθηκε αναγκαία η χρήση τους, καθώς το πλοίο πληρούσε με σχετική ευκολία τα κριτήρια του damage.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα για την πιθανοθεωρητική μελέτη της βεβλαμμένης ευστάθειας παρουσιάζονται στο [Παράρτημα \(H\)](#): Μελέτη Ευστάθειας μετά από Βλάβη, όπως αυτά ορίστηκαν στο Napa.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στον προσδιορισμό της υδατοστεγούς διάταξης του πλοίου, καθώς από αυτή εξαρτώνται και διαμορφώνονται, αυτομάτως από το πρόγραμμα, τα σενάρια κατάκλισης των χώρων (damage cases). Όσο πιο αναλυτική είναι η υδατοστεγής διάταξη, τόσο περισσότερα τα σενάρια. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται και μεγαλύτερο επιτευχθέντα δείκτη A, καθώς λειτουργεί αθροιστικά ως προς τα σενάρια κατάκλισης.

Σε αυτό το σημείο να επισημανθεί, ότι η μελέτη έλαβε υπόψιν σενάρια κατάκλισης μέχρι τριών (3) συνεχόμενων διαμήκων ζωνών, καθώς, η συνεισφορά στον επιτευχθέντα δείκτη A των σεναρίων παραπάνω των τριών ζωνών, δεν αντισταθμίζει το υπολογιστικό κόστος που επιφέρει η αύξηση των σεναρίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται η υδατοστεγής διάταξη του πλοίου, όπως αυτή ορίστηκε στο πρόγραμμα Nara:



Σχήμα 6. 8: Υδατοστεγής διάταξη (Subdivision) πλοίου

6.3.5. Καμπύλη περιορισμού GM (Damage Stability)

Ξεκινώντας την μελέτη, στις αρχικές καταστάσεις φόρτωσης DP & DS, το GM το οποίο επιλέγεται, είναι αυτό που προκύπτει από την καμπύλη περιορισμού του GM από το Intact Stability, ως το κατώτερο όριο του GM, το οποίο μπορεί να έχει το πλοίο στην άθικτη κατάσταση, ώστε να πληρούνται τα κριτήρια και να θεωρείται το πλοίο ασφαλές.

Η κατάσταση DL δεν αλλάζει, καθώς είναι η μόνη που αντιστοιχεί σε κατάσταση από το Trim & Stability (Ballast Arrival 10% Consumables–No Cargo) και αντιπροσωπεύει την οριακή εν λειτουργία κατάσταση φόρτωσης του πλοίου, με το μικρότερο δυνατό υπηρεσιακό βύθισμα. Συνεπώς, η διαγωγή και το GM της DL, παραμένουν σταθερά και αντιστοιχούν στην κατάσταση αυτή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι αρχικές καταστάσεις DL, DP & DS της πρώτης δοκιμής, για την μηδενική διαγωγή, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6. 4: Αρχικές καταστάσεις DL, DP & DS στην πρώτη δοκιμή

	DL	DP	DS
Draft (m)	3.632	4.093	4.400
Trim (m)	-0.927	0.000	0.000
GM (m)	3.772	1.28	0.978

Παρατηρείται, ότι ο επιτευχθείς δείκτης A σε αυτή την περίπτωση, είναι κατά πολύ μικρότερος από τον απαιτούμενο R (0,4739 έναντι 0.57760).

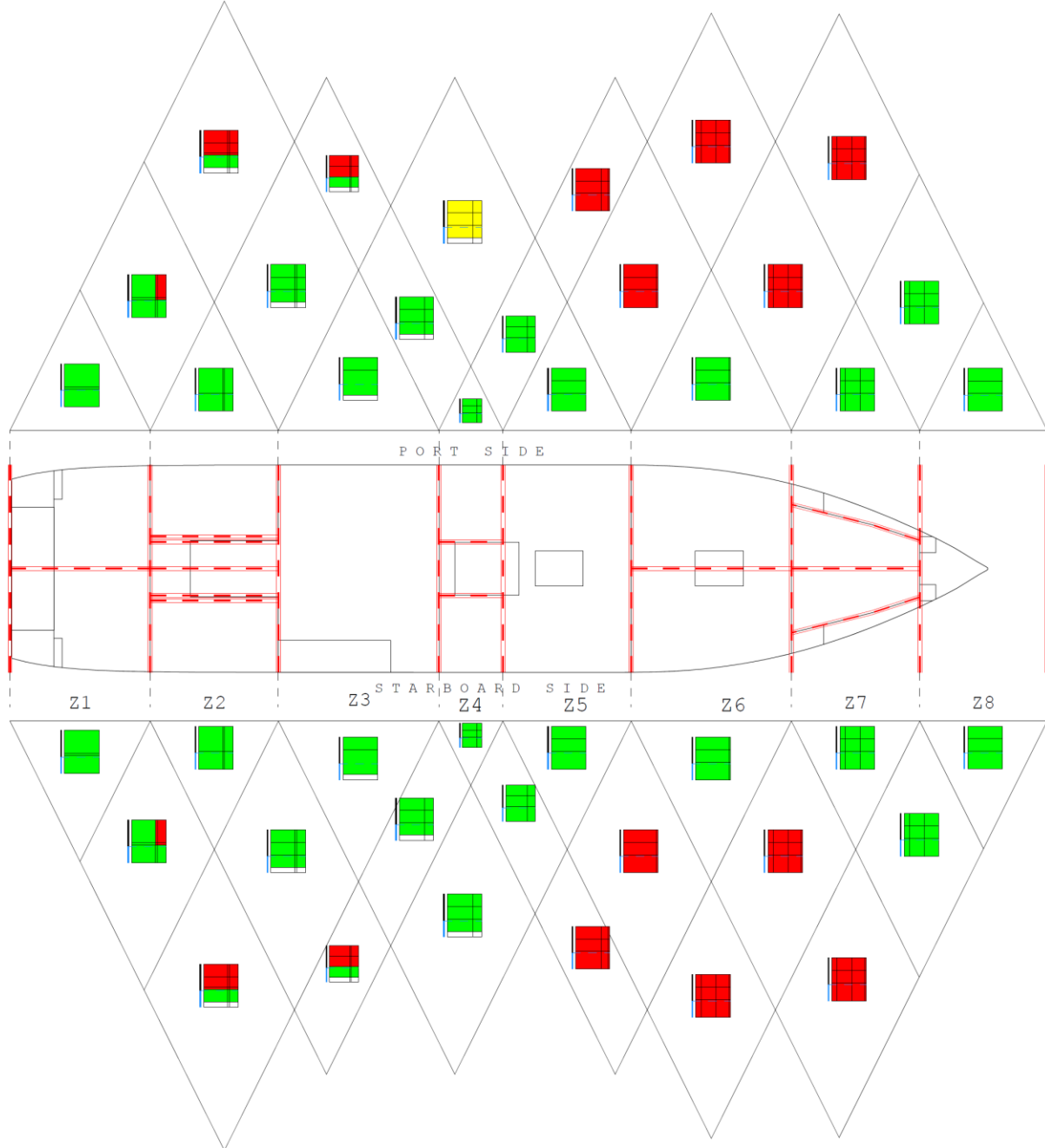
Στην συνέχεια, γίνονται διάφορες δοκιμές, όπου σταδιακά αυξάνεται το μετακεντρικό ύψος GM στις καταστάσεις DP & DS. Η αύξηση αυτή του GM, οδηγεί στη βαθμιαία αύξηση του επιτευχθέντα δείκτη A. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ο δείκτης A να προσεγγίσει και τελικά να ξεπεράσει οριακά τον απαιτούμενο δείκτη R.

Η αύξηση του δείκτη A οφείλεται στην μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης S του πλοίου, με την αύξηση του GM (και την συνεπαγόμενη μείωση του KG) των αρχικών καταστάσεων, καθώς το πλοίο γίνεται πιο ευσταθές.

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά το διάγραμμα του δείκτη επιβίωσης S για την αρχική κατάσταση DL με $GM_{DL} = 3.772 \text{ m}$ & trim $-0,927 \text{ m}$, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα διαμορφωμένα τρίγωνα αντιπροσωπεύουν κατάκλιση της αντίστοιχης διαμήκους ζώνης, ενώ τα τετράπλευρα (ρόμβοι), κατάκλιση 2 & 3 γειτονικών ζωνών. Το πράσινο χρώμα, αντιπροσωπεύει μεγάλη πιθανότητα επιβίωσης σε κατάκλιση στην αντίστοιχη περιοχή, σε αντίθεση με το κόκκινο, που η πιθανότητα αυτή είναι μικρή.

Τα διαγράμματα για όλες τις καταστάσεις και όλα τα σετ διαγωγών βρίσκονται στο [Παράρτημα \(H\)](#) που αφορά την ευστάθεια μετά από βλάβη.

RESULT TABLE:	TAB*SDDSDIRES2-TR-1.4	Partial index (SB):	0.81500
INITIAL CONDITION:	DL	Partial index (PS):	0.81467
DRAUGHT:	3.632	Contribution to A (PS):	0.08147
GM:	3.772	Contribution to A (SB):	0.08150



Σχήμα 6. 9: Δείκτης επιβίωσης S 3 ζωνών στην κατάσταση DL

Η τελική καμπύλη περιορισμού του GM, προσδιορίζεται από τις τιμές του GM των αρχικών συνθηκών, για τις οποίες, ο επιτευχθείς δείκτης A είναι οριακά υψηλότερος από τον απαιτούμενο, καθώς και για κάθε κατάσταση ξεχωριστά, να επιτυγχάνεται τουλάχιστόν το 0,9 R στον δείκτη A.

Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της μελέτης και για τα τρία σετ διαγωγών για τον δείκτη A, όπου και διαπιστώνεται ότι είναι κατά περίπου 0.02 μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο R και στις τρεις περιπτώσεις ($R_{SPS} = 0.57760$).

Πίνακας 6. 5: Αποτελέσματα επιτευχθέντα δείκτη A για τα τρία σετ διαγωγών

Initial Conditions	Draft (m)	Trim (m)	GM (m)	A/R	A	A*Wcoef	Wcoef
TRIM 0 m (EVEN KEEL)							
DL	3.632	-0.927	3.772	1.41	0.81483	0.16297	0.2
DP	4.093	0.000	1.400	0.97	0.5604	0.22416	0.4
DS	4.400	0.000	1.420	0.91	0.52624	0.2105	0.4
TRIM 0.0 m : Attained Subdivision Index A =						0.59762	> R ok
TRIM -0.7 (AFT)							
DL	3.632	-0.927	3.772	1.41	0.81483	0.16297	0.2
DP-0.7	4.093	-0.7	1.4	0.93	0.53871	0.21548	0.4
DS-0.7	4.4	-0.7	1.42	0.99	0.57287	0.22915	0.4
TRIM -0.7 m : Attained Subdivision Index A =						0.60760	> R ok
TRIM -1.4 (AFT)							
DL	3.632	-0.927	3.772	1.41	0.81483	0.16297	0.2
DP-1.4	4.093	-1.4	1.4	0.93	0.53777	0.21511	0.4
DS-1.4	4.4	-1.4	1.42	0.94	0.54472	0.21789	0.4
TRIM -1.4 m : Attained Subdivision Index A =						0.59597	> R ok

Παρατηρείται ότι, σε όλες τις περιπτώσεις ο λόγος A/R είναι μεγαλύτερος του 0.9, οπότε ικανοποιείται και ο περιορισμός αυτός.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της μελέτης και για τα τρία σετ διαγωγών για τον δείκτη A, ως προς τις ζώνες κατάκλισης. Από τον πίνακα αυτό, παρατηρείται η εκθετική μείωση του μεριδίου που κάθε ζώνη σεναρίων κατάκλισης προσφέρει στον δείκτη A, με την αύξηση των ζωνών αυτών.

Το γεγονός αυτό εξηγείται από το ότι, η πιθανότητα κατάκλισης και η πιθανότητα επιβίωσης μειώνονται εκθετικά με την αύξηση των ζωνών κατάκλισης. Συνεπώς, το ίδιο συμβαίνει και με τον δείκτη A.

Πίνακας 6. 6: Ανάλυση δείκτη A ανά ζώνες κατάκλισης

Attained Subdivision Index A			
DAMAGED ZONES	Trim 0.0 m	Trim -0.7 m	Trim -1.4 m
1-ZONE DAMAGES	0.49922	0.50926	0.49826
2-ZONE DAMAGES	0.09413	0.09407	0.09343
3-ZONE DAMAGES	0.00428	0.00428	0.00428
A- INDEX TOTAL	0.59762	0.6076	0.59597

Καθώς τα αποτελέσματα για τα 3 σετ διαγωγών είναι πολύ κοντά, χρησιμοποιούνται σε όλα τα trim τα ίδια GM στις αντίστοιχες αρχικές καταστάσεις, με αποτέλεσμα οι τρεις καμπύλες να συμπίπτουν. Έτσι διαμορφώνεται μόνο μια καμπύλη περιορισμού του GM για όλο το επιτρεπόμενο εύρος των διαγωγών.

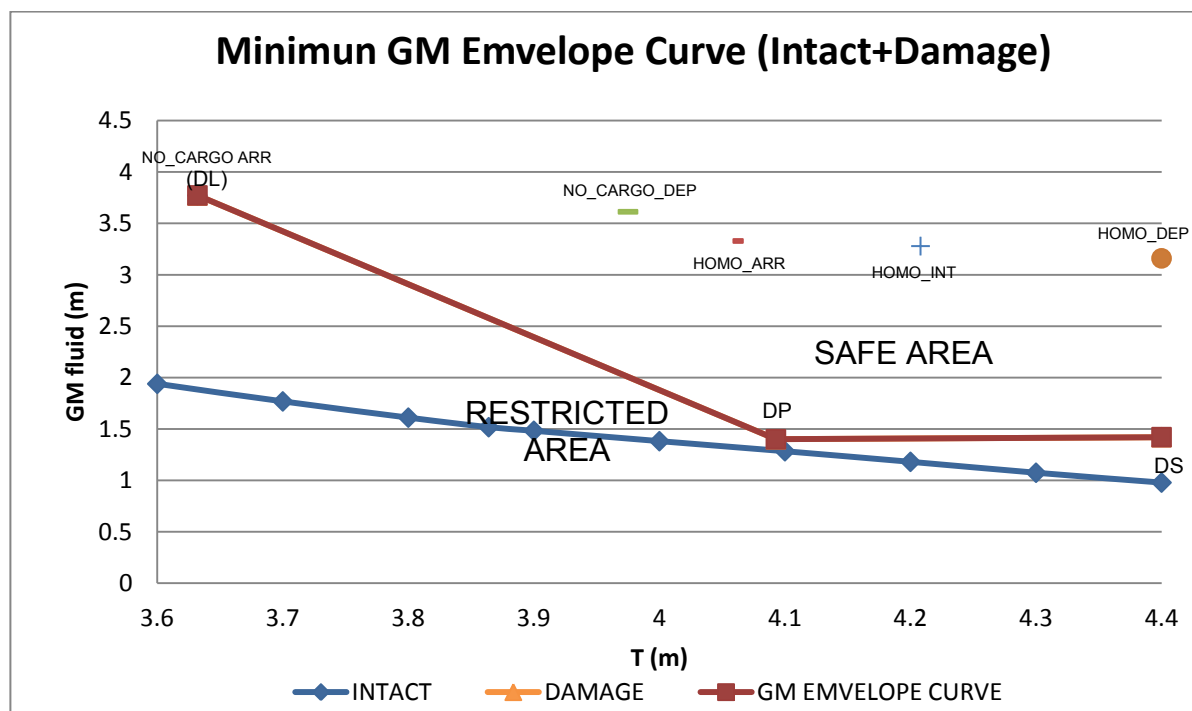
Παρακάτω, παρουσιάζονται τα ζεύγη σημείων που διαμορφώνουν την καμπύλη αυτή. Τα ενδιάμεσα σημεία προκύπτουν με παρεμβολή.

Πίνακας 6. 7: Σημεία περιορισμού του GM από Damage

Condition	Draft (m)	GMmin (m)
DL	3.632	3.772
DP	4.093	1.400
DS	4.400	1.420

Η καμπύλη περιορισμού του GM για την βεβλαμένη ευστάθεια, υπερκαλύπτει την αντίστοιχη καμπύλη της άθικτης ευστάθειας, σε όλο το εύρος βυθισμάτων.

Συνεπώς, η περιοχή ασφαλούς πλευσης, από άποψη ευστάθειας (άθικτης & βεβλαμένης), προσδιορίζεται εξ' ολοκλήρου από την καμπύλη περιορισμού του GM του Damage, η οποία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Επίσης, παρουσιάζονται και οι θέσεις των καταστάσεων φόρτωσης, οι οποίες βρίσκονται στην ασφαλή περιοχή πλευσης.



Σχήμα 6. 10: Καμπύλη περιορισμού του GM (Intact + Damage stability)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ & ΠΡΩΣΗΣ

7.1. Προσδιορισμός Αντίστασης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η προσέγγιση της αντίστασης του πλοίου, μέσω του προγράμματος Υπολογιστικής Υδροδυναμικής CFD Shipflow, στην ταχύτητα υπηρεσίας ($V_s = 12 \text{ kn}$) και στο βύθισμα σχεδίασης ($T_{DES} = 4.4 \text{ m}$). Βάσει της αντίστασης θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια η επιλογή του συστήματος πρόωσης.

7.1.1. Πρόγραμμα CFD Shipflow

Κάθε ροή ρευστού μπορεί να περιγραφεί από τις εξισώσεις Navier-Stokes οι οποίες προέρχονται από τη διατήρηση της ορμής και της ενέργειας, καθώς και την εξίσωση της συνέχειας που περιγράφει την αρχή της διατήρησης της μάζας.

Οι εξισώσεις Navier – Stokes για ασυμπίεστο ρευστό σταθερής συνεκτικότητας είναι:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

Οι εξισώσεις αυτές είναι περίπλοκες ως προς την επίλυσή τους και για το λόγο επιλύονται αριθμητικά με χρήση προγραμμάτων CFD (Computational Fluid Dynamics), όπως το Shipflow, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας.

Η πολυπλοκότητα αυτή αυξάνει δραστικά την υπολογιστικό χρόνο της επίλυσης. Γι' αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι βασιζόμενες σε απλοποιημένες εξισώσεις και παραδοχές.

Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το μοντέλο της δυναμικής Ροής (Potential Flow), σύμφωνα με την οποία το ρευστό θεωρείται ατριβές, ασυμπίεστο, αστρόβιλο και μόνιμο. Με αυτόν τον τρόπο, η εξίσωση της συνέχειας μετατρέπεται στην εξίσωση Laplace ενώ η Navier-Stokes απλοποιείται στην εξίσωση του Bernoulli και το πρόβλημα λύνεται με την αρχή της επαλληλίας και την εφαρμογή διαφόρων οριακών συνθηκών.

Όμως, για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής ακρίβειας των αποτελεσμάτων, ο υπολογισμός της αντίστασης βασίστηκε στις αναλυτικές εξισώσεις Navier – Stokes, ενώ για την περιγραφή της γεωμετρίας της γάστρας, αλλά και της ελεύθερης επιφάνειας του ρευστού, επιλέχθηκε το πυκνό πλέγμα (Fine Grid).

Σε κάθε επανάληψη εφαρμόζονται οι εξισώσεις Navier – Stokes στο σύστημα ελεύθερης επιφάνειας-γάστρας και προσδιορίζεται η δυναμική θέση πλεύσης (βύθισμα - διαγωγή). Στην συνέχεια, το νέο σύστημα επιλύεται ξανά και προσδιορίζεται η καινούργια ελεύθερη επιφάνεια. Τα αποτελέσματά της θα αποτελέσουν την βασική λύση της επόμενης επανάληψης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου προκύψει σύγκλιση αποτελεσμάτων μεταξύ των επαναλήψεων.

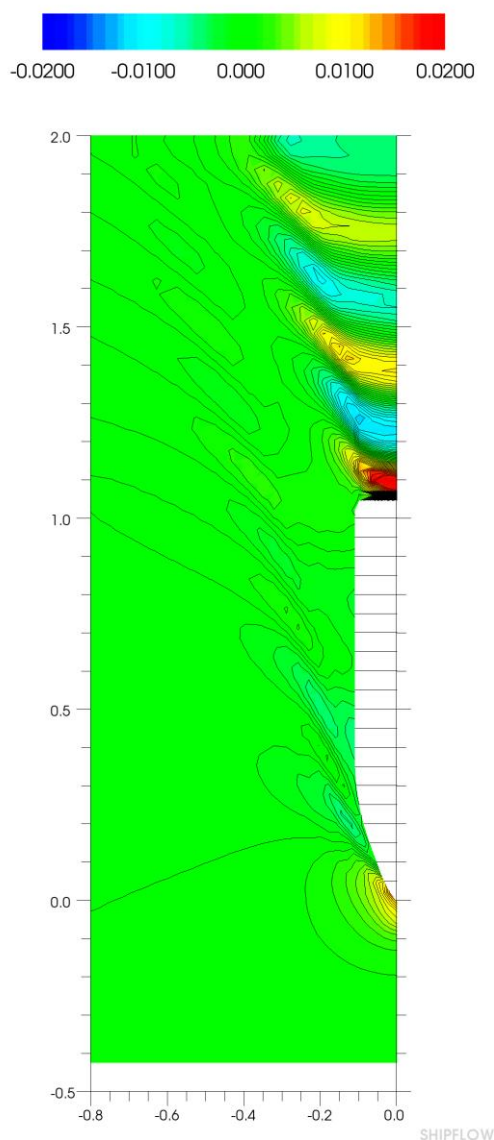
Έπειτα από 18 επαναλήψεις και 6 ώρες υπολογισμών, επετεύχθη σύγκλιση αποτελεσμάτων προσδιορίζοντας έτσι την επαγόμενη αντίσταση του πλοίου σε ταχύτητα υπηρεσίας 12 κόμβων.

Η τελική περιληπτική αναφορά (report) του προγράμματος παρατίθεται στο [παράρτημα Θ](#) της διπλωματικής.

Στην συνέχεια, για εξακρίβωση των αποτελεσμάτων, έγινε επανάληψη της διαδικασίας με πιο αραιό πλέγμα περιγραφής της γεωμετρίας (Medium Grid). Τα αποτελέσματα είχαν πλήρη ταύτιση με αυτά του Fine Grid, επιβεβαιώνοντας την εγκυρότητα των υπολογισμών.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Μουρκογιάνη για την υποστήριξη σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής.

Στο παρακάτω στιγμιότυπο παρουσιάζεται η μορφή της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας (κυματισμοί) στην ταχύτητα υπηρεσίας, όπως ελήφθη από το Shipflow. Στην ταχύτητα αυτή, ο αριθμός Froude λαμβάνει την τιμή: $Fn = V / (L g)^{0.5} = 0.236$.



Σχήμα 7. 1: Διαμόρφωση κυματισμών ελεύθερης επιφάνειας ($Fn = 0.236$)

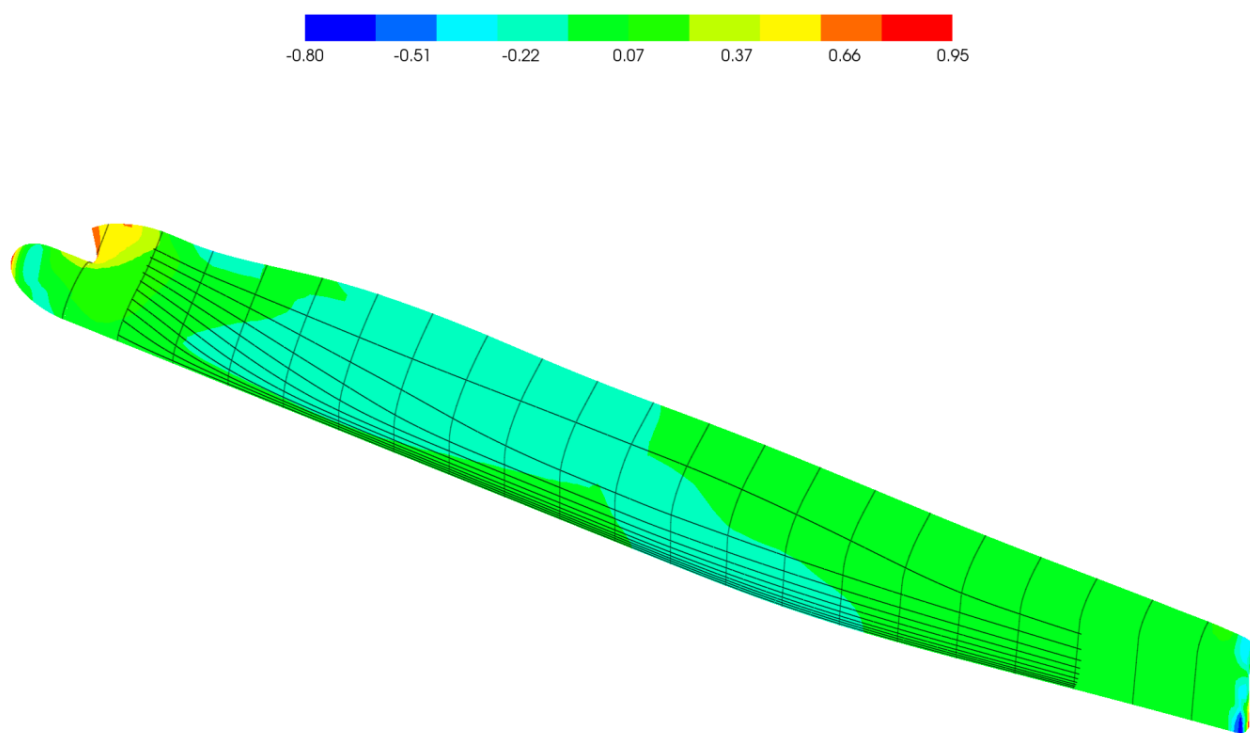
7.1.2 Υπολογισμός Ολικής Αντίστασης R_T

Τα αποτελέσματα του Shipflow, στην ταχύτητα υπηρεσίας ($V_s = 12$ kn) και στο βύθισμα σχεδίασης ($T_{DES} = 4.4$ m), για τον συντελεστή ολικής αντίστασης C_T και η ανάλυσή του ως προς τους επιμέρους συντελεστές αντίστασης (τριβής C_F , πίεσης λόγω συνεκτικότητας (viscus pressure) C_{PV} και κυματισμών C_W), παρατίθενται στο παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7. 1: Ανάλυση συντελεστή αντίστασης C_T

Resistance Coefficients Analysis			
C_F	Frictional resistance coeff.	1.791E-03	34.3%
C_{PV}	Viscous pressure resistance coeff.	2.181E-03	41.8%
C_v	Viscous resistance coeff.	3.972E-03	76.1%
C_w	Wave resistance coeff.	1.245E-03	23.9%
C_T	Total resistance coeff.	5.217E-03	100.0%

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται προοπτικά στον χώρο η κατανομή των πιέσεων στην επιφάνεια της γάστρας.



SHIPFLOW

Σχήμα 7. 2: Κατανομή πιέσεων στην επιφάνεια της γάστρας

Για τον προσδιορισμό της εκάστοτε αντίστασης για το εύρος ταχυτήτων 7 με 14 κόμβων, χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο συντελεστή αντίστασης που προσδιορίστηκε παραπάνω, υπολογίζεται από την σχέση:

$$R = 0.5 \rho C S_c V^2$$

Όπου:

- ρ , το ειδικό βάρος του νερού ($\rho = 1,026 \text{ t/m}^3$)
- S_c , η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας $S_c = 1370 \text{ m}^2$
- V , η ταχύτητα του πλοίου σε m/s

Πίνακας 7. 2: Ανάλυση αντίστασης συναρτήσει της ταχύτητας

Resistance as a function of Speed									
V (kn)		7	8	9	10	11	12	13	14
V (m/s)		3.601	4.116	4.63	5.144	5.659	6.173	6.688	7.202
R _v (kN)	Viscous Resistance	37.44	48.92	61.90	76.40	92.47	110.03	129.15	149.77
R _w (kN)	Wave Resistance	11.35	14.82	18.76	23.15	28.02	33.34	39.14	45.39
R _T (kN)	Total Resistance	48.79	63.74	80.66	99.56	120.49	143.37	168.29	195.15

Σημειώνεται ότι, στον υπολογισμό της αντίστασης συνεκτικότητας, στην βρεχόμενη επιφάνεια προστίθεται η επιφάνεια του skeg. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο μοντέλο της γάστρας στο Shipflow αφαιρέθηκε το skeg, λόγω δυσχέρειας σύγκλησης αποτελεσμάτων. Συνυπολογίζεται μόνο στην αντίσταση συνεκτικότητας καθώς οι κυματισμοί δεν επηρεάζονται από αυτό. Η τελική αντίσταση προσδιορίστηκε ως άθροισμα των 2 συνιστωσών της.

7.1.3. Υπολογισμός Ισχύος Ρυμούλκησης

Εν συνεχεία, για την εύρεση της ισχύος ρυμούλκησης σε ίππους [PS] υπολογίζεται ως εξής :

$$E.H.P. = \frac{R_T \cdot V_s}{75}$$

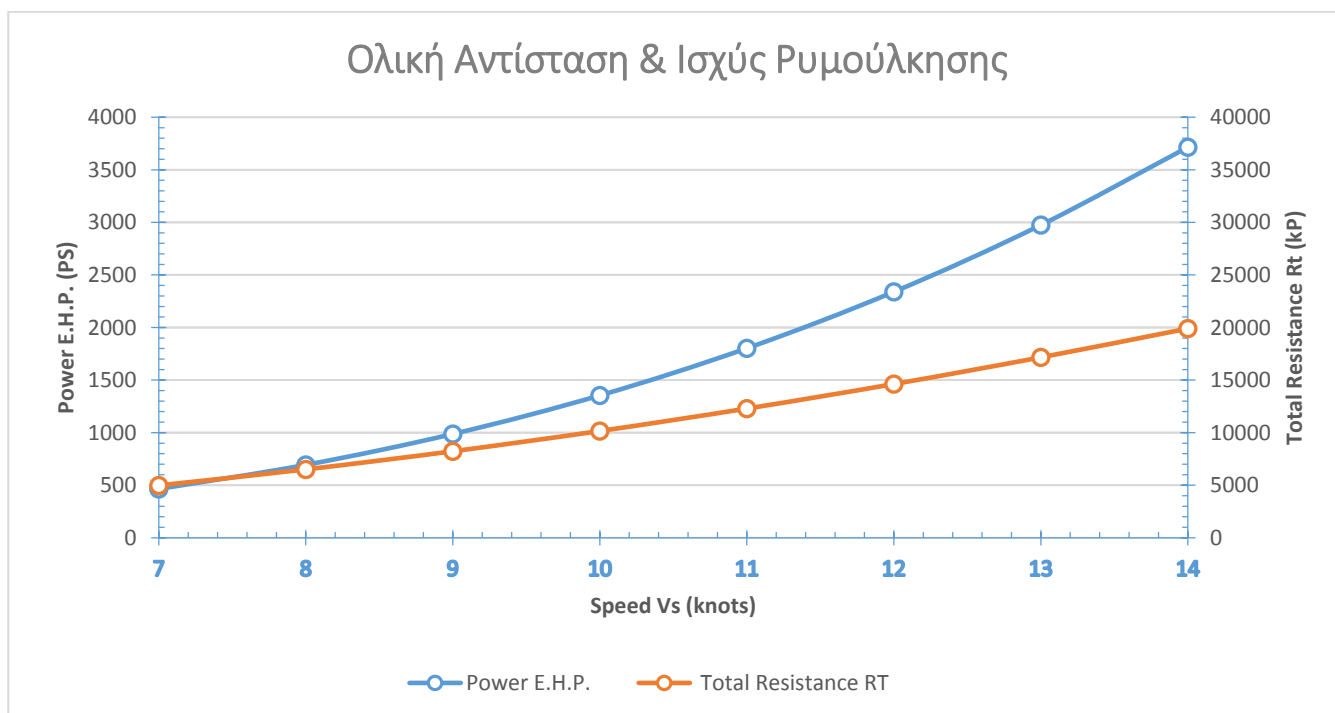
Όπου R_T η συνολική αντίσταση του πλοίου σε kp ($1 \text{ kp} = 9.806 \text{ N}$)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της ολικής αντιστάσεως και της ισχύος ρυμούλκησης τόσο σε ίππους PS, όσο και σε kW ($1 \text{ PS} = 0.7355 \text{ kW}$), για εύρος ταχυτήτων 7 με 14 κόμβους:

Πίνακας 7. 3: Αντίσταση και Ισχύς Ρυμούλκησης συναρτήσει της ταχύτητας

Ship speed		Total resistance		Power	
V [kn]	V [m/s]	RT [kN]	RT [kP]	EHP [PS]	EHP [kW]
7	3.601	48.8	4975	464.32	341.5
8	4.116	63.7	6500	693.29	509.9
9	4.63	80.7	8224	986.92	725.9
10	5.144	99.6	10152	1353.56	995.5
11	5.659	120.5	12286	1801.98	1325.4
12	6.173	143.4	14619	2339.10	1720.4
13	6.688	168.3	17161	2974.49	2187.7
14	7.202	195.2	19900	3714.57	2732.1

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται η ολική αντίσταση καθώς και η απαιτούμενη ισχύς ρυμούλκησης ως συνάρτηση της ταχύτητας



Σχήμα 7. 3: Αντίσταση και Ισχύς Ρυμούλκησης συναρτήσει της ταχύτητας

7.2 Επιλογή Προωστήριας Εγκατάστασης

Με υπολογισμένη την αντίσταση του πλοίου στην ταχύτητα υπηρεσίας, η μελέτη εισέρχεται στο στάδιο της επιλογής της εγκατάστασης πρόωσης, η οποία βασίζεται στην ηλεκτροπρόωση.

Το σύστημα πρόωσης που θα χρησιμοποιηθεί στο υπό μελέτη πλοίο είναι η ηλεκτροπρόωση με την χρήση ζεύγους Aziprod προπελών μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propeller - CPP). Στην διάταξη αυτή, η προπέλα συνδέεται με ηλεκτροκινητήρα (electric motor) με λοξότροχα γρανάζια που επιτρέπουν την αζιμούθια περιστροφή της έλικας γύρο από τον κατακόρυφο άξονα (διάταξη Z-drive). Η Ισχύς των κινητήρων αυτών βασίζεται στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου και ελέγχεται από διάφορες ηλεκτρικές διατάξεις (π.χ. κυκλομετατροπείς), ενώ οι στροφές του άξονά του μειώνονται στα επιθυμητά επίπεδα της έλικας, μέσω των γριναζιών της Z-drive διάταξης.

Η επιλογή της προωστήριας εγκατάστασης βασίστηκε στην εξαιρετική επίδοση των CPP Azipods στις ελκτικές ικανότητες και στην διατήρηση της θέσης του πλοίου ανεξαρτήτως των κυματισμών (Dynamic Position - DP), ιδιότητα ιδιαίτερα χρήσιμη κατά την διάρκεια δειγματοληψιών και ερευνητικών δραστηριοτήτων, όπου το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (standby operation).

Επίσης, η απουσία αξονικού συστήματος της συμβατικής πρόωσης, παρέχει ελευθερία σχεδίασης στην διαμόρφωση της διάταξης του πλοίου για την βελτιστοποίηση και την καλύτερη αξιοποίηση των χώρων του.

Αρχικά, θα γίνει μελέτη ώστε να προσδιοριστεί η περιοχή λειτουργίας και η απαιτούμενη ισχύς του ζεύγους προπελών, συναρτήσει των στροφών και του βήματος τους, καθώς και της ταχύτητας του πλοίου, μέσα από το διάγραμμα ισοβηματικών – ισοταχών των Azipods.

Επιπροσθέτως, θα καθοριστεί το βήμα P/D της έλικας, για το οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση. Βάσει της περιοχής λειτουργίας, θα γίνει η επιλογή του ζεύγους azipod, σύμφωνα με τις διαθέσιμες επιλογές από τους καταλόγους των κατασκευαστών.

Για την παραπάνω μελέτη, έγινε χρήση της υπορουτίνας Fortran GRID.F95 του καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Γ.Πολίτη. Ο κώδικας αυτός προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της υδροδυναμικής απόδοσης σε έλικα σειράς Wageningen B σε ελεύθερη ροή.

Τέλος, σύμφωνα με το επιλεγθέν ζεύγος ελίκων, της ανάγκης του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ, αλλά και του διαθέσιμου χώρου εντός του μηχανοστασίου, επιλέγεται ο αριθμός και η ισχύς των ηλεκτρομηχανών.

7.2.1. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών έλικας

Διάμετρος D_p και αριθμός πτερυγίων

Ως προς την διάμετρο της προπέλας, στην παρούσα γεωμετρία, δεν υπάρχει κάποιος υφιστάμενος περιορισμός ως προς τις ανοχές, ενώ η μεγάλη έμπρυμη διαγωγή στις operational καταστάσεις του πλοίου διασφαλίζει την παραμονή της προπέλας εντός νερού. Η διάμετρος της προπέλας, έπειτα από δοκιμές και έχοντας ως βάση τις διαθέσιμες έλικες των κατασκευαστών, επιλέγεται να είναι 2,4 μέτρα ($D_p = 2.40 \text{ m}$).

Για τους ίδιους λόγους, επιλέγεται η προπέλα να είναι τεσσάρων πτερυγίων ($z = 4$).

Με βάση εμπειρικές σχέσης της σχετικής βιβλιογραφίας (Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Γ. Κ. Πολίτης, σελίδα 326-327), υπολογίζονται οι συντελεστές ομόρου (w) και μείωσης ώσης (t) και ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R για τα διπλέλικά πλοία. Για τον υπολογισμό αυτό, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συντελεστές μορφής, όπως προκύπτουν από τα υδροστατικά στο βύθισμα σχεδίασης $T=4.4 \text{ m}$, που είναι το βύθισμα αναφοράς για τον υπολογισμό της αντίστασης.

Πίνακας 7. 4: Συντελεστές μορφής

C_B	Συντ/στής γάστρας	0.644
C_P	Πρισματικός συντ/στής	0.6797
C_{WL}	Συντ/στής Ισάλου	0.8999

Συντελεστής ομόρου w

- Kruger: $w = 0.81 C_B - 0.34 = 0.1816$
- Hecksher: $w = 0.7 C_p - 0.3 = 0.1758$

Σαν εκτίμηση για το ποσοστό ομόρου λαμβάνουμε το μέσο όρο των παραπάνω τιμών.

Συνεπώς, **w = 0.1787**

Συντελεστής μείωσης ώσης t

- S.S.P.A.: $t = w [1.67 - 2.3 (C_B / C_{WP}) + 1.5 C_B] = 0.1769$
- Hecksher: $t = 0.5 C_p - 0.18 = 0.1599$
- Danckwardt: $t = 0.52 C_B - 0.18 = 0.1549$

Σαν εκτίμηση για τον συντελεστή μείωσης ώσης λαμβάνουμε το μέσο όρο των τριών παραπάνω τιμών. Συνεπώς, **t = 0.1639**

Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής η_R

Για διπλέλικά πλοία, ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\eta_R = 0,9737 - 0,111 \cdot (C_p - 0,0225 \cdot l_{cb}) - 0,06325 \cdot \frac{P}{D}$$

Όπου:

P/D το βήμα λαμβάνεται 0,9 έπειτα από δοκιμές ως το βέλτιστο.

l_{cb}=-0.576 m το κέντρο άντωσης από το μέσο του πλοίου.

Τελικά προκύπτει :

$$\eta_R = 0.84$$

Βαθμός απόδοσης z-drive η_S

Η μετάδοση ισχύος, από τον ηλεκτροκινητήρα έως την έλικα του σκάφους, γίνεται μέσω του της z-drive διάταξης εντός του Azipod (άξονες, γρανάζια αλλαγής κατεύθυνσης). Μια μέση τιμή της απόδοσης του συστήματος αυτού είναι ίση με:

$$\eta_S = 0.98$$

Ταχύτητα προχώρησης V_A

Η έλικα αντιλαμβάνεται την επερχόμενη ροή με μια ταχύτητα διαφορετική από την ταχύτητα του πλοίου καθώς 'βλέπει' την επερχόμενη ροή διαστρεβλωμένη από τον ομόρου του πλοίου (αλληλεπίδραση πλοίου-έλικας) . Η ταχύτητα πρόσπτωσης της επερχόμενης ροής, όπως την αντιλαμβάνεται η έλικα, ονομάζεται ταχύτητα προχώρησης V_A και υπολογίζεται, για την ταχύτητα υπηρεσίας (V_S=12 kn), ως:

$$V_A = V_S (1 - w) = 9.86 \text{ kn}$$

Αναπτυσσόμενη ώση έλικας T

Η ώση σε kP που καλείται να αναπτύξει η έλικα για να αντισταθμίσει την αντίσταση του πλοίου, με βάση την αντίσταση ρυμούλκησης R_T στην ταχύτητα υπηρεσίας ($V_s=12$ kn) και τον συντελεστή μείωσης ώσης, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$T[kP]=R_T/(1-t) = 17485.2 \text{ kP}$$

Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας A_E / A_0

Με βάση τη σχέση του Keller, υπολογίζεται ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας της έλικας, ως:

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot z) \cdot T}{(p_0 - p_{v(s.w.15^\circ C)}) \cdot D^2} + k$$

Όπου:

- p_0 , είναι η ολική πίεση στο βύθισμα του άξονα της προπέλας και είναι ίση με $p_a + \rho g h$, για p_a ατμοσφαιρική πίεση και h απόσταση του κέντρου του άξονα από την επιφάνεια της θάλασσας.

- $p_{v(s.w.15^\circ C)}=173,35 \text{ kP/m}^2$, είναι η πίεση ατμοποίησης του θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία $15^\circ C$

- $k = 0.1$ για διπλέλικα πλοία

Η τιμή που λαμβάνουμε με βάση τον παραπάνω τύπο είναι ίση με:

$$A_E / A_0 = 0.66$$

Καθώς η μελέτη βασίζεται στην σειρά ελικών Wageningen B, γίνεται τυποποίηση του A_E/A_0 προς την πιο κοντινή τιμή. Συνεπώς επιλέγεται η έλικα Wageningen B4-65, όπου ο πρώτος αριθμός αφορά στον αριθμό των πτερυγίων της έλικας και ο δεύτερος στο λόγο εκτεταμένης επιφάνειας.

7.2.2 Πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών

Έχοντας προσδιορίσει τα βασικά χαρακτηριστικά του ζεύγους προπελών, μπορεί να προσδιοριστεί η υδροδυναμική τους απόδοση από το διάγραμμα ισοβηματικών – ισοταχών που προκύπτει από το κώδικα GRID.F95.

Ο κώδικας δέχεται ως δεδομένα τον αριθμό και την γεωμετρία έλικας { πλήθος πτερυγίων, ανά έλικα (z), διάμετρος (D_p), βήμα (P/D) και εκτεταμένη επιφάνεια (A_E / A_0) } καθώς και του συντελεστές ορόρου w και μείωσης ώσης t .

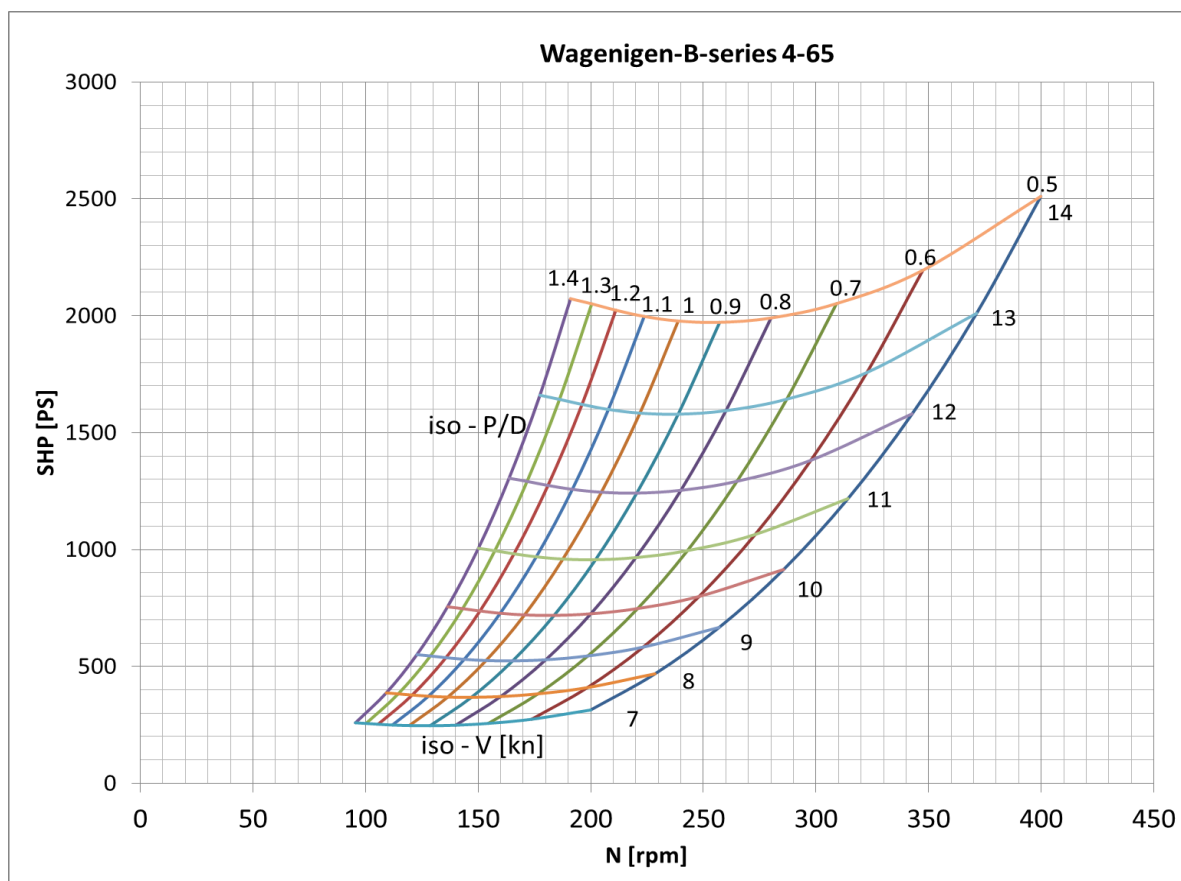
Για δεδομένη ταχύτητα, ο κώδικας προσδιορίζει την αποδιδόμενη ώση (T) και ροπή (Q) της έλικας, καθώς και την απαιτούμενη ισχύ της έλικας (DHP) και του ηλεκτροκινητήρα ($SHP=DHP/\eta_s$). Επίσης, προσδιορίζει τον συντελεστή πρόωσης της έλικας ($P.C.=EHP / SHP$).

Για την ταχύτητα υπηρεσίας των 12 κόμβων προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για εύρος βήματος προπέλας P/D 0,5 με 1,4.

Πίνακας 7. 5: Αποτελέσματα GRID.F95 για την ταχύτητα υπηρεσίας ($V_s=12$ kn)

rpm	P/D	T (kp)	Q (kp*m)	DHP (PS)	SHP (PS)	P.C.
342.7	0.5	8742.6	3139.1	1502	1581.1	0.381
297.7	0.6	8742.6	3157.9	1312.8	1381.9	0.435
264.9	0.7	8742.6	3318.8	1227.7	1292.3	0.466
240	0.8	8742.6	3554.2	1190.9	1253.6	0.48
220.4	0.9	8742.6	3833.3	1179.7	1241.8	0.484
204.7	1	8742.6	4139.9	1183.1	1245.4	0.483
191.8	1.1	8742.6	4462.8	1194.9	1257.8	0.478
181	1.2	8742.6	4792.3	1210.8	1274.5	0.472
171.7	1.3	8742.6	5117.3	1227.1	1291.7	0.466
163.7	1.4	8742.6	5424.4	1240.2	1305.4	0.461

Τελικά, καθορίζεται η περιοχή λειτουργίας των Azirpods, με χαρακτηριστικά προπέλας $D_p = 2.4$ m, $z = 4$ και $A_E / A_0 = 0.65$. Η περιοχή αυτή ορίζεται από το πλέγμα ισοταχών - ισοβηματικών, για εύρος λόγου βήματος P/D 0,5 με 1,4 και εύρος ταχύτητας πλεύσης V_s 7 με 14 κόμβων.



Σχήμα 7. 4: Πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών για την υπό σχεδίαση έλικα

Όπως φαίνεται στο παραπάνω πλέγμα ισοταχών-ισοβηματικών ο βέλτιστος λόγος βήματος τόσο για την ταχύτητα υπηρεσίας, όσο και για τις υπόλοιπες ταχύτητες, είναι το $P/D = 0,90$. Στο βήμα αυτό ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη ισχύς καθώς μεγιστοποιείται ο βαθμός απόδοσης της έλικας σε ελεύθερη ροή και επομένως, ο συντελεστής πρόωσης ($P.C.=0.484$).

7.2.3. Επιλογή ζεύγους ελίκων

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, επιλέγεται, από τον κατάλογο της SCHOTTEL (Schottel Propulsion System, Product Guide), η αζιρόν προπέλα SRE 430, τα χαρακτηριστικά της οποίας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα από τον κατάλογο της κατασκευάστριας εταιρίας.

Πίνακας 7. 6 : Χαρακτηριστικά επιλαχούσας έλικας

Type	Rated power [kW]				Propeller open Ø [m]
	A	B	C	D	
SRE 430	1450	1560	1660	2000	2.40

Σημειώνεται ότι, η μέγιστη απορροφώμενης ισχύς αναφέρεται σε ζεύγος προπελών και όχι ανά μονάδα.

Σύμφωνα με τον κατάλογο του κατασκευαστή, η επισήμανση C εντάσσονται τα πλοία που χαρακτηρίζονται ως «Offshore duty». Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα «Offshore & Supply Vessels (OSV) που χρησιμοποιούν ηλεκτροπρόωση», όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά. Η κατηγορία αυτή, αποτελεί την πλέον αντιπροσωπευτική για υπό μελέτη πλοίο (SPS Vessel). Συνεπώς η μέγιστη απορροφώμενη ισχύς του σετ ελίκων ανέρχεται στα $P_{prop_max} = 1660$ kW.

Το μέσο φορτίο της έλικας συναντάται στην ταχύτητα υπηρεσίας ($V_s = 12$ kn) στο βέλτιστο βήμα και ισούται με 1241.8 PS (913.3 KW). Το φορτίο αυτό αντιστοιχεί στο 55% της μέγιστης απορροφώμενης ισχύος της υπό επιλογή προπέλας.

Είναι συνετό, η επιλογή της προπέλας να γίνεται με σεβαστό περιθώριο μεταξύ μέσης και μέγιστης απορροφώμενης ισχύος, ώστε να περιοριστούν τα φαινόμενα σπηλαιώσης, καθώς η προπέλα δεν θα λειτουργεί συχνά στα όριά της. Επίσης, υπάρχει περιθώριο ανάπτυξης μεγαλύτερης ταχύτητας, όταν αυτή χρειαστεί.

Συνεπώς, η επιλογή της έλικας, είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις πρόωσης στην ταχύτητα υπηρεσίας.

Για να καλυφθούν όλες οι περιπτώσεις λειτουργίας του πλοίου, θα πρέπει να υπολογιστεί η ισχύ που πρέπει να απορροφήσει η έλικα προκειμένου να παράγει ώση ικανή να υπερνικήσει την αυξημένη αντίσταση της γάστρας λόγω ρύπανσης (Fouled Hull), καθώς και την ακραία περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών σε συνδυασμό με ρυπασμένη γάστρα. Η προσαύξηση της αντίστασης για την πρώτη περίπτωση εκτιμάται ότι είναι ίση με 20%, ενώ στην δεύτερη στο 40%.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα αποτελέσματα του κώδικα GRID.F95 για την απαίτηση ισχύος της έλικας στο εύρος ταχυτήτων 7 με 14 κόμβων για τις περιπτώσεις αυτές.

Πίνακας 7. 7: Αντίσταση και ισχύς έλικας για προσαυξημένη αντίσταση

V (kn)	Clean Hull			Fouled Hull (+20%)			Fouled Hull & Weather (+40%)		
	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)	N (rpm)	SHP (PS)	SHP (KW)
7	128.6	246.5	181.3	135.9	308.1	226.6	142.7	373.4	274.6
8	147.0	368.1	270.7	155.3	460.1	338.4	163.2	557.7	410.2
9	165.3	524.0	385.4	174.7	654.9	481.7	183.5	793.7	583.8
10	183.7	718.6	528.5	194.1	898.2	660.6	203.9	1 088.5	800.6
11	202.1	956.7	703.7	213.6	1 195.8	879.5	224.3	1 449.3	1 066.0
12	220.4	1241.8	913.3	233.0	1552.2	1 141.6	244.7	1881.2	1 383.6
13	238.8	1 579.3	1 161.6	252.4	1 974.0	1 451.9	265.1	2 392.4	1 759.6
14	257.2	1 972.1	1 450.5	271.8	2 465.0	1 813.0	285.5	2 987.4	2 197.2

Συμπεραίνεται ότι, η προπέλα αυτή μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητα 14 κόμβων, καθώς η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης (1972.1 PS – 1450.5 KW) αντιστοιχεί στο 87,3% της μέγιστης απορροφώμενης.

Συνεπώς, η ταχύτητα αυτή ορίζεται ως η μέγιστη δυνατή ($V_{MAX}=14$ kn).

Επιπροσθέτως, από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι στην περίπτωση ρυπασμένης γάστρας, η μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται είναι οι 13 κόμβοι (87,4% της ισχύος), ενώ στον συνδυασμό ρυπαρμένης γάστρας και καιρού, μειώνεται στους 12 (83,3% της ισχύος).

Τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του σετ ελίκων από το κατάλογο του κατασκευαστή, παρατίθενται στο [Παράρτημα Ι](#) : Χαρακτηριστικά ελίκων – ηλεκτρομηχανών.

7.2.4. Επιλογή Ηλεκτρομηχανών

Η επιλογή του αριθμού και του τύπου των ηλεκτρομηχανών γίνεται σύμφωνα με την απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος του πλοίου, σημαντικό μέρος της οποίας προορίζεται για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης.

Αρχικά, το σετ ηλεκτροκινητήρων που συνδέονται οι έλικες επιλέγεται να παρέχουν την μέγιστη ισχύ που μπορούν να απορροφήσουν οι έλικες, συνυπολογίζοντας τις απώλειες του αξονικού συστήματος του z-drive.

Συνεπώς, επιλέγεται σετ AC ηλεκτροκινητήρων Siemens συνολικής ισχύος 1700 kW (850 KW ανά μονάδα).

Δυστυχώς, η απαίτηση του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ, εκτός των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης, είναι δύσκολο να προσδιορισθεί, λόγω του ειδικού τύπου του πλοίου, του εξειδικευμένου επιστημονικού εξοπλισμού και του εξοπλισμού καταστρώματος (A- frames, drop keel, γερανοί κ.λπ.).

Συνεπώς, για την εκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος θα γίνει η παραδοχή ότι η ηλεκτρική ισχύς των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης, συμπεριλαμβανομένου των απωλειών, αποτελεί το 50 % της συνολικής απαίτησης ηλεκτρικής ισχύος του πλοίου.

Η θεώρηση αυτή είναι από το safe side, καθώς υπερεκτίμα την απαίτηση ισχύος του πλοίου, οδηγώντας σε μικρό πλεόνασμα ισχύος των ηλεκτρομηχανών.

Επομένως, για την απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος του πλοίου ισχύει:

$$P_{EL} = 3400 \text{ KW}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέγονται 3 σετ οχτακύλινδρων ηλεκτρομηχανών Wartsila 8L20DF συχνότητας 60 Hz και συνολικής αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο **MCR 4260 KWe** (1420 KWe ανά μονάδα).

Με την επιλογή αυτή, καλύπτονται τις ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρική ισχύ με τις ηλεκτρομηχανές να βρίσκονται στο 80% του MCR, δηλαδή στη βέλτιστη περιοχή λειτουργίας τους.

Στην αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ έχει συνυπολογιστεί από τον κατασκευαστή, μείωση απωλειών 4% στην γεννήτρια, από την μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική.

Σημειώνεται επίσης ότι, οι ηλεκτρομηχανές είναι διπλού καυσίμου (Dual Fuel), όντας εναρμονισμένες με τους κανονισμούς του IMO για τον περιορισμό των ρύπων SOx & NOx.

Τα αναλυτικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρομηχανών από το κατάλογο του κατασκευαστή, παρατίθενται στο [Παράρτημα Ι](#) : Χαρακτηριστικά ελίκων – ηλεκτρομηχανών.

Τέλος, όσον αφορά την γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης (Emergency Generator) θα πρέπει να παραλαμβάνει τουλάχιστον το 10% της απαιτούμενης ισχύος (εκτός των ηλεκτροκινητήρων πρόωσης), δηλαδή περί τα 175 KW.

Επιλέγεται η Caterpillar C7.1 που αποδίδει 200 KWe στα 1800 rpm.

ΣΥΝΟΨΗ

Εν κατακλείδι, στα πλαίσια της διπλωματικής, διεξήχθη μια προκαταρκτική μελέτη ευρέως φάσματος, για την σχεδίαση ενός ωκεανογραφικού σκάφους. Το φάσμα αυτό περιλαμβάνει την διαμόρφωση της Γενικής Διάταξης και τον υπολογισμό του βάρους της μεταλλικής κατασκευής και στην συνέχεια, τον προσδιορισμό της κατανομής του Lightship του υπό μελέτη πλοίου. Συνάμα, έλαβε χώρα η μελέτη της ευστάθειας, τόσο άθικτη όσο και σε βεβλαμένη κατάσταση, ενώ προσδιορίστηκε η προωστήρια εγκατάσταση του πλοίου, αφού πρώτα εκτιμήθηκε η επαγόμενη αντίσταση στην ταχύτητα υπηρεσίας των 12 κόμβων.

Η σχεδίαση είναι εναρμονισμένη με τις αρχές και τους κανόνες που διέπουν την Ναυπηγική, συνυπολογίζοντας τις ανάγκες των ερευνών της σύγχρονης Ωκεανογραφίας.

Η συγκεκριμένη διάταξη παρέχει ευρύχωρα εργαστήρια και ανοιχτά καταστρώματα, όπου δίνεται έμφαση στην διευκόλυνση της διεξαγωγής του ερευνητικού έργου. Αυτή επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου ερευνητικού εξοπλισμού (drop keel, transducers κ.λπ.) και του εξοπλισμού καταστρώματος (side & aft A-frames, γερανοί κ.λπ.).

Το υπό μελέτη σκάφος έχει προβλεφθεί να κινείται με σύστημα ηλεκτροπρόωσης, σε συνδυασμό με Azipod μεταβλητού βήματος (CCP). Έτσι, διευκολύνεται ο χειρισμός της ταχύτητας και η διατήρηση της θέσης του πλοίου ανεξαρτήτως των κυματισμών (Dynamic Position - DP), στοιχείο ιδιαίτερα χρήσιμο κατά την διάρκεια δειγματοληψιών και ερευνητικών δραστηριοτήτων, όπου το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

Σημειώνεται επίσης ότι, μέσω του προσδιορισμού της κατανομής του Lightship, κατέστη εφικτή η μελέτη της διαμήκουσ αντοχής (μελέτη του πλοίου ως δοκός).

Επίσης, ιδιαίτερη βάση εδόθη στην μελέτη της άθικτης ευστάθειας, στα πλαίσια της οποίας προετοιμάστηκε το Trim & Stability Booklet του πλοίου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έχουν την δυνατότητα να αποτελέσουν την βάση για περαιτέρω διερεύνηση, μέσω της οποίας να τελεσφορήσει στην τελική βέλτιστη σχεδίαση του Ωκεανογραφικού.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής λαμβάνει χώρα η προκαταρκτική μελέτη του υπό μελέτη πλοίου, που μπορεί να αποτελέσει βάση για περαιτέρω εμβάθυνση, επέκταση και βελτιώσεις.

Μερικοί τομείς που επιδέχονται περαιτέρω μελέτης και ανάπτυξης είναι οι ακόλουθοι:

- Σχεδίαση των γραμμών και της διαμερισματοποίησης στο NAPA με χρήση παραμετρικού μοντέλου, με σκοπό την σύγκριση και βελτιστοποίηση της σχεδίασης.
- Βελτιστοποίηση των γραμμών της γάστρας για την ελαχιστοποίηση της επαγόμενης αντίστασης στην ταχύτητα σχεδίασης.
- Εμβάθυνση και πιο λεπτομερή σχεδίαση της μεταλλικής κατασκευής και επιλογή των υλικών του υπό μελέτη πλοίου. Περάτωση των σχεδίων Profile & Decks, Shell Expansion, Aft & Fore end Construction.
- Περαιτέρω μελέτη και αναλυτικότερος υπολογισμός της αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου σε στατικές & δυναμικές καταπονήσεις, με χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.
- Αναλυτική σχεδίαση του χώρου του μηχανοστασίου και προσδιορισμός του μηχανολογικού και ερευνητικού/ωκεανογραφικού εξοπλισμού στο διύθμενο και στο κατάστρωμα. Συνολικά, εκτίμηση με μεγαλύτερη ακρίβεια, των διαφόρων βαρών που συνθέτουν το κενό σκάφος (μηχανολογική εγκατάσταση, εξοπλισμός, ενδιάιτηση).
- Ανάπτυξη αυτόματου συστήματος Dynamic Position (DP) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη ακινησίας του πλοίου που απαιτείται κατά τις δειγματοληψίες
- Μελέτη της συμπεριφοράς σε κυματισμούς (seakeeping),
- Μελέτη ελικτικών ικανοτήτων (maneuvering) του υπό μελέτη πλοίου, όπου με την χρήση των Azirrod έχουν ενισχυθεί.
- Πλήρης τεchnοοικονομική μελέτη του πλοίου, ώστε να καθοριστούν τα λοιπά κόστη (κτίσεως, λειτουργίας).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Res. MSC.266(84), Code of Safety for Special Purpose Ships, (SPS Code 2008)
- Res. A.749(18) Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments
- Res. MSC.194(80) 2009, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as Amended, IMO
- Res. MSC.421(98) 2020, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as Amended, IMO
- Res. MSC.408(96) Amendments to (SPS Code 2008)
- ABS 2019, Steel Vessels Under 90 Meters (295 Feet) in Length, - Part 3: Hull Construction and Equipment
- Bureau Veritas 2014, Rules for the Classification of Steel Ships, Bureau Veritas
- International Convention on Load Lines (ILCC 1966)
- IACS Req. 1981/Rev.5 2005 Ch. 4.1 Equipment Number Calculation
- International Convention on Tonnage Measurement of Ships, (ITCM 1969)
- Π.Δ.177/ 1974 - Περί οργανικής συνθέσεως των πληρωμάτων των επιβατηγών (ακτοπλοϊκών - μεσογειακών - τουριστικών) πλοίων.
- Ν.1637/ 1986, Κύρωση της 92 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας, για την ενδιαίτηση των πληρωμάτων των πλοίων (αναθεωρητική 1949), ΦΕΚ Α'107.

- Καψάλη Τριαντάφυλλη – Αναστασία 2016, “Μελέτη και Σχεδίαση Ωκεανογραφικού Σκάφους Ανοιχτής Θαλάσσης”, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π.
- Λεοντάρης Σ. Ν. 1995, Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Δανεσάκης Μ. “Χημική Ωκεανογραφία”, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα
- Παπανικολάου Α. Δ. 2009, Μελέτη Πλοίου, Α' Τόμος, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- Παπανικολάου Α. Δ. 2009, Μελέτη Πλοίου, Β' Τόμος, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- Παπανικολάου Α., Αναστασόπουλος Κ. 2006, Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II Συλλογή Βοηθημάτων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Παπανικολάου Α., Αναστασόπουλος Κ. 2007, Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου I Συλλογή Βοηθημάτων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Σπύρου Κ. 2017, Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου II Σημειώσεις Διδάσκοντος και Πρόσθετο Υλικό, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

- Πολίτης Γ. Κ. 2008, Σημειώσεις Μαθήματος "Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Σαμουηλίδης Μ. 2010, Σημειώσεις Αντοχής Πλοίου, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Καρύδης Π. Α. 2000, Η Μεταλλική Κατασκευή του Πλοίου, Εκδόσεις Γ. Αργυρόπουλος Ε.Π.Ε., Αθήνα
- Σκούπας Σ. Α. 2011, Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Μελέτη & Σχεδίαση - Βελτιστοποίηση Επιβατηγών - Οχηματαγωγών Πλοίων Νέας Τεχνολογίας, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

Bureau Veritas VeriSTAR - <http://www.veristar.com/portal/veristarinfo>

Hellenic Centre for Marine Research - <http://www.hcmr.gr/>

Flowtech: <https://www.flowtech.se>

Schottel Propulsion System - <https://www.nauticexpo.com/prod/schottel/>

Caterpillar Marine Power Solutions - <https://www.cat.com/marine>

Wartsila Marine - <https://www.wartsila.com/>

MAN Marine GenSets - <https://marine.man.eu/gensets/marine-gensets>

Marine Institute (Ireland) - <http://www.marine.ie/Home/>

National Oceanic and Atmospheric Administration (US) Ocean Explorer -
<http://oceanexplorer.noaa.gov/>

Oceanology International - <http://www.oceanologyinternational.com/>

Sea Bird Electronics - <http://www.seabird.com/>

Wikipedia - <https://en.wikipedia.org/>

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ

NAPA - Napa Ltd.

Mars 2000 - Bureau Veritas VeriSTAR

Shipflow - Flowtech

AutoCAD 2018 - Autodesk Inc.

GRID.F-95 - Gerasimos Politis

Office Excel - Microsoft