

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



**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΚΟΡΒΕΤΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ Α. ΚΑΛΚΟΥΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΚΟΡΒΕΤΑΣ**

Διπλωματική Εργασία
του
ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ Α. ΚΑΛΚΟΥΝΗ

Επιβλέπων : ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Απόστολος Δ. Παπανικολάου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Παναγιώτης Δ. Κακλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Ζαραφωνίτης
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Ιούλιος 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν έγγραφο αποτελεί τη Διπλωματική Εργασία του γράφοντος, Ευστάθιου Α. Καλκούνη, στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών του στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για την απόκτηση του Διπλώματος Ναυπηγού Μηχανολόγου Μηχανικού. Ο τίτλος της Διπλωματικής Εργασίας είναι « Μελέτη και σχεδίαση πολεμικού πλοίου τύπου κορβέτας ». Η εργασία έγινε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Απόστολου Παπανικολάου, Διευθυντή του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου, της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί χωρίς τη συνεισφορά ορισμένων ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να αναφερθώ.

Θα ήθελα, λοιπόν, να ευχαριστήσω αρχικά και κύρια τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Α. Παπανικολάου για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, αλλά και για τη πολυτιμότετη καθοδήγηση και συνεισφορά του καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.

Ακολούθως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ε. Μπουλουγούρη για την άριστη συνεργασία που είχαμε, για την αρρωγή και τις γνώσεις, που μου παρείχε πάνω στο εξειδικευμένο αντικείμενο της πολεμικής ναυπηγικής βιομηχανίας και για το πλούσιο αρχειακό υλικό που μου διέθεσε στη διάρκεια της έρευνας αυτής, τα οποία στάθηκαν καταλυτικά για την επιτυχή της ολοκλήρωση.

Ακόμη, θα ήθελα να αναφερθώ στο προσωπικό της Διεύθυνσης Εξοπλισμού του Γενικού Επιτελείου Ναυτικού, για το εξαιρετικό ενδιαφέρον που έδειξαν από την πρώτη στιγμή και για το χρήσιμο υλικό που μου παρείχαν κατά την επίσκεψή μου στο Πεντάγωνο, το οποίο συνέδραμε στα πρώτα και καθοριστικά “βήματα” της εργασίας αυτής. Ευχαριστώ, μεταξύ άλλων, τον κύριο Αντιναύαρχο Δημόπουλο Ηλία, Διοικητή ΔΔΜΝ.

Επιπροσθέτως, θα ήταν μεγάλη παράλειψη να μην αναφέρω το ερευνητικό προσωπικό και τα μέλη του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου. Ευχαριστώ για τη ανεκτίμητη καθημερινή βοήθεια που μου παρείχαν, την κυρία Ηλιοπούλου Ελευθερία, τον κύριο Παπατζανάκη Γιώργο, την κυρία Αλισαφάκη Αιμιλία, τον κύριο Μουρκογιάννη Δημήτρη και τον συνάδελφό μου Τιμολέον Πλέσσα.

Τέλος θα ήθελα να δώσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου, στους γονείς μου Αντώνη και Παναγιώτα, τον αδερφό μου Βαγγέλη, καθώς επίσης και στην κοπέλα μου Νικολέττα και όλους τους φίλους μου για τη στήριξη και το κουράγιο που μου προσέφεραν ανελλιπώς όλο αυτό το διάστημα, δίχως τα οποία δε θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Ευστάθιος Α. Καλκούνης
Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της Διπλωματικής είναι η μελέτη και ο αρχικός σχεδιασμός (conceptual design) ενός σύγχρονου πολεμικού πλοίου, τύπου κορβέτας, ως μιας μονάδας κρούσης επιφανείας πολλαπλών ρόλων – αποστολών, κατάλληλη για ισχυρό πλήγμα στον αντίπαλο και για την απόκτηση και διατήρηση του θαλάσσιου ελέγχου στην περιοχή των ναυτικών επιχειρήσεων. Τα στάδια μελέτης, τα οποία ακολουθήσαμε, είναι τα βασικά στάδια που διδαχθήκαμε στη σχολή, μέσα από την εργασία “Θέμα μελέτης και σχεδίασης πλοίου”, του 7^{ου} ακαδημαϊκού εξαμήνου του προγράμματος σπουδών. Η διαδικασία αυτή, ωστόσο παρέκλινε σε διάφορα σημεία, λόγω της ιδιαιτερότητας του πλοίου (πολεμικός σκοπός έναντι εμπορικού), των επιχειρησιακών απαιτήσεων και των διαφορετικών κανονισμών που διέπουν τη μελέτη μιας τέτοιας σχεδίασης. Οι κανονισμοί, λοιπόν, που χρησιμοποιήθηκαν, αντλήθηκαν από τα αντίστοιχα Ναυτικά των Η.Π.Α και της Γερμανίας, κράτη τα οποία διαθέτουν και τη μεγαλύτερη παράδοση και άρα εμπειρία στη ναυπήγηση πολεμικών πλοίων. Έτσι, στην παρούσα μελέτη, περιλαμβάνονται η επιλογή των κύριων διαστάσεων, ο υπολογισμός βάρους πλήρως εξοπλισμένου, αλλά άφορτου πλοίου, η σχεδίαση των γραμμών, ο υπολογισμός των υδροστατικών χαρακτηριστικών, η υδατοστεγής διαμέριση, η σχεδίαση της γενικής διάταξης, η σχεδίαση της μέσης τομής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, ο υπολογισμός της αντίστασης, η επιλογή προωστήριας εγκατάστασης και έλικας, ο έλεγχος για την ικανοποίηση των κανονισμών ευστάθειας, τόσο σε άθικτη, όσο και σε κατάσταση μετά από βλάβη και ο έλεγχος της διαμήκουσ καμπτικής αντοχής του σκάφους. Στο τέλος παρουσιάζονται η εκτίμηση της αντίστασης με πρόγραμμα CFD, καθώς και μια προσπάθεια τοπικής βελτιστοποίησης της γάστρας στην περιοχή του βολβού και στην περιοχή του καθρέπτη με την τοποθέτηση σφήνας. Στη διαδικασία της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά εξειδικευμένων ναυπηγικών προγραμμάτων που διαθέτει το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου του ΕΜΠ. Η σχεδίαση των γραμμών, ο υπολογισμός των υδροστατικών, των κατακλυσίμων μηκών και ο έλεγχος της ευστάθειας έγινε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AVEVA. Για τον υπολογισμό της αντίστασης χρησιμοποιήθηκε αρχικά η ημι-εμπειρική μέθοδος του Holtrop. Η σχεδίαση της γενικής διάταξης και της μέσης τομής έγινε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού πακέτου AutoCAD. Για την εκτίμηση της αντίστασης με πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πακέτο επίλυσης ροών Shipflow. Ενώ τέλος, για τη βελτιστοποίηση του βολβού και της πρύμνης χρησιμοποιήθηκε ένα ισχυρό σχεδιαστικό πακέτο CAD/CAE, που βασίζεται σε τεχνικές παραμετρικής μοντελοποίησης, το FRIENDSHIP-Framework, συζευγμένο με το SHIPFLOW, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη δημιουργία και ανάλυση νέων μορφών γάστρας, χωρίς την απαίτηση για δοκιμές σε πραγματικό μοντέλο. Η μέθοδος που ακολουθήσαμε στο τελευταίο αυτό κομμάτι, έδειξε με σαφήνεια τη δυνατότητα να ενοποιήσουμε τη μη παραμετρική σχεδίαση που μας παρέχει το πρόγραμμα AVEVA, με τμήματα της γάστρας πλήρως παραμετρικά, σχεδιασμένα στο FRIENDSHIP. Η μέθοδος αυτή θα μπορούσε κάλλιστα να βρεί εφαρμογή σε περιπτώσεις υδροδυναμικής αναβάθμισης της γάστρας ήδη κατασκευασθέντων πλοίων, διαφόρων ειδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΕΣ	15
ΣΧΗΜΑΤΑ	17
ΕΙΚΟΝΕΣ	22
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ	25
ΣΥΝΟΨΗ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	31
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	31
1.1. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - ΟΜΟΙΑ ΠΛΟΙΑ	31
1.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΡΦΗΣ	34
1.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΒΗΡ ΣΚΑΦΟΥΣ	38
1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ DWT	38
1.4.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ $W_{FUELOIL}$	39
1.4.2. ΒΑΡΟΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ W_{LO}	42
1.4.3. ΒΑΡΟΣ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ $W_{PAYLOAD}$	43
1.4.4. ΒΑΡΟΣ ΕΦΟΔΙΩΝ ΝΕΡΟΥ $W_{FRESHWATER}$	43
1.4.5. ΒΑΡΟΣ ΕΦΟΔΙΩΝ-ΤΡΟΦΙΜΩΝ $W_{PROVISIONS}$	44
1.4.6. ΒΑΡΟΣ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ $W_{COSUMABLES}$	44
1.4.7. ΒΑΡΟΣ ΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ W_{CREW}	45
1.5. ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΑΛΛΑ ΑΦΟΡΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ LIGHT SHIP. 46	
1.5.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LS ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE	47
1.5.1.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{ST} ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE	47
1.5.1.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{OT} ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE	52
1.5.1.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_M ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE	53
1.5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LS ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”	55
1.5.2.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{ST} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”	56

1.5.2.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{OT} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”	60
1.5.2.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_M ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”	61
1.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ KG_{LS} , LCG_{LS} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”	62
1.7	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ” ΣΤΗ FULL LOAD DEPARTURE	65
1.7.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GM	68
	Βιβλιογραφία	69
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	73
	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	73
2.1.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	73
2.2	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	77
2.2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΠΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	77
2.2.2	ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	83
2.2.3	ΣΧΕΔΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΩΡΩΝ	84
	Βιβλιογραφία	85
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	89
	ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΝΕΝΑ	89
3.1	ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	91
3.2	ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	100
3.3	CROSS CURVES	108
	Βιβλιογραφία	120
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	123
	ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΑΘΙΚΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	123
4.1	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΘΙΚΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ	123
	Βιβλιογραφία	144
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	146
	ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ	146
5.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	146
5.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΝΕΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΕΙΣ	147
	Βιβλιογραφία	245

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	249
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLTROP & MENNEN	249
6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	249
Βιβλιογραφία	258
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	261
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ	261
7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΜΟΡΡΟΥ w , ΜΕΙΩΣΗΣ ΩΣΗΣ t ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ nR	261
7.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΟΧΩΝ ΕΛΙΚΑΣ ΓΑΣΤΡΑΣ	262
7.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΙΚΑΣ	265
7.4 ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ ΕΛΙΚΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ	266
7.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΙΣΧΥΟΣ (SPEED – ENGINE POWER)	266
7.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΕ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ	268
7.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΕΛΙΚΑΣ	269
7.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ ΙΣΟΒΗΜΑΤΙΚΩΝ - ΙΣΟΤΑΧΩΝ	271
7.9 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΙΚΑΣ – ΜΗΧΑΝΗΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΙΣΧΥΟΣ	272
7.10 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ	274
7.11 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΙΩΤΗΡΑ	275
7.12 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	279
7.13 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΑΚΤΙΝΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	280
Βιβλιογραφία	284
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	287
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	287
8.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	287
8.1.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ	288
8.1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	292
8.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ	301
Βιβλιογραφία	306

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	309
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ SHIPFLOW	309
9.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ	309
9.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ	312
9.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟ SHIPFLOW	313
9.3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΒΕΝΑ.....	313
9.3.2 SHIPFLOW CONFIGURATION.....	315
9.3.3 SHIPFLOW RESULTS.....	316
9.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ SHIPFLOW / HOLTROP ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	318
Βιβλιογραφία	321
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	325
ΤΟΠΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ FRIENDSHIP – FRAMEWORK	325
10.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAE ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ	326
10.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ FRIENDSHIP – FRAMEWORK.....	327
10.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	328
10.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	332
10.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΦΗΝΑΣ	333
10.4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΟΛΒΟΥ	338
Βιβλιογραφία	341
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	345
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	345
Βιβλιογραφία	355
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	356
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	357

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Λίστα ομοίων πλοίων Α	32
Πίνακας 2. Λίστα ομοίων πλοίων Β	33
Πίνακας 3. Κατηγορίες Βαρών κατά ESWBS	34
Πίνακας 4. Μέσοι όροι λόγων και συντελεστών ομοίων πλοίων	34
Πίνακας 5. Διαδικασία υπολογισμού βάρους καυσίμου για την επίτευξη της επιθυμητής ακτίνας ενέργειας	41
Πίνακας 6. Υπολογισμός βάρους, KG, LCG ωφέλιμου φορτίου	43
Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά μεγέθη υπό μελέτη πλοίου έως τώρα.....	46
Πίνακας 8. Ομάδες βαρών πατρικού πλοίου κατά ESWBS	46
Πίνακας 9. Θέση στεγασμάτων πατρικού πλοίου κατά Muller - Koster	50
Πίνακας 10. Πυργωτά και Υπερκατασκευές πατρικού πλοίου κατά Watson	51
Πίνακας 11. Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών	53
Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά μεγέθη υπό μελέτη πλοίου έως τώρα.....	55
Πίνακας 13. Όγκος υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου.....	58
Πίνακας 14. Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών	60
Πίνακας 15. Εξαγωγή συντελεστών KG/D, LCG/L για το πατρικό πλοίο	63
Πίνακας 16. Βάρος κατηγορίας Armament	64
Πίνακας 17. . Εξαγωγή συντελεστών KG/D LCG/L για το υπό μελέτη πλοίο.....	65
Πίνακας 18. Δεξαμενές πατρικού πλοίου.....	66
Πίνακας 19. Συγκεντρωτικά στοιχεία των διάφορων κατηγοριών δεξαμενών ανάλογα το περιεχόμενο τους.....	66
Πίνακας 20. Υπολογισμός KG, LCG κατηγοριών αναλωσίμων υπό μελέτη πλοίου	66
Πίνακας 21. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού βάρους αναλωσίμων	67
Πίνακας 22. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού DWT.....	67
Πίνακας 23. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού εκτοπίσματος	67
Πίνακας 24. Τελικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας	76
Πίνακας 25. Θεωρούμενη ταχύτητα ανέμου ανάλογα με την επιχειρησιακή φυσιογνωμία του σκάφους	124
Πίνακας 26. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την Full Loads Condition.....	126
Πίνακας 27. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την MINOP Condition.....	128
Πίνακας 28. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την Full Loads (without margin) Condition ...	130
Πίνακας 29. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την MINOP (without margin) Condition	132
Πίνακας 30. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads Condition.....	136
Πίνακας 31. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την MINOP Condition	138
Πίνακας 32. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads (Without margin) Condition.....	140
Πίνακας 33. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την MINOP (without margin) Condition.....	142

Πίνακας 34. Περιπτώσεις βλάβης και τα αντίστοιχα μήκη κατάκλισης.....	149
Πίνακας 35. Damaged GZ – φ Damage Cases 1.1 – 1.3	153
Πίνακας 36. Damaged GZ – φ Damage Cases 2.1 – 2.3	159
Πίνακας 37. Damaged GZ – φ Damage Cases 3.1 – 3.3	165
Πίνακας 38. Damaged GZ – φ Damage Cases 4.1 – 4.3	170
Πίνακας 39. Damaged GZ – φ Damage Cases 5.1 – 5.3	176
Πίνακας 40. Damaged GZ – φ Damage Cases 6.1 – 6.3	181
Πίνακας 41. Damaged GZ – φ Damage Cases 7.1 – 7.2	186
Πίνακας 42. Damaged GZ – φ Damage Cases 8.1 – 8.2	190
Πίνακας 43. Damaged GZ – φ Damage Cases 9.1 – 9.2	194
Πίνακας 44. Damaged GZ – φ Damage Cases 10.1 – 10.3	199
Πίνακας 45. Damaged GZ – φ Damage Cases 4.1 – 4.3	205
Πίνακας 46. Damaged GZ – φ Damage Cases 12.1 – 12.3	210
Πίνακας 47. Damaged GZ – φ Damage Case 13.....	213
Πίνακας 48. Damaged GZ – φ Damage Cases 14	216
Πίνακας 49. Damaged GZ – φ Damage Cases 1.1 – 1.3	218
Πίνακας 50. Damaged GZ – φ Damage Cases 2.1 – 2.3	221
Πίνακας 51. Damaged GZ – φ Damage Cases 3.1 – 3.3	223
Πίνακας 52. Damaged GZ – φ Damage Cases 4.1 – 4.3	225
Πίνακας 53. Damaged GZ – φ Damage Cases 5.1 – 5.3	227
Πίνακας 54. Damaged GZ – φ Damage Cases 6.1 – 6.3	229
Πίνακας 55. Damaged GZ – φ Damage Cases 7.1 – 7.2	231
Πίνακας 56. Damaged GZ – φ Damage Cases 8.1 – 8.2	233
Πίνακας 57. Damaged GZ – φ Damage Cases 9.1 – 9.2	235
Πίνακας 58. Damaged GZ – φ Damage Cases 10.1 – 10.3	237
Πίνακας 59. Damaged GZ – φ Damage Cases 11.1 – 11.3	239
Πίνακας 60. Damaged GZ – φ Damage Cases 12.1 – 12.3	241
Πίνακας 61. Damaged GZ – φ Damage Case 13.....	243
Πίνακας 62. Τιμές του συντελεστή $1+k_2$ για διαφορετικά είδη παρελκομένων	252
Πίνακας 63. Παρελκόμενα υπό μελέτη πλοίου	252
Πίνακας 64. Σημεία καμπυλών $V - R_t$ και $V - EHP$	257
Πίνακας 65. Πολυώνυμα Κουρματζή για τον υπολογισμό των $P/D, \eta_0, J$	265
Πίνακας 66. Σημεία καμπύλης Speed – Engine Power	267
Πίνακας 67. Διαστάσεις των πεντάπτερων ελίκων της σειράς Wagenigen - B.....	270
Πίνακας 68. Αποτελέσματα ισχύος SHP σε ρυπασμένες καταστάσεις, όπως προέκυψε έπειτα από παρεμβολή στα αποτελέσματα του GRID για $P/D = 1,319$	272
Πίνακας 69. Ισχύς στον άξονα SHP συναρτήσεως των στροφών	275
Πίνακας 70. Απαιτήση ισχύος στον/στους άξονα/ες για ρυπασμένη κατάσταση στην ταχύτητα υπηρεσίας και σε δύο ταχύτητες μάχης.....	276
Πίνακας 71. Σημεία καμπύλης ταχύτητας – ακτίνας ενέργειας και ειδικής κατανάλωσης – % φόρτισης των μηχανών.....	282

Πίνακας 72. Συντελεστές ασφαλείας αντοχής	287
Πίνακας 73. Συντελεστές ασφαλείας για στατική και δυναμική φόρτιση	289
Πίνακας 74. Ιδιότητες αντοχής χάλυβα	294
Πίνακας 75. Υπολογισμός ροπής αντίστασης ελασμάτων μέσης τομής	301
Πίνακας 76. Υπολογισμός ροπής αντίστασης ενισχυτικών μέσης τομής	303
Πίνακας 77. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών καμπτικής ροπής και έλεγχος	304
Πίνακας 78. Τύποι και αριθμός ενισχυτικών μέσης τομής	304
Πίνακας 79. Βάρος χάλυβα ανά τρέχον μέτρο	305
Πίνακας 80. Συντελεστές αντίστασης από τις δύο μεθόδους στους 16 kn	317
Πίνακας 81. Συντελεστές αντίστασης από τις δύο μεθόδους στους 32 kn	318
Πίνακας 82. Σημεία καμπυλών ταχύτητας – συντελεστή αντίστασης Holtrop/Shipflow	318
Πίνακας 83. Σύγκριση συνολικής αντίστασης και ποσοστώσεων αυτής όπως προέκυψαν από τις δύο μεθόδους	320
Πίνακας 84. Τυπικός βολβός μοντέλου αναφοράς	333
Πίνακας 85. Παράμετροι αξιολόγησης μοντέλου αναφοράς (με τυπικό βολβό – χωρίς σφήνα)	333
Πίνακας 86. Σχεδιαστικές παράμετροι, το εύρος τους και οι παράμετροι αξιολόγησης	334
Πίνακας 87. Σχεδιαστικές παράμετροι και το νέο τους εύρος	335
Πίνακας 88. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μοντέλου σφήνας des0015 και παράμετροι αξιολόγησης ...	337
Πίνακας 89. Όρια παραμέτρων περιγραφής του βολβού	338
Πίνακας 90. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από επεξεργασία με το μοντέλο CEM από τις παρατηρήσεις των πλοίων και του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης	350
Πίνακας 92. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από επεξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και του μετεωρολογικού σταθμού της Κως	352

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1. Σπείρα της σχεδίασης [Ship Construction, D.J. Eyres]	31
Σχήμα 2. Διάγραμμα αριθμού Froude συντελεστική αντίστασης C_w	36
Σχήμα 3. Σκαριφηματική απεικόνιση κορβέτας υπο κλίμακα	56
Σχήμα 4. Τελική μορφή σχεδίου γραμμών κορβέτας, μετά το πέρας της διαδικασίας της εξομάλυνσης στο πρόγραμμα AVEVA	74
Σχήμα 5. Προφίλ κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των buttocks	75
Σχήμα 6. Κάτοψη κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των ισάλων	75
Σχήμα 7. Πρόσοψη κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των νομέων	75
Σχήμα 8. Υδροστατικό διάγραμμα	100
Σχήμα 9. Καμπύλες ευστάθιας Cross curves	108
Σχήμα 10. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	125
Σχήμα 11. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη Full Loads Condition	127

Σχήμα 12. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη MINOP Condition	129
Σχήμα 13. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη FULL LOADS (without margin) Condition	131
Σχήμα 14. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη MINOP (without margin) Condition	133
Σχήμα 15. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής	135
Σχήμα 16. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads Condition	137
Σχήμα 17. . Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την MINOP Condition.....	139
Σχήμα 18. . Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads (without margin) Condition	141
Σχήμα 19. . Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την MINOP (without margin) Condition	143
Σχήμα 20. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου σε βεβλαμμένη κατάσταση και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	148
Σχήμα 21. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 1.1 – 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	154
Σχήμα 22. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	155
Σχήμα 23. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 2.1 – 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	160
Σχήμα 24. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	160
Σχήμα 25. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 3.1 – 3.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	165
Σχήμα 26. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 3.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	166
Σχήμα 27. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 4.1 – 4.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	171
Σχήμα 28. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 4.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	171
Σχήμα 29. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 5.1 – 5.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	176
Σχήμα 30. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 5.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	177
Σχήμα 31. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 6.1 – 6.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	182
Σχήμα 32. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 6.1 και βραχίονας	

εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	182
Σχήμα 33. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 7.1 – 7.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	186
Σχήμα 34. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 7.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	187
Σχήμα 35. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 8.1 – 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	190
Σχήμα 36. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	191
Σχήμα 37. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 9.1 – 9.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	194
Σχήμα 38. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 9.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	195
Σχήμα 39. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 10.1 – 10.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	200
Σχήμα 40. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 10.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	200
Σχήμα 41. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 11.1 – 11.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	205
Σχήμα 42. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 11.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	206
Σχήμα 43. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 12.1 – 12.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	210
Σχήμα 44. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 12.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	211
Σχήμα 45. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμμένη κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	213
Σχήμα 46. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	214
Σχήμα 47. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμμένη κατάσταση 14.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	216
Σχήμα 48. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 14.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	217
Σχήμα 49. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 1.1 – 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	219
Σχήμα 50. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	220
Σχήμα 51. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 2.1 – 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	222
Σχήμα 52. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 2.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	222

Σχήμα 53. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 3.1 – 3.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	224
Σχήμα 54. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 3.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	224
Σχήμα 55. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 4.1 – 4.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	226
Σχήμα 56. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 4.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	226
Σχήμα 57. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 5.1 – 5.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	228
Σχήμα 58. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 5.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	228
Σχήμα 59. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 6.1 – 6.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	230
Σχήμα 60. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 6.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	230
Σχήμα 61. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 7.1 – 7.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	232
Σχήμα 62. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 7.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	232
Σχήμα 63. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 8.1 – 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	234
Σχήμα 64. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 8.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	234
Σχήμα 65. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 9.1 – 9.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	236
Σχήμα 66. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 9.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	236
Σχήμα 67. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 10.1 – 10.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	238
Σχήμα 68. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 10.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	238
Σχήμα 69. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 11.1 – 11.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	240
Σχήμα 70. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 11.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	240
Σχήμα 71. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 12.1 – 12.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου.....	242
Σχήμα 72. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 12.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	242
Σχήμα 73. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμμένη κατάσταση 13.1 και βραχίονας	

εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	244
Σχήμα 74. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου	244
Σχήμα 75. Καμπύλη ταχύτητας – ολικής αντίστασης	257
Σχήμα 76. Καμπύλη ταχύτητας – ωφέλιμης ισχύος EHP	258
Σχήμα 77. Ανοχές έλικας και σκάφους για ανακρεμασμένο πηδάλιο.	262
Σχήμα 78. Καμπύλη ταχύτητας – ισχύος στον άξονα SHP, σε καθαρή και ρυπασμένη κατάσταση	267
Σχήμα 79. Πλέγμα ισοβηματικών και ισοταχών καμπυλών, όπως προέκυψε από τον κώδικα GRID	271
Σχήμα 80. Καμπύλη ταχύτητας – ισχύος SHP (και στους δύο άξονες) για διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης της μηχανής, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του κώδικα GRID.....	273
Σχήμα 81. Διάταξη συστήματος πρόωσης CODOG.....	274
Σχήμα 82. Διάγραμμα στροφών – ισχύος SHP ανά άξονα για καθαρή και ρυπασμένες καταστάσεις... 276	
Σχήμα 83. Επιλεγθείσα μηχανή Diesel MTU 16V 2000 M94	277
Σχήμα 84. Επιλεγείς αεριοστροβίλος Rolls Royce SPEY.....	278
Σχήμα 85. Καμπύλη % φόρτισης της μηχανής Diesel συναρτήσει της ειδικής κατανάλωσης	281
Σχήμα 86. Καμπύλη ισχύος αεριοστροβίλων (μεταξύ άλλων και του LM2500) συναρτήσει της ειδικής κατανάλωσης	282
Σχήμα 87. Καμπύλη ταχύτητας - ακτίνας ενέργειας για λειτουργία είτε των ντίζελ, είτε των αεριοστροβίλων.....	283
Σχήμα 88. Διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία μέσης τομής	288
Σχήμα 89. Κατανομή παράγοντα C_M	289
Σχήμα 90. Διάγραμμα καμπτικών ροπών, τεμνουσών δυνάμεων σε ήρεμο νερό	291
Σχήμα 91. Σύμβαση συμβόλων	291
Σχήμα 92. Σχέδιο μέσης τομής.....	305
Σχήμα 93. Απεικόνιση των τριών περιοχών που ορίζονται στην προσέγγιση Ζώνης (Zonal Approach) .310	
Σχήμα 94. Απεικόνιση νομέων της γάστρας μετά τη μεταφορά της γεωμετρίας από το AVEVA στο Shipflow	314
Σχήμα 95. Απεικόνιση νομέων, όπου διακρίνονται με διαφορετική πύκνωση οι τρεις ομάδες bulb, hull, stern	314
Σχήμα 96. Κατασκευή πάνελ στα τρία τμήματα της γάστρας	315
Σχήμα 97. Παραχθέν σύστημα κυματισμών στους 16 kn.....	316
Σχήμα 98. Διαφοροποιήσεις στην πύκνωση του πλέγματος των πάνελ της ελεύθερης επιφάνειας	316
Σχήμα 99. Παραχθέν σύστημα κυματισμών στους 32 kn.....	317
Σχήμα 100. Αποκτούμενη γωνία διαγωγής $\text{triman} = 1,58^\circ$ και ύψος ακολουθούντων κυματισμών	317
Σχήμα 101. Καμπύλη ταχύτητας – συντελεστή αντίστασης κατά Holtrop και Shipflow αντίστοιχα	319
Σχήμα 102. Ποσοστιαία απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων συναρτήσει της ταχύτητας.....	319
Σχήμα 103. Διάγραμμα Eval_TRIMAN_16 – Eval_TRIMAN_32 για την αρχική περιοχή διερεύνησης....	334
Σχήμα 104. Διάγραμμα TRIMAN_16 – TRIMAN_32 και επιλεγμένη σφήνα για την εντοπισμένη περιοχή διερεύνησης.....	335
Σχήμα 105. Διάγραμμα C_w_{16} – TRIMAN_32 και η επιλεγμένη σφήνα στην επιθυμητή περιοχή	336
Σχήμα 106. Διάγραμμα C_w_{16} – C_w_{32} και επιλεγμένη σφήνα	336

Σχήμα 107. Σύνορο βέλτιστων λύσεων Pareto	338
Σχήμα 108. Διάγραμμα κριτηρίων βελτιστοποίησης $Cw_{16} - Cw_{32}$, Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας βελτιστοποίησης (από πράσινο σημείο σε κόκκινο).....	339
Σχήμα 109. Κατεύθυνση του πλοίου σε σχέση με την κορυφογραμμή του κύματος.....	348

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. Εκτοξευτήρας MK 41 VLS	77
Εικόνα 2. Σύστημα 8 κυψελών και ο όγκος που καταλαμβάνει η τοποθέτηση τους	78
Εικόνα 3. Αντιαεροπορικό βλήμα ESSM	78
Εικόνα 4. Τορπίλες MK 46 και τορπιλοσωλήνες MK 32	79
Εικόνα 5. Εκτοξευτήρας RAM	80
Εικόνα 6. Εκτοξευτήρες αντιπλοϊκών πυραύλων Harpoon	81
Εικόνα 7. Ναυτικό όπλο ΟΤΟ Melara 76 mm	82
Εικόνα 8. I – Mast 400 Thales	83
Εικόνα 9. Επιφάνεια γάστρας, όπως δημιουργήθηκε μέσα από το πρόγραμμα AVEVA Surface & Compartments	89
Εικόνα 10. Διαμερισματοποίηση της γάστρας	90
Εικόνα 11. Διαμερισματοποίηση της γάστρας, διακρίνονται οι δεξαμενές των διπυθμένων	90
Εικόνα 12. [Αριστερά] Παραμετρικός βολβός, με διαφορετικό χρώμα διακρίνονται οι δύο Meta-surfaces από τις οποίες αποτελείται. [Δεξιά] Πρωραίοι νομείς σταθερής γάστρας μετά την τομή με την cutting line (καμπύλη στην εικόνα)	329
Εικόνες 13. [Αριστερά] Τμήμα επιφανείας γάστρας “main_hull”, που διέρχεται από τους νομείς, τους οποίους διαμορφώσαμε για την προσθήκη του fillet. [Δεξιά] Επιφάνεια “fillet_surface”	330
Εικόνα 14. Παραμετρική επιφάνεια σφήνας (γκρί) και ένωσή της με την Image surface (κίτρινο) της σταθερής επιφανείας “lofting” (κόκκινο) της γάστρας	331
Εικόνα 15. Άποψη παραχθείσας τελικής γάστρας με διαμορφωμένο παραμετρικό – μεταβλητό βολβό και σφήνα στην περιοχή του καθρέπτη	331
Εικόνα 16. Μορφή βελτιστοποιημένου τελικού βολβού	340

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεδομένης της τάσης πολλών ναυτικών ανά τον κόσμο να στρέφονται σε όσο το δυνατό οικονομικά αποδοτικότερες λύσεις για τη συγκρότηση της Ναυτικής τους δύναμης και λόγω των δυσμενών οικονομικών συγκυριών που διέρχεται η χώρα μας, η στελέχωση του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού με μικρές αλλά αποδοτικές μάχιμες μονάδες επιφανείας, όπως η παρούσα πρόταση, δύναται να συγκροτήσει μια πανάξια και αποτελεσματικότερη εναλλακτική απάντηση στα οικονομικά δυσβάταχτα εξοπλιστικά προγράμματα του παρελθόντος. Εάν μάλιστα συνυπολογίσουμε το γεγονός, ότι το συνολικό εγχείρημα προϋποθέτει την κινητοποίηση, ως επι το πλείστα, των εγχώριων παραγωγικών δυνάμεων, τότε το ζητούμενο της αποδέσμευσης από τα παραδοσιακά ευρωπαϊκά κράτη « εμπόρους » πολεμικών εξοπλισμών, φαντάζει ευφικτότερο από ποτέ και δύναται να καταστήσει την Ελλάδα αυθύπαρκτη και ισχυρότερη σε μια ακολουθία θεμάτων, που εκτείνονται στις περιοχές της γεωπολιτικής, της διπλωματίας, των διεθνών σχέσεων, της αμυντικής ισχύος και της οικονομίας.

Η μείωση των αμυντικών προϋπολογισμών έχει οδηγήσει, όπως είπαμε, σε συρρίκνωση των στόλων. Έτσι η χρήση εξειδικευμένων πλοίων έχει πλέον μειωθεί σημαντικά. Οι περισσότερες σύγχρονες μάχιμες μονάδες επιφανείας είναι σχεδιασμένες, ώστε να εκτελούν πολλαπλές αποστολές (multi-purpose) . Η σχεδίαση πλοίων πολλαπλών αποστολών έχει καταστεί ευφικτή, επειδή πολλοί διαφορετικοί τύποι βλημάτων μπορούν, πλέον, να χρησιμοποιήσουν τους ίδιους εκτοξευτήρες. Σε αυτά περιλαμβάνονται βλήματα εναντίον υποβρυχίων, πλοίων επιφανείας, εναέριων στόχων (βλήματα, αεροσκάφη και ελικόπτερα) και χερσαίων στόχων.

Οι μάχιμες μονάδες επιφανείας στηρίζονται σήμερα σε ένα ισχυρό σύστημα αυτοάμυνας για να αποφύγουν τα εχθρικά πλήγματα. Η μείωση, επομένως, των υπογραφών (ραντάρ, υπέρυθρη, ακουστική κλπ.) οι οποίες χρησιμοποιούνται από τον εχθρό για την ανίχνευση, τον εγκλωβισμό και την εμπλοκή του πλοίου, αποκτά μείζονα σημασία. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά την υπογραφή σε συστήματα ραντάρ - ραδιοτομή (Radar Cross Section, RCS), τα τελευταία χρόνια παρατηρείται συνολική στροφή της σχεδίασης των υπερκατασκευών των πλοίων με κλειστές κεκλιμένες επίπεδες επιφάνειες (μια κλίση 12° κατ' ελάχιστο, θεωρείται ικανή να σκεδάσει την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, προς κατευθύνσεις διαφορετικές από εκείνες του ραντάρ). Η απόκρυψη του εξοπλισμού καταστρώματος σε χαμηλές γωνίες ανώψωσης, η αποφυγή ανοιγμάτων στις πλευρές του σκάφους και σχηματισμού τριέδρων γωνιών, είναι μερικές από τις συνήθεις τεχνικές μείωσης της ραδιοτομής. Επίσης, οι ιστοί είναι πλέον κλειστοί και ενσωματώνουν πάνω τους, σε ένα πολυέδρο, όλες τις κεραιές του σκάφους. Στην παρούσα μελέτη, έχει γίνει προσπάθεια να συμπεριληφθούν όλες αυτές οι νέες τάσεις σχεδίασης εξωτερικών επιφανειών και συστημάτων, ώστε το πλοίο μας να ανταποκρίνεται στις πιο σύγχρονες προδιαγραφές. Για πολλά χρόνια οι κορβέτες εμφανίζονταν ως «οι φτηνές» εναλλακτικές λύσεις για ναυτικά, που λόγω μικρού προϋπολογισμού, δεν μπορούσαν να προμηθευτούν και να συντηρήσουν φρεγάτες. Σταδιακά όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας και η μεταβολή στις επιχειρησιακές απαιτήσεις έχουν επιτρέψει στις μικρές αυτές μάχιμες μονάδες να αναλάβουν πιο σημαντικούς ρόλους. Έτσι, σήμερα συναγωνίζονται ή αντικαθιστούν φρεγάτες σε πολλές αποστολές. Επιπλέον, τις συναντάμε σε ρόλους που παραδοσιακά εκτελούσαν περιπολικά ανοικτής θάλασσας ή πυραυλάκατοι. Τα συστήματα που μπορούν να μεταφέρουν

όπως αισθητήρες, οπλικά, ελικόπτερα και μη-επανδρωμένα οχήματα (UAVs) τις καθιστούν ανώτερες των ελαφρότερων ή λιγότερο εξοπλισμένων σκαφών και παράλληλα ικανές εναλλακτικές λύσεις για τις φρεγάτες στα περισσότερα πιθανά σενάρια. Έτσι θεωρούνται από πολλούς αναλυτές οι αποδοτικότερες (cost-effective) λύσεις για εκτεταμένες επιχειρήσεις σε παράκτια ύδατα (littoral waters), όπως θεωρούνται ως επι το πλείστο τα ελληνικά. Το μεγαλύτερο εκτόπισμα που προσφέρουν οι φρεγάτες μεταφράζεται σε μεγαλύτερη ακτίνα δράσης ή αυτονομία και καλύτερη συμπεριφορά σε κυματισμούς. Όταν οι παράγοντες αυτοί δεν είναι οι πιο κρίσιμοι (όπως συνήθως συμβαίνει σε παράκτιες επιχειρήσεις), τότε μια κορβέτα μπορεί να αντικαταστήσει μια φρεγάτα. Τα οπλικά συστήματα που μεταφέρουν οι δύο αυτοί τύποι πλοίων είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος. Στις μικρότερες κορβέτες δεν υπάρχει συνήθως ο διαθέσιμος χώρος και εκτόπισμα προκειμένου να μεταφέρουν τα μεγάλα και περίπλοκα συστήματα ανθυποβρυχιακών (ASW) και αντιαεροπορικών επιχειρήσεων (AAW) μεσαίας ακτίνας. Το γεγονός αυτό δεν ισχύει για μεγαλύτερες μονάδες με εκτοπίσματα κοντά στους 3000 τόνους, όπως η υπό μελέτη κορβέτα. Επιπλέον, η σχεδίαση που προτείνουμε, μπορεί να μεταφέρει ελικόπτερο αναβαθμίζοντας σημαντικά τις αποστολές που μπορεί να εκτελέσει.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Η σχεδίαση και οι επιχειρησιακές απαιτήσεις (operational requirements) του σκάφους, είναι κατάλληλες για ένα σύνολο ενεργειών, όπως : αποστολές ακτοφυλακής (περιπολία και επιτήρηση, επιβολή του νόμου, νηοψία, συνοδεία, περιβαλλοντική προστασία, προστασία αλιείας), αποστολές έρευνας και διάσωσης (θαλάσσια S&R, αντιμετώπιση καταστροφών, εκκένωση πληθυσμών, ιατρικές/ανθρωπιστικές αποστολές), αποστολές υποστήριξης (παρουσία σε περιόδους κρίσης, επίδειξη σημαίας, μεταφορά εφοδίων, συλλογή στοιχείων, εκπαίδευση), αποστολές συνεργασία με συμμαχικές δυνάμεις καθώς και τις εξής πολεμικές επιχειρήσεις :

- Παροχή κάλυψης σε εκστρατευτικές δυνάμεις (expeditionary forces)
- Ικανότητα διεξαγωγής επιχειρήσεων ναυτικής υποστήριξης πυροβολικού
- Μεγάλες ικανότητες στη παροχή αντιαεροπορικής προστασίας στα πλοία που συνοδεύει (Anti-Air Warfare, AAW)
- Ικανότητα διεξαγωγής ανθυποβρυχιακών επιχειρήσεων και επιχειρήσεων εναντίον στόχων επιφάνειας (Anti Submarine and Anti-Surface Warfare, ASW, ASuW)
- Αντιπυραυλική προστασία για στόχους υψηλής αξίας και παροχή προστασίας μεγάλης εμβέλειας σε ομάδες ανάληψης αποστολών (task forces)
- Αντιμετώπιση ασύμμετρων απειλών
- Πολεμικές επιχειρήσεις ηλεκτρονικού πολέμου – EW

Η σχεδίαση υπόκειται στους παρακάτω περιορισμούς, που θεωρείται ότι εξυπηρετούν τις εθνικές ανάγκες αμύνης της χώρας μας. Οι θεωρηθείσες απαιτήσεις του πλοιοκτήτη προέκυψαν από τη συνεργασία του γράφοντος με το Γ.Ε.Ν, έτσι ώστε να είναι κατά το δυνατό ρεαλιστικότερες και να βρίσκονται, όσο το δυνατό εγγύτερα, στις πιθανές απαιτήσεις του Πολεμικού Ναυτικού για ένα σκάφος αυτού του τύπου, τα επόμενα χρόνια.

Εκτόπισμα : από 2000 t έως 2900 t

Μέγιστη ταχύτητα : από 28 kn έως 32 kn

Υπηρεσιακή ταχύτητα : από 14 kn έως 16 kn

Αυτονομία : 3500 n.m

Βάρη :

- Όπλο 3 in. Oto Melara + πυρομαχικά
- Αντιπυραυλικό σύστημα (RAM ή Phalanx)
- 32 βλήματα A/A βάρους 100 έως 200 kg έκαστο
- 8 βλήματα επιφανείας Harpoon / Exocet

- Ραντάρ και τηλεπικοινωνίες I - Mast 400 Thales
- Sonar

Ελικοδρόμιο να αντέχει ελικόπτερο βάρους 10 tn

Πρόωση : C.O.D.O.G / C.O.D.L.O.G / C.O.D.O.G / C.O.D.A.D

Ηλεκτρική ισχύς : 3 γεννήτριες τουλάχιστον 600 kW έκαστη

Νηογώμονας : Αμερικανικός ή Γερμανικός

Υλικά κατασκευής : Χρήση αλουμινίου καλό είναι να αποφευχθεί. Προτιμότερος ο ναυπηγικός χάλυβας παντού.

ΣΥΝΟΨΗ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ

Τα κύρια χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου παρατίθενται ακολούθως σε συνοπτική μορφή, ώστε να δοθεί μια σύντομη, πλήν ολοκληρωμένη, εικόνα των βασικών διαστάσεων και των στοιχείων της κορβέτας.

Όνομα : “Hydra” Class , Hellenic Navy Corvette

Βασικές Διαστάσεις : Ολικό μήκος 107.5 m, Μήκος μεταξύ καθέτων 100 m, Πλάτος στην ίσαλο σχεδίασης 14.2, Βύθισμα 4.1 m, Συντελεστής γάστρας 0.4716, ακτίνα ενέργειας με οικονομική ταχύτητα 4500 n.m, Εκτόπισμα σε κατάσταση πλήρους φόρτου 2826.8 t

Ηλεκτρική εγκατάσταση : Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη 3x 880 kW

Σύστημα πρόωσης : Κύριες μηχανές 2x Rolls Royce Bergen C25:33L6P diesel engines + 2x Rolls Royce SPEY gas turbines, έλικες 2x Rolls – Royce five blades CPP, μειωτήρες στροφών, πηδάλια. Συνιστάται το σύστημα πρόωσης CODOG (Συνδιασμός αεριοστροβίλου ή μηχανών ντίζελ). Το σύστημα λειτουργεί με τις δύο μηχανές ντίζελ (μία σε κάθε άξονα) στη χαμηλή ταχύτητα υπηρεσίας – οικονομική λειτουργία και με τους δύο αεριοστροβίλους (έναν σε κάθε άξονα), για την επίτευξη της μέγιστης ταχύτητας.

Ταχύτητες πλεύσης : Οικονομική ταχύτητα 16 kn, μέγιστη ταχύτητα μάχης με τους δύο αεριοστροβίλους 29,2 kn (στο 80% MCR) και 30,9 kn (full power - 100% MCR)

Ηλεκτρομαγνητική υπογραφή : Για τη μείωση της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής του πλοίου, η σχεδίαση προβλέπει εφαρμογή της αρχής της εκτροπής για τη γάστρα και την υπερκατασκευή (διάθλαση – εκτροπή κυμάτων), κλίση 12° των πλευρών του πλοίου, αποφυγή δημιουργίας τριεδρών γωνιών, εγκατάσταση των μηχανισμών πρόσδεσης, αγκυροβολίας, καθέτων εκτοξευτήρων και συρόμενου σόναρ, εσωτερικά του πλοίου, επιλογή όπλων τεχνολογίας, stealth, κλειστή υπερκατασκευή, κλειστά παραπέτα, παράθυρα γέφυρας αντανακλαστικού τύπου, κρυφά ανοίγματα και εγκατάσταση ολοκληρωμένου ιστού.

Ευστάθεια : Υιοθετούνται τα κριτήρια σε άθικτη και μετά από βλάβη κατάσταση, καθώς και τα κριτήρια για εφεδρική άντωση, όπως αυτά ορίζονται στο Design Data Sheet (DDS) 079 – 1 for “Ocean Unlimited” operation. Το σκάφος υποδιαιρείται σε 16 στεγανά διαμερίσματα και επιβιώνει μετά από κατάκλιση ίση με το 15% L_{BP} .

Ειδικές δυνάμεις : Το πλοίο μπορεί να μεταφέρει δύο ταχύπλοα φουσκωτά σκάφη (RIBS).

Ελικόπτερο : Προβλέπεται η μεταφορά και η λειτουργία ενός ελικόπτερου των δέκα τόνων, τύπου Sikorsky S-70B Aegean Seahawk, με κατάλληλων διαστάσεων ελικοδρόμιο (24 m) και υπόστεγο (hangar).

Όπλα : Προβλέπονται οπικά συστήματα που περιλαμβάνουν κύριο πυροβόλο 1x 76 mm Super Rapid gun with STRALES kit, δευτερεύον πυροβόλο 2x MARLIN WS 30 mm, πυρναίο όπλο PDMS RAM 21 cells, όπλα για ασύμμετρες απειλές 12.7 mm Automatic Machine guns, πυραύλους επιφανείας – επιφανείας 2x4 SSM Harpoon Block 2, κάθετα εκτοξευόμενα βλήματα επιφανείας - αέρος 1x Mk 41 VLS (16 cells), τορπίλες 2x 324 mm Mk 32 Triple Launchers for Mk 46, ηλεκτρονικά αντίμετρα.

Αισθητήρες : Στους αισθητήρες περιλαμβάνονται ένας ολοκληρωμένος ιστός I mast 400 της Thales με 1x X- band Surface Radar, 1x S- band Surveillance Radar, 4x Flat panel UHF/VHF Comms Antennas, 1x Satellite Communication Antenna, 1x IFF, 2x Fleet 77 Antennas, 1x ESM system, 1x Laser Warning System, 1x IRST system. Επιπλέον προβλέπονται Hull Mounted sonar, Towed Array VD Sonar, Navigator radar subsystems, συστήματα εσωτερικής και εξωτερικής επικοινωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

« Μέγα το της θαλάσσης κράτος »

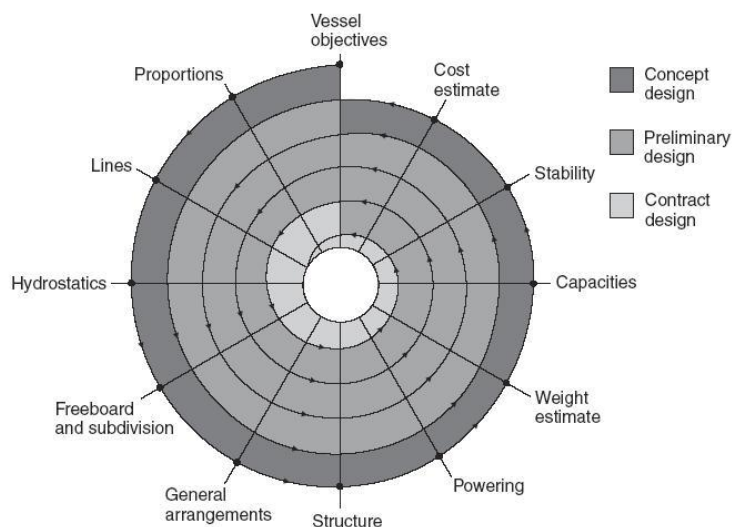
Περικλής, 495-429 π.Χ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

1.1. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - ΟΜΟΙΑ ΠΛΟΙΑ

Ο αρχικός σχεδιασμός του πλοίου έγινε σύμφωνα με τη σπείρα σχεδίασης (βλ. *Σχήμα 1*). Αρχικά επελέγησαν τα όμοια πλοία από τα οποία αντλήθηκαν στοιχεία χρήσιμα για την σχεδίαση. Τα στοιχεία τους περιλαμβάνονται στους *Πίνακες 1* και *2*. Ο πίνακας αυτός στοιχειοθετήθηκε από δεδομένα που αντλήθηκαν από διαδικτυακές πηγές, έπειτα από ενδελεχή σχετική έρευνα, όπως επίσης και από αρχείο που μου εστάλη από τον αντιναύαρχο κύριο Ηλία Δημόπουλο της Διεύθυνσης Εξοπλισμών του ΓΕΝ.



Σχήμα 1. Σπείρα της σχεδίασης [Ship Construction, D.J. Eyres]

Στη φάση της προμελέτης, η παρουσία και άλλων όμοιων πλοίων είναι εφικτή και αναγκαία για την εξαγωγή συντελεστών και σταθερών, τα οποία δημιουργούν τα πλαίσια, μέσα στα οποία θα κινηθούμε για την εξαγωγή των βασικών διαστάσεων. Αρχικά παρουσιάζεται ο πίνακας με τα επιλεγμένα όμοια πλοία, τα κύρια στοιχεία τους και τους βασικούς συντελεστές. Η επιλογή τους έγινε με κριτήριο το εκτόπισμα να βρίσκεται κοντά σ αυτό του υπο μελέτη πλοίου. Στη συνέχεια απο την ομάδα πλοίων που

καταλήξαμε αφαιρέθηκαν κάποια με ελλιπή ή αβέβαια στοιχεία. Ως «πατρικό» πλοίο θα χρησιμοποιηθεί το “Superior Class Frigate”, το οποίο αποτέλεσε την πρόταση των Todd Pacific Shipyard προς το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό για την κάλυψη του εξοπλιστικού προγράμματος φρεγατών της περιόδου 1992-99, τα κύρια χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον Πίνακα 1.

ΟΝΟΜΑ ΠΛΟΙΟΥ	K - 130	SIGMA CLASS	NAKHODA RAGAM CLASS	BAYNUNAH CLASS	KEDAH MEKO 100 RMN	SUPERIOR CLASS FRIGATE
ΕΤΟΣ ΝΑΥΠΗΓΗΣΗΣ	2005 - 2009	2005 - 2009	2001 - 2004	2003 - 2012	2001 - 2010	1987
Loa [m]						
Lbp ([)	89,12	90,7	89,9	71,3	91,1	99.8
B [m]	13,28	13,02	12,8	11	12,85	14
D [m]						7,924
T [m]	3,4	3,6	3,6	2,8	3,4	3,9
DWT [t]						302,43
Δ [t]	1840	1692	1940	915	1850	2611
LS [t]						2308,57
Vs [kn]	26	28	30	32	22	30
PB [kW]	14800	16200	30200	16800	10900	49500
COMPLEMENT	65	80	79	37	68	129
L / B	6,7108	6,9662	7,0234	6,4818	7,0895	7,128
L / D						12,5946
B / T	3,9059	3,6167	3,5556	3,9286	3,7794	3,5897
D / T						2,0318
DWT / Δ						0,1158
WLS						0,208
Cn	178,3214	192,4093	139,0671778	183,8321	147,2163	103,426
Cb	0,4457	0,3879	0,4564	0,4061	0,4530	0,467
Fn	0,4524	0,4829	0,5197	0,6225	0,3786	0,4932
CWL	0,6305	0,5919	0,6376	0,6041	0,6354	0,6447
CP	0,4721	0,4171	0,4823	0,4344	0,4791	0,4924
CM	0,9441	0,9301	0,9463	0,9349	0,9456	0,9485
Cy	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030

Πίνακας 1. Λίστα ομοίων πλοίων Α

ΟΝΟΜΑ ΠΛΟΙΟΥ	PROJECT KHARREF	MILGEM	GOWIND	MEKO A-100	BAE SYSTEMS	ALS 100
ΕΤΟΣ ΝΑΥΠΗΓΗΣΗΣ	2007 - 2011	1996 - 2007	2006	1999	-	2010
Loa (m)						
Lbp (m)	99	99	105	85,5	99	103
B (m)	14,6	14,4	14,2	11,65	14,6	12,44
D (m)				7,4		
T (m)	4,1	3,89	4	3,4	4,1	4,1
DWT (ton)						
Δ (ton)	2660	2300	2500	1750	2600	2655
LS (ton)						
Vs (kn)	25	31	27	28	25	30
PB (kW)		31640		19600		34830
COMPLEMENT		93	60	80	103	
L / B	6,7808	6,8750	7,3944	7,3391	6,7808	8,2797
L / D				11,5541		
B / T	3,5610	3,70	3,5500	3,4265	3,5610	3,0341
D / T				2,1765		
DWT / Δ						
WLS						
Cn		164,0592		162,6460		148,6346
Cb	0,4375	0,4042	0,4086	0,5036	0,4276	0,4926
Fn	0,4127	0,5117	0,4328	0,4974	0,4127	0,4855
CWL	0,6250	0,6028	0,6057	0,6691	0,6184	0,6617
CP	0,4643	0,4326	0,4367	0,5273	0,4549	0,5167
CM	0,9423	0,9344	0,9355	0,9552	0,9401	0,9532
Cγ	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030

Πίνακας 2. Λίστα ομοίων πλοίων B

Τα βάρη ενός πολεμικού πλοίου δεν ακολουθούν την συμβατική κατηγοριοποίηση των εμπορικών πλοίων, δηλαδή, δεν διαχωρίζονται σε βάρος μεταλλικής κατασκευής W_{st} , βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης W_m και βάρος εξοπλισμού W_{ot} , για τη σύνθεση του βάρους άφορτου σκάφους (Lightship). Αντί αυτού, χρησιμοποιείται στα πολεμικά πλοία το Expanded Ship Work Breakdown (ESWBS) του Αμερικανικού Ναυτικού που αναγνωρίζει τις παρακάτω ομάδες βαρών :

Κατηγορία Βάρους	Περιγραφή
100	Κατασκευή
200	Προωστήρια Εγκατάσταση
300	Ηλεκτρική Εγκατάσταση
400	Επικοινωνίες / Διοίκηση /Επιτήρηση
500	Βοηθητικά Συστήματα
600	Εξοπλισμός
700	Οπλισμός
M	Περιθώρια (margins)
F	Καύσιμα, Φορτίο

Πίνακας 3. Κατηγορίες Βαρών κατά ESWBS

Έτσι π.χ το ωφέλιμο φορτίο της αποστολής του πλοίου (mission payload) απαρτίζεται από ένα κομμάτι την κατηγορία 400, την κατηγορία 700 και τμήματα της κατηγορίας F.

1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΡΦΗΣ

Από τα δώδεκα όμοια πλοία παρουσιάζω για τους λόγους και τους συντελεστές τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές που εμφανίζονται. Ο υπολογισμός των μέσων όρων τους γίνεται αφαιρώντας για κάθε λόγο την max και min τιμή και λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις υπόλοιπες.

	min	max	Μέσος όρος
L / B	6,48182	8,27974	7,00886
L / D			12,07435
B / T	3,03415	3,92857	3,62475
D / T			2,10413
CB	0,38791	0,50364	0,43987
Δ	915,0000	2660,0000	2173,8000
WLS			0,2085
Cn	103,42602	192,40927	160,53955

Πίνακας 4. Μέσοι όροι λόγων και συντελεστών ομοίων πλοίων

Από το μέσο όρο των λόγων και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του GEN θα βρω τις διαστάσεις σε πρώτη προσέγγιση του υπό μελέτη πλοίου. Για τον υπολογισμό, αρχικά, παίρνουμε ως εκτόπισμα τους 2600 τόνους. Με βάση αυτό και τους μέσους όρους των λόγων που έχουμε από πάνω κάνουμε μια αρχική εκτίμηση των διαστάσεων. Έτσι έχουμε :

Δοκιμή A :

$$\Delta = 2600 \text{ t}$$

$$B = \left(\frac{\Delta \cdot (B/T)}{1,025 \cdot 1,005 \cdot C_B \cdot (L/B)} \right)^{(1/3)} = 14,37 \text{ m} \quad , [1] (\sigma.284)$$

$$L_{BP} = B \cdot (L/B) = 100,7186 \text{ m}$$

$$T = \frac{B}{(B/T)} = 3,964 \text{ m}$$

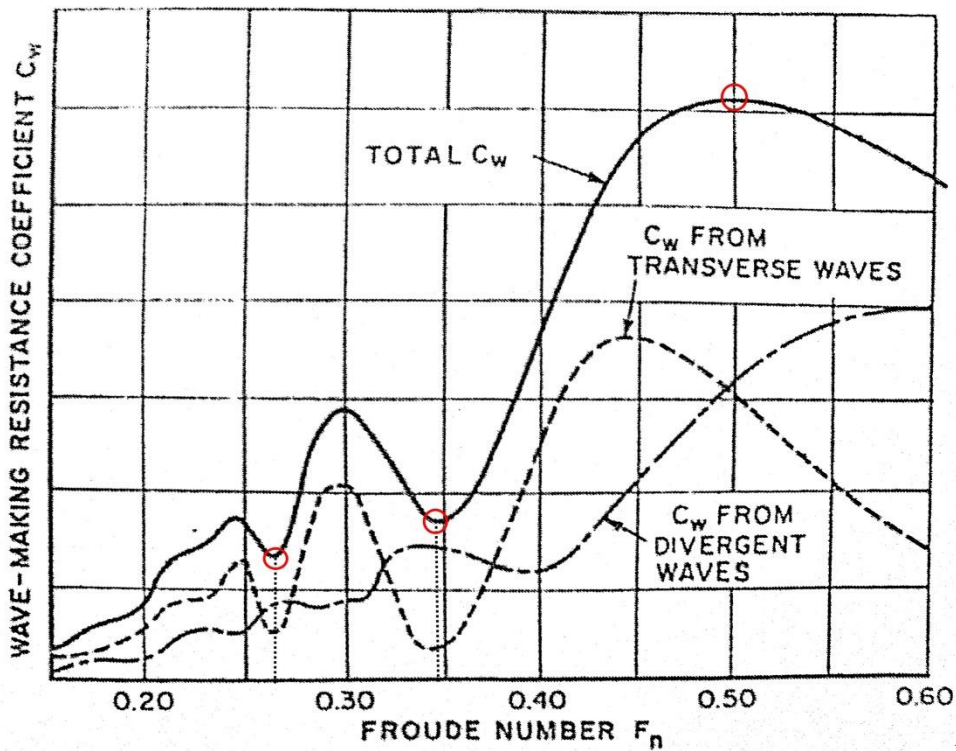
$$D = \frac{L}{(L/D)} = 8,3415 \text{ m}$$

Λόγω έλλειψης στοιχείων για το DWT από όμοια πλοία, το εκτόπισμα βαρών δεν μπορεί να προκύψει απ'ευθείας, άρα πρώτα θα υπολογίσουμε αναλυτικά το DWT, αφού πρώτα κάνουμε μια αρχική εκτίμηση της εγκατεστημένης ισχύος. Εκτελώντας τη διαδικασία που ακολουθεί, για τις παραπάνω αρχικές διαστάσεις καταλήγουμε σε εκτόπισμα μή αποδεκτό (λόγω παραβίασης της γνωστής συνθήκης $(\Delta\Gamma - \Delta B)/\Delta\Gamma < 0,005$). Έτσι τροποποιούμε τις αρχικές διαστάσεις με γνώμονα το εκτόπισμα $\Delta\Gamma$ να βρίσκεται εντός των δοθέντων από τις απαιτήσεις ορίων και να υπερβαίνει το ΔB (με το αναλυτικά υπολογισθέν DWT) το πολύ κατά 0,5%. Έτσι έχουμε :

$$B = 14,2 \text{ m}$$

$$L_{BP} = 100 \text{ m}$$

Η επιλογή του μήκους μεταξύ καθέτων έγινε, λαμβάνοντας, επιπλέον, υπ' όψιν μας την ελαχιστοποίηση της αντίστασης κυματισμού στην ταχύτητα υπηρεσίας. Για το λόγο αυτό κάναμε τον εξής υπολογισμό, με βάση το διάγραμμα της καμπύλης $C_w - F_n$. [1] (σ.39)



Σχήμα 2. Διάγραμμα αριθμού Froude συντελεστή αντίστασης C_w

Παρατηρούμε το τοπικό ελάχιστο στο σημείο $F_n \cong 0,26 \square 0,27$. Έτσι χρησιμοποιώντας την απαίτηση της ταχύτητας υπηρεσίας $V_s = 16$ kn, έχουμε :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \Rightarrow L = \frac{V^2}{g \cdot F_n^2} = \frac{8,231^2}{9,81 \cdot 0,2628^2} = 100 \text{ m}$$

$$T = 4,1 \text{ m}$$

$$D = 7,9 \text{ m}$$

και

$$C_b = 0,4716 \text{ (επιλέγω μεγαλύτερο από το μέσο όρο)}$$

Με αυτά τα αρχικά μεγέθη έχω :

$$\Delta_r = C_b \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_\gamma = 0,4716 \cdot 100 \cdot 14,2 \cdot 4,1 \cdot 1,03 = 2828,0249 \text{ t}$$

$$\Delta_B = LS + DWT = w_{LS} \cdot L \cdot B \cdot D + DWT = 0,208 \cdot 100 \cdot 14,2 \cdot 7,9 + 493,413 = 2826,757 \text{ t}$$

,όπου w_{LS} αυτό του πατρικού και DWT το αναλυτικό που υπολογίζεται παρακάτω¹

¹ Η κυκλική επαναληπτική διαδικασία δεν καταγράφεται με τη χρονική σειρά των υπολογισμών για τη διευκόλυνση του αναγνώστη και το διαχωρισμό της εργασίας σε κεφάλαια.

Έλεγχος :

$$\Delta_{\Gamma} = 2828,0249 \text{ t} > \Delta_{\text{B}} = 2826,757 \text{ t}$$

$$\frac{\Delta_{\Gamma} - \Delta_{\text{B}}}{\Delta_{\Gamma}} = 0,000448 < 0,005 \rightarrow 0,5\% \quad \text{ΔΕΚΤΟ}$$

Συντελεστής μέσης τομής

Το συντελεστή μέσης τομής C_M θα τον υπολογίσω με τρεις μεθόδους :

$$\text{V.Lammeren} : C_{M1} = 0,9 + 0,1 \cdot C_B = 0,94716$$

$$\text{H.Kerlen} : C_{M2} = 1,006 - 0,0056 \cdot C_B^{-3,56} = 0,924667$$

$$\text{HSVC} : C_{M3} = 1 / (1 + (1 - C_B)^{3,5}) = 0,903144$$

Τελικά επιλέγουμε τον τύπο του Lammeren ως την πιο κοντινή τιμή στο C_M του πατρικού.

Πρισματικός συντελεστής

Ο πρισματικός συντελεστής δίνεται από τη σχέση :

$$C_p = \frac{C_B}{C_M} = 0,4979$$

Συντελεστής ισάλου επιφάνειας

Για το συντελεστή ισάλου επιφάνειας θα χρησιμοποιήσω την εμπειρική σχέση του Schneekluth για κανονικούς νομείς :

$$C_{wp} = \frac{1 + 2 \cdot C_B}{3} = 0,64773$$

Να σημειωθεί ότι οι συντελεστές έχουν υπολογιστεί μέσω εμπειρικών τύπων που δεν λαμβάνουν υπ' όψιν λεπτόγραμμες γάστρες πολεμικών, όπως το δικό μας, συνεπώς, στην παρούσα φάση υπολογίζονται μόνο για λόγους πληρότητας, ενώ οι πραγματικές τους τιμές θα προέρθουν μόνο μετά την ολοκλήρωση του σχεδίου γραμμών στο πρόγραμμα AVEVA και τον αριθμητικό πλέον υπολογισμό των υδροστατικών μεγεθών μέσα από το πρόγραμμα.

1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΒΗΡ ΣΚΑΦΟΥΣ

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος σε πρώτη προσέγγιση θα χρησιμοποιήσουμε τον μέσο όρο των συντελεστών αγγλικού ναυαρχείου των όμοιων πλοίων. Το σύστημα πρόωσης που επιλέγεται είναι GODOG, δηλαδή συνδυασμός δύο πολύστροφων κινητήρων Diesel και δύο αεροστροβίλων, συνδεδεμένα μεταξύ τους με μειωτήρα. Η απαίτηση του GEN για την μέγιστη ταχύτητα είναι : $V_{max} = 32$ kn, ενώ για την ταχύτητα περιπολίας είναι : $V_{cruise} = 16$ kn.

Υπολογίζουμε τον συντελεστή Βρετανικού Ναυαρχείου από τον μέσο όρο των όμοιων πλοίων κι έχουμε : $C_n = 160,54$

Και από τον τύπο του Ναυαρχείου υπολογίζουμε την εγκατεστημένη ισχύ για τις δύο ταχύτητες.

Έτσι έχουμε :

- Για την ταχύτητα μάχης :

$$P_b = \frac{\Delta_\Gamma^{2/3} \cdot V^{1/3}}{C_n} = \frac{2828,0249^{2/3} \cdot 32^{1/3}}{160,5396} = 40818,469 \text{ kW} = 55505,4246 \text{ PS}$$

- Για την ταχύτητα περιπολίας :

$$P_b = \frac{\Delta_\Gamma^{2/3} \cdot V^{1/3}}{C_n} = \frac{2828,0249^{2/3} \cdot 16^{1/3}}{160,5396} = 5102,3086 \text{ kW} = 6938,14 \text{ PS}$$

1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ DWT

Επειδή αναφερόμαστε σε πολεμικό πλοίο, συγκεκριμένα κορβέτα και συνεπώς δεν έχουμε τη μεταφορά κάποιου φορτίου, το ωφέλιμο βάρος $W_{PAYLOAD}$, που θα χρησιμοποιηθεί και θα υπολογιστεί παρακάτω αναφέρεται στο βάρος των πυρομαχικών που θα υπάρχουν στο πλοίο, προκειμένου το σκάφος να μπορεί να εκπληρώσει επιτυχώς τους στόχους τους. Ο υπολογισμός του βάρους των καυσίμων W_F πραγματοποιείται με τη χρήση των τύπων από τη 'Μελέτη Πλοίου' του κ. Α.Παπανικολάου [2] (σ.280-282) καθώς και του κανονισμού DDS200-1 του Αμερικανικού Ναυτικού, που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των πολεμικών σκαφών. Συγκεκριμένα, η μέθοδος υπολογισμού βάρους καυσίμων παρουσιάζεται αναλυτικά στις επόμενες σελίδες, καθώς επίσης υπάρχει πλήρης επεξήγηση των ορισμών και μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς και τέλος συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει την πορεία και τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

Στην πραγματικότητα επειδή στα πολεμικά πλοία δεν υπάρχει ωφέλιμο φορτίο DWT, θα χρησιμοποιήσουμε αυτόν τον ορισμό μεταφορικά, προκειμένου να διευκολυνθούμε στην ομαδοποίηση

και στον προσδιορισμό των διαφόρων ομάδων βαρών του πλοίου. Το βάρος του «ωφέλιμου φορτίου» DWT στην προκειμένη περίπτωση δίδεται από την σχέση :

$$DWT = W_{PAYLOAD} + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR} + W_{CR}$$

$W_{PAYLOAD}$: “ωφέλιμο φορτίο” (πυρομαχικά)
W_{FO}	: βάρος καυσίμων για μηχανή πρόωσης και βοηθητικά μηχανήματα
W_{LO}	: βάρος λιπαντικών
W_{FW}	: βάρος νερού
W_{PR}	: βάρος εφοδίων- τροφίμων
W_{CR}	: βάρος πληρώματος και αποσκευών

1.4.1 ΒΑΡΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ $W_{FUELOIL}$

Σημαντικό κομμάτι στο σχεδιασμό οποιουδήποτε πολεμικού πλοίου αποτελεί η δυνατότητα επίτευξης των απαιτήσεων ακτίνας ενεργείας (endurance) που έχουν ιδρυθεί από τον αρχηγό του Αμερικανικού Ναυτικού (Chief of Naval Operations). Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθείται από τον NAVSEA, ώστε να καθορισθεί ο απαιτούμενος όγκος καυσίμων για πλοία με πρόωση ατμού, diesel ή αεροστρόβιλο.

Προσδιορισμός κύριων όρων :

1. Ακτίνα Ενεργείας (Endurance) : είναι η θεωρητική απόσταση την οποία μπορεί να διατρέξει ένα πλοίο χρησιμοποιώντας όλα τα αποθέματα (εξαιρουμένου του φορτίου), σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα, περιβάλλον αέρα και συνθήκες θαλασσινού νερού, σε βαθύ νερό, σε συγκεκριμένο εκτόπισμα (load displacement).

2. Σχεδιαστική ισχύς ακτίνας ενεργείας (Design Endurance Power) : είναι η ιπποδύναμη άξονα στη συγκεκριμένη ταχύτητα ακτίνας ενεργείας (endurance speed), όπως ενδείκνυται από την καμπύλη ταχύτητας - ισχύος του πλοίου. Αυτή η καμπύλη είτε σχεδιάζεται στα νωρίτερα στάδια σχεδίασης και βασίζεται σε προβλεπόμενη συμπεριφορά του πλοίου, είτε βασίζεται σε αποτελέσματα δοκιμών. Συνήθως, περιλαμβάνει συσχετισμό του (Cf) στο 0,0005, ο οποίος είναι το ισοδύναμο φρεσκοβαμμένης μογογιάς στα πλοία επιφανείας. Η τιμή 0,0005 είναι μία λογική προσέγγιση για την πλειοψηφία των υπολογισμών ενεργείας.

3. Μέση ισχύς ακτίνας διαρκείας (Average endurance Power) : είναι σχεδιαστική ισχύς διάρκειας αυξημένη κατά 10%. Αυτή η αύξηση είναι ένα περιθώριο για δυσχερείς συνθήκες θάλασσας και κατά μέσο όρο επίστρωση πυθμένα για μια περίοδο πάνω από δύο χρόνια.

4. Μέσος όρος 24ώρου ηλεκτρικού φορτίου (24hour average electric load) : είναι ο μέσος όρος του προβλεπόμενου ηλεκτρικού φορτίου, χωρίς αύξηση σε μία 24ωρη περίοδο σε λειτουργία στη προδιαγεγραμμένη ταχύτητα ακτίνας ενεργείας (endurance speed), περιβάλλον αέρα και συνθήκες θαλασσινού νερού.

5. Υπολογισμένη αξία καυσίμων (Calculated all-purpose fuel rate) : είναι η ειδική αξία καυσίμου σε lbs/SHP-hr, βασιζόμενη στη κατανάλωση των μηχανών, γεννητριών και άλλων υπηρεσιών σε λειτουργία στην ταχύτητα ακτίνας ενεργείας (endurance speed), περιβάλλον αέρα και συνθήκες θαλασσινού νερού. Για μηχανές Diesel ή αεροστρόβιλους καθίσταται απαραίτητο ο υπολογισμός της κατανάλωσης κάθε μονάδας ξεχωριστά, ώστε να φτάσουμε την αξία καυσίμου.

6. Συνθήκες περιβάλλοντος (Ambient Conditions) : που χρησιμοποιούνται στο καθορισμό της υπολογισμένης αξίας καυσίμου είναι 100 βαθμούς F και 40% σχετική εργασία αέρα στις υπηρεσίες κατανάλωσης καυσίμου.

7. Καθορισμένη αξία καυσίμου (Specified Fuel Rate) : είναι η υπολογισμένη αξία καυσίμου αυξημένη από ένα διορθωτικό παράγοντα που να αφήνει περιθώριο σφάλματος από το όργανα μέτρησης στις δοκιμές του πλοίου καθώς και μικρές αλλαγές μηχανοστασίου κατά την διάρκεια κατασκευής του πλοίου. Αυτός ο παράγοντας, χρησιμοποιούμενος ως πολλαπλασιαστής, είναι 1,04 όταν η μέση ισχύ διαρκείας είναι το ένα τρίτο ή λιγότερο της μέγιστης ισχύος της εγκατάστασης πρόωσης, 1,03 όταν είναι μεταξύ του ενός τρίτου και δύο τρίτων και 1,02 όταν είναι μεταξύ δύο τρίτων και μέγιστης ισχύος.

8. Μέση τιμή αξίας καυσίμων διαρκείας (Average Endurance Fuel Rate) : είναι η προκαθορισμένη αξία αυξημένη κατά 5%. Αυτή είναι μία πρόσθετη αύξηση που αφήνει ανοχές σε περίπτωση χειροτέρευσης της εγκατάστασης σε μια περίοδο πάνω από δύο χρόνια.

9. Καύσιμο ακτίνας ενεργείας (Endurance fuel) : είναι το πραγματικό καύσιμο σε τόνους που απαιτείται ώστε να πετύχουμε την επιθυμητή ακτίνα ενεργείας.

10. Ανοχή σωληνώσεων (Tailpipe allowance) : είναι ένας παράγοντας που εφαρμόζεται στο καύσιμο ακτίνας ενεργείας, ώστε να υπολογίζεται και το μη διαθέσιμο καύσιμο που παραμένει στη δεξαμενή, κάτω από τις σωληνώσεις. Εάν στην πλειοψηφία τους οι δεξαμενές είναι φαρδιές και ρηχές ο παράγοντας είναι 0,95, εάν στενές και ρηχές τότε είναι 0,98.

11. Φορτίο καυσίμου ακτίνας ενεργείας (Endurance Fuel Load) : είναι το φορτίο καυσίμου σε τόνους που λαμβάνεται από την διαίρεση του καυσίμου ακτίνας ενεργείας με τον παράγοντα ανοχής σωληνώσεων. Είναι το μέγιστο φορτίο καυσίμου του πλοίου για το οποίο πρέπει να υπάρχει στις δεξαμενές, ώστε να επιτύχουμε τις απαιτήσεις ακτίνας ενεργείας. Δεν περικλείει ένα πρόσθετο 5% στον ισοδύναμο όγκο δεξαμενών, ο οποίος πρέπει να παρέχεται σε περίπτωση διαστολής των καυσίμων. Για ένα εξισορροπημένο σύστημα μπορεί να έχουμε ένα περιθώριο μικρότερο του 5% , εν τούτοις αυτό πρέπει να καθορίζεται στην κάθε περίπτωση.

Διαδικασία :

Αφού υπολογιστεί η μέση ισχύς ακτίνας ενεργείας και η μέση αξία του καυσίμου ακτίνας ενεργείας, οι απαιτήσεις καυσίμων καθορίζονται από την παρακάτω σχέση :

1. Endurance fuel (burnable), [t] :

$$\frac{\text{Endurance} \square \text{Avg.End.Power} \square \text{Avg.End.FuelRate}}{\text{EnduranceSpeed} \square 2240}$$

2. Endurance Fuel load (burnable), [t] :

$$\frac{\text{EnduranceFuel(burnable)}}{\text{TailpipeAllowance}}$$

Παρακάτω παρατίθεται αναλυτικός πίνακας με τους υπολογισμούς και το βάρος καυσίμου $W_{FUELOIL}$ που πρέπει να έχουμε, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ακτίνα ενεργείας.

(1) Endurance	3500	nm
(2) Endurance Speed	16	kn
(3) Full load Displacement	2828,025	ton
(4) Rated Full Power, SHP	40818,469	kW
(5) Design Endurance Power, SHP	5102,309	kW
(6) Average Endurance Power (5)x1.10	5612,539	kW
(7) Ratio (6)/ (4)	0,1375	
(8) Average Endurance Power, BHP (6)/ Transmission Efficiency	5907,936	kW
(9) 24hour Average Electric Load,Kw	600	kW
(10) Calculated Propulsion Fuel Rate	0,418878	lbs/BHP-hr
(11) Calc.Prop.Fuel Consumption(10)x(8)	2474,705	lbs/hr
(12) Calc.S.S.Gen Fuel Rate	0,440924	lbs/kW-hr
(13) Calc.S.S.Gen Fuel Consumption (12)x(9)	264,5544	lbs/hr
(14) Calc. Fuel Consumption for other	15	
(15) Total Calc. All Purpose Fuel Consumption	2754,259	lbs/hr
(16) Calc. All Purpose Fuel Rate	0,491	lbs/SHP-hr
(17) Fuel Rate Correction Factor	1,04	
(18) Specified Fuel Rate (16)x(17)	0,510	lbs/SHP-hr
(19) Avg. endurance Fuel Rate(18)x1.05	0,536	lbs/SHP-hr
(20) Endurance Fuel	293,716	ton
(21) Tailpipe Allowance Factor	0,95	
Endurance Fuel Load, tons	309,175	ton

Πίνακας 5. Διαδικασία υπολογισμού βάρους καυσίμου για την επίτευξη της επιθυμητής ακτίνας ενέργειας

Συνεπώς έχουμε:

$$W_F = 309,18 \text{ t}$$

Προκειμένου να επαληθεύσουμε την ορθότητα του αποτελέσματος του βάρους των καυσίμων που υπολογίστηκε παραπάνω, θα το προσεγγίσουμε και με έναν διαφορετικό τρόπο, από το βιβλίο 'Μελέτη Πλοίου' του κ. Α.Παπανικολάου [2] (σ.280-282). Για τον υπολογισμό του W_F θεωρούμε :

- Μέση κατανάλωση καυσίμου για μεσόστροφη DIESEL 190 gr/KWh
- Κατανάλωση βοηθητικών μηχανημάτων το 6% της κατανάλωσης καυσίμων της κύριας μηχανής.
- Βάρος λιπαντικών W_{F2} αντιστοιχεί περίπου στα 4% του βάρους των καυσίμων W_{F1}
- Εφεδρεία για υπερκατανάλωση λόγω αλλαγής πορείας, απρόβλεπτης αναμονής, αρωγή σε περίπτωση ανάγκης και κατάλοιπα δεξαμενών 2 – 4 %

Από την υπολογισθείσα ανωτέρω ισχύ για την V_{CRUISE} P [BHP] = 6938,14 HP και με βάση τις

προηγούμενες παραδοχές θα έχω :

$$W_{F1} = (P_{B,1} \cdot b_1 \cdot t_1 + P_{B,2} \cdot b_2 \cdot t_2 / \eta_E) \cdot C \cdot 10^{-6}$$

,όπου :

W_{F1} : βάρος καυσίμων [t]

$P_{B,1}$: εγκατεστημένη ισχύς Κ. Μ σε [kW]

b_1 : ειδική κατανάλωση Κ.Μ. [g/kWh]

t_1 : χρόνος ταξιδιού μετ' επιστροφής [hr] με βάση την υπηρεσιακή ταχύτητα και ακτίνα δράσης (9 ημέρες)

$P_{B,2}$: απαιτούμενη μέση ισχύς ηλεκτρογεννητριών

b_2 : ειδική κατανάλωση ηλεκτρογεννητριών σε [g/kWh]

t_2 : χρόνος λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών [hr]

C : 1,3 εφεδρεία για υπερκατανάλωση λόγω αλλαγής πορείας, απρόβλεπτης αναμονής, αρωγή σε περίπτωση ανάγκης και κατάλοιπα δεξαμενών

$$\text{Υπολογίζουμε αρχικά το } t_1 : t_1 = \frac{s}{V} = \frac{\text{Endurance (n.m)}}{V \text{ (knots)}} = \frac{3500}{16} = 218,75 \text{ hr} = 9 \text{ days}$$

$$W_{FO.M.ENG} = P_B \cdot b_1 \cdot t_1 \cdot c \cdot 10^{-6} = 5102,3086 \cdot 0,00019 \cdot 218,75 \cdot 1,3 = 275,684 \text{ t}$$

$$\text{Υπολογίζουμε το } t_2 : t_2 = 1,3 \cdot t_1 = 284,375 \text{ hr}$$

$$W_{FO.GEN} = (P_B \cdot b_2 \cdot t_2 \cdot c) / 0,85 = (600 \cdot 0,0002 \cdot 284,375 \cdot 1,3) / 0,85 = 52,191 \text{ t}$$

$$W_{FO.AUX} = 0,06 \cdot W_{FO} = 0,06 \cdot 275,684 = 16,541 \text{ t}$$

Άρα :

$$W_{FO} = W_{FO.M.ENG} + W_{FO.GEN} + W_{FO.AUX} = 275,375 + 52,191 + 16,541 = 344,107 \text{ t}$$

Επειδή παρατηρείται απόκλιση από το βάρος καυσίμου που υπολογίστηκε με τον κανονισμό DDS200-1 επιλέγουμε αυτή την τιμή ως κοντινότερη στο βάρος καυσίμου του πατρικού μας πλοίου, δηλαδή αυτή που υπολογίσαμε με τη δεύτερη μέθοδο.

1.4.2 ΒΑΡΟΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ W_{LO}

$$W_{LO} = 0,04 \cdot W_{FO.M.ENG} = 0,04 \cdot 275,684 = 11,027 \text{ t}$$

1.4.3 ΒΑΡΟΣ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ W_{PAYLOAD}

Το βάρος του ωφέλιμου φορτίου περιλαμβάνει το βάρος των πυρομαχικών, καθώς και του ελικοπτερου. Πιο συγκεκριμένα στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα βάρη των πυρομαχικών και του ελικοπτερου, καθώς και το συνολικό βάρος του ωφέλιμου φορτίου. Τα βάρη έχουν προκύψει έπειτα από διεξοδική έρευνα στο διαδίκτυο με οδηγό τις απαιτήσεις μάχης του GEN.

	Weight [t]		VCG	LCG	MOMENT	MOMENT
HELICOPTER	10		8,4	-42,58	84	-425,8
	Ammunition	Type				
RAM x 21	1,5435		15,5	-22,5	23,92425	-34,7288
A/A MK-41 VLS 4x8	8,96	ESSM	7,5	29	67,2	259,84
E/E MK-141 2x4	5,528	HARPOON	15	-8	82,92	-44,224
T/Σ MK-32 2x3	1,386	MK-46 TORPEDO	10,5	-1,5	14,553	-2,079
Λοιπά πυρομαχικά	4		6,9	5	27,6	20
				SUM	300,1973	-226,992
TOTAL PAYLOAD	31,4175		VCG	LCG		
			14,016	-10,598		

Πίνακας 6. Υπολογισμός βάρους, KG, LCG ωφέλιμου φορτίου

Συνεπώς έχουμε:

$$W_{\text{PAYLOAD}} = 31,42 \text{ t.}$$

Υπολογίσαμε τόσο το VCG, όσο και το LCG του W_{PAYLOAD} , ώστε να είναι διαθέσιμα όταν θα τα χρειαστούμε αργότερα.

1.4.4 ΒΑΡΟΣ ΕΦΘΑΙΩΝ ΝΕΡΟΥ $W_{\text{FRESHWATER}}$

Θεωρώ ότι το πλήρωμα αποτελείται από περίπου 93 άτομα, ένας αριθμός που προκύπτει από τον αντίστοιχο αριθμό πληρώματος της Milgem. Ακριβής υπολογισμός των ατόμων του πληρώματος, καθώς και η κατάταξη προκύπτει από τις ανάγκες του πλοίου και των οπλικών του συστημάτων και παρατίθεται σε επόμενα κεφάλαια.

Για τον υπολογισμό του βάρους του νερού $W_{\text{FRESHWATER}}$ πρέπει αρχικά να υπολογίσουμε τις ανθρωπομέρες, οι οποίες προκύπτουν από την σχέση :

$$\text{ανθρωπομέρες} = \text{αριθμός πληρώματος} \cdot t_{\text{trip}} [\text{days}] = 93 \cdot 9 = 837$$

Για 43 kg/ανθρωπομη. όσο δηλαδή έχουν και τα άλλα πολεμικά πλοία με αντίστοιχο αριθμό πληρώματος

, έχουμε :

$$W_{\text{FRESHWATER}} = 43 \cdot 837 \cdot 10^{-3} = 35,991 \text{ t}$$

1.4.5 ΒΑΡΟΣ ΕΦΟΔΙΩΝ-ΤΡΟΦΙΜΩΝ $W_{\text{PROVISIONS}}$

Το βάρος εφοδίων - τροφίμων $W_{\text{PROVISIONS}}$, υπολογίζεται με βάση τον Γερμανικό κανονισμό BV 1030-1 ως εξής :

Νωπά τρόφιμα :

3,50 kg/άτομο x (ακτίνα ενεργείας σε ημέρες + 5 ημέρες)

Υγρά/ εμπορεύματα καντίνας :

4,00kg/άτομο x (ακτίνα ενεργείας σε ημέρες + 5 ημέρες)

$$W_{\text{PROVISIONS}} = [3,50 \cdot (9 + 5) + 4,00 \cdot (9 + 5)] \cdot 10^{-3} \cdot 93 \Rightarrow$$

$$W_{\text{PROVISIONS}} = 9,765 \text{ t}$$

1.4.6 ΒΑΡΟΣ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ $W_{\text{CONSUMABLES}}$

Το βάρος αναλωσίμων $W_{\text{CONSUMABLES}}$, υπολογίζεται με βάση τον Γερμανικό κανονισμό BV 1030-1 ως εξής :

Τα αναλώσιμα περιλαμβάνουν λιπαντικά, γράσα, λάδια, μπογιές, απορρυπαντικά πλυσίματος, γραφική ύλη. Το βάρος των αναλωσίμων θεωρείται ότι βρίσκεται στο κέντρο ενός άδειου, επιχειρησιακά έτοιμου σκάφους και πρέπει να υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση, αλλά δεν πρέπει να λαμβάνεται μικρότερο από 0,1 t ούτε μεγαλύτερο από 40 t.

$$\text{Αναλώσιμα} = \Delta \cdot \text{factor [t]}$$

,όπου :

$$\Delta = \text{Άδειο εκτόπισμα [t]}$$

Factor = 0,005 για ακτίνα ενεργείας ≤ 7 ημέρες

Factor = 0,007 για ακτίνα ενεργείας ≥ 7 ημέρες

Έτσι έχουμε :

$$W_{\text{CONSUMABLES}} = 2828,025 \cdot 0,007 \Rightarrow$$

$$W_{\text{CONSUMABLES}} = 19,796 \text{ t}$$

1.4.7 ΒΑΡΟΣ ΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ W_{CREW}

Το βάρος πληρώματος W_{CREW} , υπολογίζεται με βάση τον Γερμανικό κανονισμό BV 1030-1 και θεωρείται ότι προκύπτει από τα εξής βάρη και το κέντρο βάρους του καθενός βρίσκεται στο κέντρο μάχης (combat stations) :

Βάρος ανά άτομο: 85 kg/άτομο

Βάρος προσωπικού εξοπλισμού: PO's και CPO's/ratings 80kg/άτομο

$$W_{CREW} = [85 \cdot 93 + 80 \cdot 93] \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$W_{CREW} = 16 \text{ t}$$

Τέλος στο βάρος DWT θα συνυπολογίσουμε το $W_{SPAREPARTS}$ το οποίο είναι :

$$W_{SP} = 25 \text{ tons}$$

Το βάρος υγρού έρματος B θεωρούμε ότι θεωρείται ίσο με μηδέν.

Έτσι αθροίζοντας έχουμε :

$$DWT = W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR} + W_{CON} + W_{CR} + W_{SP} + W_{PAYLOAD} =$$

$$44,416 + 11,027 + 35,991 + 9,765 + 19,796 + 16 + 25 + 31,418 \Rightarrow$$

$$DWT = 493,416 \text{ t}$$

Η τιμή αυτή προστίθεται στο Δ_B για να γίνει ο έλεγχος εκτοπισμάτων στην παράγραφο 2.2

Οπότε συνοψίζοντας μέχρι στιγμής έχουμε :

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	Length between perpendiculars [m]	LBP	100
	Breadth moulded [m]	B	14,2
	Draft moulded [m]	T_d	4,1
	Depth [m]	D	8
ΒΑΡΗ	Deadweight [t]	DWT	493,4
	Γεωμετρικό εκτόπισμα [t]	ΔΓ	2828

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ	Block coefficient	C_B	0,4716
	Midship section coefficient	C_M	0,9472
	Prismatic coefficient	C_P	0,4979
	Waterplane coefficient	C_{WL}	0,6477
	Vservice [kn]	Vservice	16

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά μεγέθη υπό μελέτη πλοίου έως τώρα

1.5 ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΑΛΛΑ ΑΦΟΡΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ LIGHT SHIP

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για τα βάρη των πολεμικών πλοίων δεν εφαρμόζεται η κλασική ομαδοποίηση, που εφαρμόζεται στα υπόλοιπα πλοία. Όμως, προκειμένου να έχουμε μια ικανοποιητική προσέγγιση των βαρών του πλοίου μας, θα προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε το βάρος του πλήρως εξοπλισμένου, αλλά άφορτου πλοίου με τις κλασικές μεθόδους, όπου όμως θα εφαρμόσουμε τις εξής αντιστοιχίες στις ομάδες βαρών :

$$W_{ST} \rightarrow 100$$

$$W_M \rightarrow 200 + 300$$

$$W_{OT} \rightarrow 400 + 500 + 600 + 700$$

Για το πατρικό πλοίο προκύπτουν οι εξής ομάδες πραγματικών βαρών :

100 Structure	988,94 t
200 Propulsion	362,14 t
300 Electric Plant	102,91 t
400 Communications/control	92,69 t
500 Auxiliary systems	317,22 t
600 Outfit/Furnishings	152,44 t
700 Armament	82,37 t

Πίνακας 8. Ομάδες βαρών πατρικού πλοίου κατά ESWBS

Παρακάτω, αφού έχει πραγματοποιηθεί αυτή η ομαδοποιημένη προσέγγιση των βαρών του πλοίου, προκύπτουν και τα αναλυτικά βάρη της κάθε ομάδας του πολεμικού σκάφους. Έτσι καταφέρνουμε να προσεγγίσουμε τις ομάδες βαρών με εφαρμοσμένες και αξιόπιστες μεθόδους, μειώνοντας το ποσοστό σφάλματος, καθώς και να επιτύχουμε την επαλήθευση των αποτελεσμάτων μας στην αναλυτική προσέγγιση.

Το συνολικό βάρος προκύπτει ως άθροισμα τριών επιμέρους βαρών, του βάρους μεταλλικής κατασκευής W_{st} , του βάρους ενδαιήτησης και εξοπλισμού W_{OT} και του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης W_m . Για την εύρεση του βάρους του πλήρους εξοπλισμένου, αλλά άφορτου πλοίου, θα υπολογιστεί πρώτα το αντίστοιχο βάρος του πατρικού πλοίου προκειμένου να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα μας. Η συγκεκριμένη διαδικασία θα μας οδηγήσει στην εύρεση κάποιων διορθωτικών συντελεστών με την βοήθεια των οποίων θα υπολογίσουμε το βάρος Light Ship του υπό μελέτη πλοίου. Συγκεκριμένα, θα γίνει σύγκριση του υπολογισμένου LS του πατρικού με το πραγματικό βάρος του, που το έχουμε από τα σχέδια του, θα βγεί ένας λόγος απόκλισης της πραγματικής από την υπολογισθείσα τιμή και χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους και το λόγο απόκλισης, θα βρούμε την πραγματική τιμή του LS του υπό μελέτη πλοίου.

1.5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LS ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE

1.5.1.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{ST} ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE

Για τον υπολογισμό του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος εφαρμόζεται η μέθοδος Schneekluth, η οποία είναι σύνθετη μέθοδος καλής ακρίβειας. Αντίστοιχα για τον υπολογισμό του όγκου των υπερκατασκευών θα εφαρμοστεί η μέθοδος Müller – Köster.

Θα συμβολίζω με ∇_U το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, όπως αυτό προκύπτει από τη μέθοδο Schneekluth, δηλαδή μη συμπεριλαμβανομένου του βάρους των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων, που θα υπολογίσω αργότερα.

Μέθοδος Schneekluth [2] (σ.230,231)

$$W_{ST}' = \nabla_U \cdot C_{ST}' \cdot \delta$$

∇_U : Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος [m^3]

C_{ST} : Ο συντελεστής ειδικού βάρους [t/m^3]

δ : διορθώσεις

Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος ∇_U του πατρικού μου πλοίου δίνεται από τη σχέση :

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H$$

,όπου :

$$\begin{aligned} \nabla_D &= L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} && (\text{όγκος έως το } D) \\ \nabla_S &= L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2 && (\text{αύξηση όγκου λόγω σιμότητας}) \\ \nabla_b &= L \cdot B \cdot b \cdot C_3 && (\text{αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας}) \\ \nabla_H &= \sum (I_{H_i} \cdot b_{H_i} \cdot h_{H_i}) && (\text{αύξηση όγκου λόγω στομιών καταστρώματος}) \end{aligned}$$

- ∇_D όγκος έως το κοίλο D

$$\begin{aligned} \nabla_D &= L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} \\ C_{BD} &= C_B + C_1 \frac{D-T}{T} (1 - C_B) = 0,46702 + 0,4 \cdot \frac{7,924 - 3,9}{3,9} \cdot (1 - 0,46702) = 0,68699 \end{aligned}$$

(Το C_1 λαμβάνεται ίσο με 0,4)

$$\text{Άρα : } \nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 99,8 \cdot 14 \cdot 7,924 \cdot 0,686991 = 7605,96 \text{ m}^3$$

- ∇_S αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

$$\nabla_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2$$

,όπου :

L_S : έκταση σιμότητας

S_F : πρωραία σιμότητα

S_A : πρυμναία σιμότητα.

Οι μετρήσεις για τα μεγέθη αυτά έχουν γίνει απευθείας από το GA του πλοίου υπό κλίμακα.

Έτσι έχουμε :

$$L_S = 43,16 \text{ m} \quad S_F = 2,26 \text{ m} \quad S_A = 0 \text{ m} \quad C_2 = \frac{C_{BD}^{2/3}}{6} = 0,12976$$

Άρα :

$$\nabla_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2 = 173,281 \text{ m}^3$$

- ∇_b αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας

$$\nabla_b = 0$$

- ∇_H αύξηση όγκου λόγω στομιών κυτών

$$\nabla_H = 0$$

Τελικά ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος είναι:

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 7605,9604 + 173,281 + 0 + 0 \Rightarrow \nabla_U = 7779,2415 \text{ m}^3$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς υπερκατασκευές δίνεται από τη σχέση :

$$W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \delta$$

Ο συντελεστής C'_{ST} για επιβατηγά πλοία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,1113 και 0,121.

Επιλέγω $C'_{ST} = 0,117$.

$$\delta = |1 + 0,033(L/D - 12)| \cdot |1 + 0,06(n - D/D_0)| \cdot |1 + 0,05(1,85 - B/D)| \cdot |1 + 0,2(T/D - 0,85)| \cdot |0,92 + (1 - C_{BD})^2| \cdot |1 + 0,75 \cdot C_{BD}(C_M - 0,98)| = 1,0101548$$

,όπου: $D_0 = 4 \text{ m}$

$n = 4$: αριθμός καταστρωμάτων

$$\text{Συνεπώς } W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \delta = 7779,2415 \cdot 0,117 \cdot 1,0101548 = 919,4139 \text{ t}$$

Άρα το τελικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα προκύπτει :

$$W'_{ST} = 919,4139 \text{ t}$$

Για τον υπολογισμό του συνολικού βάρους της μεταλλικής κατασκευής απαιτείται να υπολογισθεί και να προστεθεί το βάρος των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων. Θα εφαρμόσω τη μέθοδο Müller – Köster (σ.235-239) [2] για τον υπολογισμό τους.

➤ Υπερκατασκευές (Superstructures)

Στις υπερκατασκευές περιλαμβάνεται το πρόστεγο και το επίστεγο. Το πατρικό μου πλοίο όμως δεν έχει επίστεγο ούτε πρόστεγο.

➤ Υπερστεγάσματα (Deck houses)

Στεγάσματα καταστρώματος που περιλαμβάνουν περισσότερα του ενός καταστρώματα δεν υπολογίζονται ως μία ενιαία κατασκευή, αλλά ως αποτελούμενα από επιμέρους τμήματα, τα οποία ταξινομούνται ως προς τη θέση τους υπεράνω του κυρίου καταστρώματος. Έτσι το μέρος του στεγάσματος, που βρίσκεται επί του κυρίου καταστρώματος χαρακτηρίζεται ως έχον τη θέση I, υπεράνω αυτού η θέση II κλπ.

Το βάρος των στεγασμάτων εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- Τρόπος κατασκευής
- Μήκος πλοίου
- Αριθμός υπερκειμένων καταστρωμάτων
- Ύψος καταστρωμάτων
- Μήκος εσωτερικών διαχωριστικών καταστρωμάτων, εφ' όσον είναι από χάλυβα
- Λόγος επιφάνειας υπερκειμένου καταστρώματος A_0 , συμπεριλαμβανομένης της επιφάνειας αστέγαστων εξωτερικών διαδρόμων, ως προς την πραγματικά στεγασμένη επιφάνεια του εκάστοτε καταστρώματος A_U .

Το βάρος ενός τμήματος υπερστεγάσματος W_{DH} προκύπτει από τον τύπο :

$$W_{DH} = C_{DH} \cdot A_m \cdot h \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Όπου :

C_{DH} : ογκομετρικός συντελεστής βάρους σύμφωνα με τον πίνακα 2.13 [2] (σελ. 238)

A_m : μέσος όρος των επιφανειών A_U και A_O

h : ύψος κάθε υπερστεγάσματος

k_1 : διόρθωση για ύψος στεγάσματος διάφορο του 2,6 m

$$k_1 = 1 + 0,02 \cdot (h - 2,6)$$

k_2 : διόρθωση για μήκος εσωτερικών τοιχωμάτων.

$$k_2 = 1 + 0,05(4,5 - l_i / l_{DH})$$

Όπου :

l_i : ολικό μήκος εσωτερικών τοιχωμάτων

l_{DH} : μήκος στεγάσματος

k_3 : διόρθωση για μήκος πλοίου σημαντικά διάφορο του κανονικού $L_{bp} = 150$ m.

Από το σχέδιο γενικής διάταξης του πατρικού πλοίου, μετρώνται τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κατάστρωμα ξεχωριστά.

ΠΥΡΓΩΤΑ	A_0 [m ²]	A_U [m ²]	A_0/A_U	A_m [m ²]	C_{DH} [t/m ³]	h [m]	L_{DH} [m]	l_i [m]	K_1	K_2	K_3	W_{DH} [t]
ΘΕΣΗ I	436,3925	683,9	0,63809	560,14	0,057	2,96	55,88	100	1,007	1,1355	0,95	102,68
ΘΕΣΗ II	262,7435	436,3925	0,60208	349,57	0,055	2,47	42	78	0,997	1,1321	0,95	50,94
ΘΕΣΗ III	109,513	262,7435	0,41681	186,13	0,052	2,47	26,68	60	0,997	1,1126	0,95	25,2
ΘΕΣΗ IV	24,263	109,513	0,22155	66,89	0,053	2,47	14,33	0	0,997	1,2250	0,95	10,16
ΘΕΣΗ V	4,39	24,263	0,18093	14,33	0,04	2,47	2,5	0	0,997	1,2250	0,95	1,64
											Total	190,63

Πίνακας 9. Θέση στεγασμάτων πατρικού πλοίου κατά Muller - Koster

Αρα τελικά από μέθοδο Schneekluth και Müller - Köster προκύπτει :

$$W_{ST} = 919,414 + 190,635 = 1110,049 \text{ t}$$

Μέθοδος Watson [2] (σ.219-221)

Θα επιχειρήσουμε να προσεγγίσουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής της Superior Class Frigate και με μια δεύτερη μέθοδο, προκειμένου να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην περίπτωση που το υπολογισθέν βάρος προσεγγίζει ικανοποιητικά το πραγματικό θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο και παρακάτω στον υπολογισμό του βάρους της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου.

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού EN κατά Lloyds Register :

$$EN = L \cdot (B + T) + 0,8 \cdot L \cdot (D - T) + 0,85 \cdot \sum h_{1i} \cdot l_{1i} + 0,75 \cdot \sum h_{2i} \cdot l_{2i}$$

Όπου :

h_{1i} , l_{1i} : αριθμός , ύψος και μήκος των υπερστεγασμάτων και h_{2i} , l_{2i} : αριθμός , ύψος και μήκος των υπερκατασκευών

Μέθοδος Watson	Πυργωτά			Υπερκατασκευές		
	Mikos l1i	Ypsos h1i	l1i x h1i	Mikos l2i	Ypsos h2i	l2i x h2i
Deck 0	20,5	2,96	60,68	35,38	2,96	104,7248
Deck A	13,83	2,47	34,1601	28,17	2,47	69,5799
Deck B	9,88	2,47	24,4036	16,8	2,47	41,496
Deck C	7,9	2,47	19,513	6,43	2,47	15,8821
				2,5	2,47	6,175
		Συνολο	138,7567		Συνολο	237,8578

Πίνακας 10. Πυργωτά και Υπερκατασκευές πατρικού πλοίου κατά Watson

Με αντικατάσταση, παίρνω :

$$E_N = 99,8 \cdot (14 + 3,9) + 0,8 \cdot 99,8 \cdot (7,924 - 3,9) + 0,85 \cdot 138,757 + 0,75 \cdot 237,858 \Rightarrow$$

$$E_N = 2404,033 \text{ m}^2$$

Μέσω του σχήματος 2.45 ‘Μελέτη Πλοίου Τεύχος Α’ [2] (σ.220) όπου δίδεται το W_{st}^* συναρτήσει του E_N , μπορεί να υπολογισθεί το αντίστοιχο βάρος για κανονικό συντελεστή γάστρας C_B^* , στο ύψος $0,8 D$, ίσο με $0,7$

$$W_{st}^* = 1010 \text{ t}$$

Διόρθωση για $C_B (0.8D) \neq 0.7$:

$$W_{ST.WATSON} = W_{ST}^* \cdot (1 + 0,5 \cdot (C_B^* - 0,7)) = 948,4585 \text{ t}$$

,όπου:

$$C_B^* = \frac{C_B + (1 - C_B) \cdot (0,8 \cdot (D - T))}{3 \cdot T} = \frac{0,46702 + (1 - 0,46702) \cdot (0,8 \cdot (7,924 - 3,9))}{3 \cdot 3,9} = 0,578136$$

Από τύπο για βελτιωμένη μέθοδο Watson σ.221 [2], παίρνουμε :

$$W_{ST}^* = K \cdot E^{1,36} = 0,023 \cdot 2404,0327^{1,36} = 911,605 \text{ t}$$

,όπου $K = 0,023$, από τον πίνακα συντελεστών βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά Watson (σ.221) [2]

Διόρθωση για $C_B (0.8D) \neq 0.7$:

$$W_{ST.WATSON} = W_{ST}^* \cdot (1 + 0,5 \cdot (C_B^* - 0,7)) = 856,059 \text{ t}$$

,όπου:

$$C_B^* = 0,578136$$

Τελικά επιλέγουμε ως $W_{ST.WATSON}$ την τιμή που έδωσε το διάγραμμα ως κοντινότερη σε αυτή των μεθόδων Schneekluth - Müller-Köster, δηλαδή :

$$W_{ST.WATSON} = 948,459 \text{ t}$$

Παρατηρούμε ότι η μέθοδος Watson προσέγγισε αρκετά ικανοποιητικά το επιθυμητό αποτέλεσμα, συνεπώς μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε στον υπολογισμό του βάρους της μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι τελικά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου δίνεται από το μέσο όρο των δύο μεθόδων :

$$W_{ST} = \frac{W_{ST.WATSON} + W_{ST.SN-MK}}{2} = \frac{948,459 + 1110,049}{2} = 1029,254 \text{ t}$$

Το πλοίο μας ως πολεμικό, σε πάρα πολλά τμήματα είναι κατασκευασμένο με χάλυβα υψηλής αντοχής (Higher Tensile steel, HTS). Σύμφωνα με το βιβλίο ‘Μελέτη πλοίου Τόμος Α’ [2] (σ.245) στην περίπτωση αυτή επιτρέπεται μια μείωση του βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά 5 – 7% περίπου. Εμείς μειώνουμε σε ένα ποσοστό 4,5% και παίρνουμε τελικά :

$$W_{ST.CALC} = 982,937 \text{ t}$$

Το πραγματικό βάρος μεταλλικής κατασκευής προκύπτει από πίνακα 1 :

$$W_{ST.REAL} = \parallel 100 \parallel = 988,94 \text{ t}$$

Παρατηρούμε ότι ο συνδιασμός των συγκεκριμένων μεθόδων προσεγγίζει ικανοποιητικά το απαιτούμενο αποτέλεσμα, άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του βάρους μεταλλικής κατασκευής του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε ένα διορθωτικό συντελεστή f, τον οποίο θα πολλαπλασιάσουμε με το W_{ST} του υπό μελέτη πλοίου, προκειμένου να ελαττώσουμε το σφάλμα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων. Άρα έχουμε:

$$f = \frac{W_{st.real}}{W_{st.calc}} = 1,0061 \text{ αποδεκτό}$$

1.5.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{OT} ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE

Το βάρος της ενδίαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} (Outfit Weight) περιλαμβάνει βασικά όλα τα επί του «γυμνού» σκάφους εφαρμοσμένα εξαρτήματα του πλοίου, πλην της μηχανολογικής εγκατάστασης. Το υπολογίζω με δύο τρόπους και συγκρίνω τα αποτελέσματα.

- Με τους τυπικούς συντελεστές ομάδων βαρών , [2] (σ.256)

	w (t/ m ³)	W=w*B*L*D
I	0,008	88,5713
II1		0
II2	0,004	44,28565
III	0,008	88,5713
IV	0,006	66,42848
V	0,01	110,71413

VI	0,0005	5,53571
VII	0,001	11,07141
VIII1		0
VIII2	0,018	199,28543
IX	0,003	33,21424
TOTAL Wot =		647,6776488

Πίνακας 11. Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών

➤ Με προσεγγιστικό τύπο :

Και σε αυτήν την μέθοδο επειδή δεν υπάρχει κάποιος συντελεστής, που να αναφέρεται σε πολεμικά πλοία, θα επιχειρήσουμε να δουλέψουμε με τον συντελεστή βάρους εξοπλισμού και ενδίαιτησης που αναφέρεται στα επιβατηγά πλοία, δηλαδή επιλέγουμε $K_{OT} = 0,058 \text{ t/m}^3$

Άρα έχουμε :

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B \cdot D = 0,058 \cdot 99,8 \cdot 14 \cdot 7,924 = 642,1419 \text{ t} \quad , [2] \text{ (σ.257)}$$

Για βάρος εξοπλισμού, αφού και οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν ικανοποιητικά θα πάρουμε το μέσο όρο τους. Έτσι :

$$W_{OT \text{ CALC}} = \frac{647,678 + 642,142}{2} = 644,91 \text{ t}$$

Το πραγματικό βάρος εξοπλισμού προκύπτει αθροίζοντας τις εξής ομάδες πραγματικών βαρών, όπως αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου. Από πίνακα 8 (σ.44), έχουμε :

$$W_{OT \text{ REAL}} = 400 + 500 + 600 + 700 = 92,69 + 317,22 + 152,44 + 82,37 = 644,72 \text{ t}$$

Παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη μέθοδος προσεγγίζει σχεδόν με μηδενική απόκλιση το απαιτούμενο αποτέλεσμα, άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του βάρους του εξοπλισμού και ενδίαιτησης του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε ένα διορθωτικό συντελεστή f , τον οποίο θα πολλαπλασιάσουμε με το W_{OT} του υπό μελέτη πλοίου, προκειμένου να ελαττώσουμε το σφάλμα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων. Άρα έχουμε:

$$f = \frac{W_{OT \text{ REAL}}}{W_{OT \text{ CALC}}} = \frac{644,72}{644,91} = 0,9997 \quad \text{αποδεκτό}$$

1.5.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_M ΤΗΣ SUPERIOR CLASS FRIGATE

Γνωρίζουμε ότι το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να αναλυθεί ως

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR}$$

Όπου :

W_{MM} : βάρος κύριας μηχανής

W_{MS} : βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας

W_{MR} : βάρος λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων

Επειδή αναφερόμαστε σε πολεμικό πλοίο στο βάρος W_{MM} θα συμπεριληφθεί και το βάρος των δύο αεροστροβίλων. Πιο συγκεκριμένα από το σχέδιο γενικής διάταξης βρίσκουμε ότι η προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από δύο κύριες μηχανές MTU και από δύο αεροστροβίλους LM 2500. Από τον κατάλογο του κατασκευαστή βρίσκουμε ότι το βάρος του κάθε αεροστροβίλου είναι 21,7 t, ενώ το βάρος της κάθε κύριας μηχανής είναι 43 t. Χρησιμοποιώντας την αναλυτική μέθοδο υπολογισμού του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης [2] (σ.269) θα έχουμε :

i	Wms	Wmr
wi (kp / HP)	5	24
Pb (HP)	11626,662	11626,66
Wi (kp)	58133,308	279039,9

Άρα :

$$W_M = 2 \cdot W_{M,E} + 2 \cdot W_{G,T} + W_{i_{ms}} / 1000 + W_{i_{mr}} / 1000 =$$

$$= 2 \cdot 43 + 2 \cdot 21,7 + 58133,308 / 1000 + 279039,9 / 1000 = 466,573 \text{ t}$$

Το πραγματικό βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης προκύπτει αθροίζοντας τις εξής ομάδες πραγματικών βαρών, όπως αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου. Από πίνακα 8 (σ.44) έχουμε :

$$W_{M,REAL} = 200 + 300 = 362,14 + 102,91 = 465,05 \text{ t}$$

Παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη μέθοδος προσεγγίζει σχεδόν με μηδενική απόκλιση το απαιτούμενο αποτέλεσμα, άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε ένα διορθωτικό συντελεστή f, τον οποίο θα πολλαπλασιάσουμε με το W_M του υπό μελέτη πλοίου, προκειμένου να ελαττώσουμε το σφάλμα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων. Άρα έχουμε:

$$f = \frac{W_{M,REAL}}{W_{M,CALC}} = \frac{465,05}{466,573} = 0,9967 \text{ αποδεκτό}$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς μπορούμε να υπολογίσουμε τελικά το LS του πατρικού πλοίου το οποίο θα είναι :

$$LS = W_{ST} + W_{OT} + W_M = 982,94 + 644,91 + 466,57 = 2094,42 \text{ t}$$

Στο παραπάνω βάρος κενού πλοίου πρέπει να προστεθεί και το περιθώριο αύξησης του βάρους για μελλοντικές αναβαθμίσεις κατά 10%.

$$\text{Margin}(10\%) = 209,442 \text{ t}$$

Άρα τελικά :

$$LS_{\text{CALC}} (\text{with } 10\% \text{ margin}) = 2303,862 \text{ t}$$

Το πραγματικό βάρος κενού πλοίου είναι :

$$LS_{\text{REAL}} (\text{with } 10\% \text{ margin}) = 2308,57 \text{ t}$$

Άρα έχουμε το συντελεστή διόρθωσης :

$$f = \frac{W_{LS \text{ REAL}}}{W_{LS \text{ CALC}}} = \frac{2308,57}{2303,862} = 1,002 \text{ αποδεκτό}$$

1.5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LS ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”

Το LS του υπό μελέτη πλοίου θα υπολογισθεί με τις ίδιες μεθόδους με τις οποίες υπολογίστηκε και του πατρικού. Υπενθυμίζουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του.

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	Length between perpendiculars [m]	LBP	100
	Breadth moulded [m]	B	14,2
	Draft moulded [m]	T_d	4,1
	Depth [m]	D	7,9
ΒΑΡΗ			
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕ Σ ΜΟΡΦΗΣ	Deadweight [t]	DWT	493,4
	Γεωμετρικό εκτόπισμα [t]	ΔΓ	2828
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕ Σ ΜΟΡΦΗΣ	Block coefficient	C_B	0,4716
	Midship section coefficient	C_M	0,9472
	Prismatic coefficient	C_P	0,4979
	Waterplane coefficient	CWL	0,6485

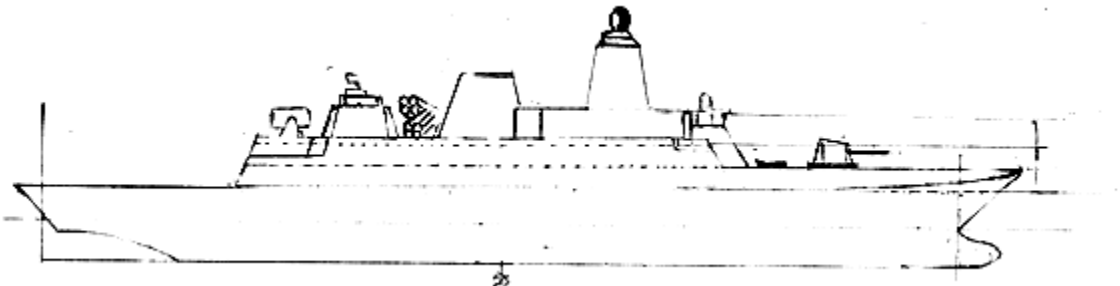
	Vservice [kn]	Vservice	16
	Vbattle [kn]	Vbattle	32

Ισχύς Μηχανής:		
Pb =	40818,469	kW
	55505,125	PS
	54744,704	HP

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά μεγέθη υπό μελέτη πλοίου έως τώρα.

1.5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_{ST} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”

Το υπό μελέτη πλοίο παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το πατρικό στην εξωτερική του μορφή και ακολουθεί τα πρότυπα σύγχρονων σχεδιάσεων μεταλλικής κατασκευής για μειωμένο RCS. Έτσι για την προεκτίμηση του W_{ST} θα πρέπει να φτιάξουμε ένα πρόχειρο σκαρίφημα του πώς θα μοιάζει εξωτερικά το πλοίο μας, μιας και δεν έχουμε ακόμα κατασκευάσει το ακριβές σχέδιο γενικής διάταξης. Το σχέδιο που φαίνεται παρακάτω είναι μια πρόχειρη σχεδιαστική απεικόνιση της κορβέτας με εμφανείς αναφορές τόσο στην ελληνική ‘ALS class 100’ όσο και στο πρόσφατο σχεδιαστικό ενγχείρημα της Τουρκίας την ‘MILGEM’.



Σχήμα 3. Σκαριφηματική απεικόνιση κορβέτας υπο κλίμακα

Για τον υπολογισμό του όγκου κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος εφαρμόζεται η μέθοδος Schneekluth, η οποία είναι σύνθετη μέθοδος καλής ακρίβειας. Αντίστοιχα για τον υπολογισμό του όγκου των υπερκατασκευών θα εφαρμοστεί η μέθοδος Müller – Köster.

Μέθοδος Schneekluth

$$W_{ST}' = \nabla_U \cdot C_{ST}' \cdot \delta$$

∇_U : Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος [m³]

C_{ST} : Ο συντελεστής ειδικού βάρους [t/ m³]

δ : διορθώσεις

Ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος ∇_U του πατρικού μου πλοίου δίνεται από τη σχέση :

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H$$

,όπου :

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} \quad (\text{όγκος έως το } D)$$

$$\nabla_S = LS \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2 \quad (\text{αύξηση όγκου λόγω σιμότητας})$$

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3 \quad (\text{αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας})$$

$$\nabla_H = \sum (I_{H_i} \cdot b_{H_i} \cdot h_{H_i}) \quad (\text{αύξηση όγκου λόγω στομιών καταστρώματος})$$

- ∇_D όγκος έως το κοίλο D

$$\nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD}$$

$$C_{BD} = C_B + C_1 \frac{D-T}{T} (1 - C_B) = 0,4716 + 0,4 \cdot \frac{7,9-4,1}{4,1} \cdot (1-0,4716) = 0,667495$$

(Το C_1 λαμβάνεται ίσο με 0,4)

$$\text{Άρα : } \nabla_D = L \cdot B \cdot D \cdot C_{BD} = 100 \cdot 14,2 \cdot 7,9 \cdot 0,667495 = 7487,955 \text{ m}^3$$

- ∇_S αύξηση όγκου λόγω σιμότητας

$$\nabla_S = L_S \cdot B \cdot (S_F + S_A) \cdot C_2 = 0$$

- ∇_b αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3$$

,όπου :

b : κυρτότητα καταστρώματος στη μέση τομή.

Έτσι :

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$C_3 = 0,7 \cdot C_{BD} = 0,7 \cdot 0,66745 = 0,467246$$

$$\nabla_b = L \cdot B \cdot b \cdot C_3 = 100 \cdot 14,2 \cdot 0,2 \cdot 0,4672 \Rightarrow$$

$$\nabla_b = 31,848 \text{ m}^3$$

- ∇_H αύξηση όγκου λόγω στομίων κυτών

$$\nabla_H = 0$$

Τελικά ο όγκος κάτωθεν του ανώτατου συνεχούς καταστρώματος είναι:

$$\nabla_U = \nabla_D + \nabla_S + \nabla_b + \nabla_H = 7487,955 + 0 + 31,848 + 0 \Rightarrow \nabla_U = 7519,802 \text{ m}^3$$

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς υπερκατασκευές δίνεται από τη σχέση :

$$W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \delta$$

Ο συντελεστής C'_{ST} για επιβατηγά πλοία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,1113 και 0,121.

Επιλέγω $C'_{ST} = 0,117$ όπως και στο πατρικό.

$$\delta = |1 + 0,033(L/D - 12)| \cdot |1 + 0,06(n - D/D_0)| \cdot |1 + 0,05(1,85 - B/D)| \cdot$$

$$|1 + 0,2(T/D - 0,85)| \cdot |0,92 + (1 - C_{BD})^2| \cdot |1 + 0,75 \cdot C_{BD} (C_M - 0,98)| = 1,029$$

,όπου: $D_0 = 4 \text{ m}$

Το κοίλο το χωρίζουμε σε καταστρώματα ως εξής :

$$D = 2 \cdot h_{\text{deck}} + h_{\text{hold}} + h_{\text{double bottom}} = 2 \cdot 2,4 + 1,6 + 1,5 = 7,9 \text{ m}$$

Άρα : n = 4 : αριθμός καταστρωμάτων

$$\text{Συνεπώς } W'_{ST} = \nabla_U \cdot C'_{ST} \cdot \delta = 7519,802 \cdot 0,117 \cdot 1,029 = 905,546 \text{ t}$$

Επειδή το υπό μελέτη πλοίο θα έχει και βολβό θα πρέπει να διορθώσουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής κατά 0,4% W'_{ST} οπότε το τελικό βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα προκύπτει :

$$W'_{ST} = W'_{ST} + 0,004 \cdot W'_{ST} = 909,168 \text{ t}$$

Για τον υπολογισμό του συνολικού βάρους της μεταλλικής κατασκευής απαιτείται να υπολογισθεί και να προστεθεί το βάρος των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων. Θα εφαρμόσω τη μέθοδο Müller - Köster για τον υπολογισμό τους.

➤ Υπερκατασκευές (Superstructures)

Στις υπερκατασκευές σύμφωνα με τη μέθοδο περιλαμβάνεται το πρόστεγο και το επίστεγο. Το υπό μελέτη πλοίο όμως δεν έχει επίστεγο ούτε πρόστεγο.

➤ Υπερστεγάσματα (Deck houses)

Για τον υπολογισμό του βάρους των υπερστεγασμάτων δεν μπορώ να θεωρήσω το ίδιο με αυτό του πατρικού λόγω σημαντικής διαφοράς στην εξωτερική μορφή τους. Έτσι θα ακολουθήσω την εξής διαδικασία. Από τους υπολογισμούς για το W_{dh} του πατρικού θα εξάγουμε έναν λόγο C_{dh} [t/m^3]. Κατόπιν από το σκαρίφημα του υπό μελέτη πλοίου θα κάνουμε μια εκτίμηση για τον όγκο των υπερστεγασμάτων και το αποτέλεσμα θα το πολλαπλασιάσουμε με τον υπολογισθέντα λόγο. Έτσι θα καταλήξουμε σε μία εκτίμηση του βάρους των υπερστεγασμάτων. Ξανασημειώνουμε τις στήλες (δύο πρώτες) από τις οποίες εξάγεται ο συνολικός όγκος των υπερστεγασμάτων του πατρικού.

ΠΥΡΓΩΤΑ	C_{dh} [t/m^3]	W_{dh} [t]	V [m^3]
ΘΕΣΗ I	0,057	102,68407	1801,475
ΘΕΣΗ II	0,055	50,94312	926,23853
ΘΕΣΗ III	0,052	25,20157	484,64554
ΘΕΣΗ IV	0,053	10,16366	191,76715
ΘΕΣΗ V	0,04	1,64296	41,073916

SUM	190,6354	3445,2001
-----	----------	-----------

Πίνακας 13. Όγκος υπερστεγασμάτων πατρικού πλοίου

$$\text{Άρα : } C_{DH \text{ πατρικού}} = \frac{W_{dh \text{ ολικό}}}{V_{\text{ολικό}}} = \frac{190,6354}{3445,2} = 0,05533 \text{ t/m}^3$$

Από την ογκομέτρηση του σκαριφήματος παίρνουμε για το υπό μελέτη πλοίο $V_{DH \text{ estimated}} = 4983,21 \text{ m}^3$.

Άρα το βάρος των υπερστεγασμάτων του υπό μελέτη πλοίου προκύπτει :

$$W_{DH \text{ estimated}} = V_{DH \text{ estimated}} \cdot C_{DH} = 4983,21 \cdot 0,05533 = 275,739 \text{ t}$$

Άρα τελικά από μέθοδο Schneekluth και την εκτίμηση που κάναμε για τις υπερκατασκευές προκύπτει :

$$W_{ST} = 909,168 + 275,739 = 1184,907 \text{ t}$$

Μέθοδος Watson

Θα επιχειρήσουμε να προσεγγίσουμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του υπο μελέτη πλοίου και με μια δεύτερη μέθοδο, προκειμένου να εξασφαλίσουμε μεγαλύτερη ακρίβεια. Η μέθοδος αποδείχθηκε ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά το πραγματικό βάρος για το πατρικό, για αυτό και θα χρησιμοποιηθεί και για το υπο μελέτη.

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον δείκτη εξοπλισμού EN κατά Lloyds Register :

$$EN = L \cdot (B + T) + 0,8 \cdot L \cdot (D - T) + 0,85 \cdot \sum h_{1i} \cdot l_{1i} + 0,75 \cdot \sum h_{2i} \cdot l_{2i}$$

Όπου :

h_{1i} , l_{1i} : αριθμός , ύψος και μήκος των υπερστεγασμάτων και h_{2i} , l_{2i} : αριθμός , ύψος και μήκος των υπερκατασκευών

Με αντικατάσταση, παίρνω :

$$E_N = 100 \cdot (14,2 + 4,1) + 0,8 \cdot 100 \cdot (7,9 - 4,1) + 0,75 \cdot (52 \cdot 2,4 + 42 \cdot 2,4 + 30,2 \cdot 2,4 + 32,5 \cdot 2,4) \Rightarrow$$

$$E_N = 2416,060 \text{ m}^2$$

Τα ύψη και τα μήκη των υπερκατασκευών έχουν προέρθει από την προηγηθείσα προσεγγιστική διαδικασία ογκομέτρησης του υπο μελέτη πλοίου μέσω του σκαριφήματος.

Μέσω του σχήματος 2.45 ‘Μελέτη Πλοίου Τεύχος’ [2] (σ.220) όπου δίδεται το W_{st}^* συναρτήσει του E_N , μπορεί να υπολογισθεί το αντίστοιχο βάρος για κανονικό συντελεστή γάστρας C_B^* , στο ύψος $0,8 D$, ίσο με $0,7$

$$W_{st}^* = 1095,4 \text{ t}$$

Διόρθωση για $C_B (0.8D) \neq 0.7$:

$$W_{ST.WATSON} = W_{ST}^* \cdot (1 + 0,5 \cdot (C_B^* - 0,7)) = 1022,539 \text{ t}$$

,όπου:

$$C_B^* = \frac{C_B + (1 - C_B) \cdot (0,8 \cdot (D - T))}{3 \cdot T} = \frac{0,4716 + (1 - 0,4716) \cdot (0,8 \cdot (7,9 - 4,1))}{3 \cdot 4,1} = 0,567$$

Έτσι τελικά το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου δίνεται από το μέσο όρο των δύο μεθόδων :

$$W_{ST} = \frac{W_{ST.WATSON} + W_{ST.SN}}{2} = \frac{1022,539 + 1184,907}{2} = 1103,723 \text{ t}$$

Το πλοίο μας ως πολεμικό, σε πάρα πολλά τμήματα είναι κατασκευασμένο με χάλυβα υψηλής αντοχής (Higher Tensile steel, HTS). Σύμφωνα με το βιβλίο ‘Μελέτη πλοίου Τόμος Α’ [2] (σ.245) στην περίπτωση αυτή επιτρέπεται μια μείωση του βάρους μεταλλικής κατασκευής κατά 5% – 7% περίπου. Εμείς μειώνουμε σε ένα ποσοστό 4,5%, ακριβώς όσο και στο πατρικό και παίρνουμε τελικά :

$$W_{ST\ CALC} = 1054,046 \text{ t}$$

Από το πατρικό πλοίο έχω υπολογίσει το συντελεστή διόρθωσης $f = 1,0061$. Άρα το διορθωμένο βάρος μεταλλικής κατασκευής του υπο μελετη πλοίου θα είναι :

$$W_{ST\ COR} = W_{ST\ CALC} \cdot f = 1054,046 \cdot 1,0061 \Rightarrow$$

$$W_{ST\ COR} = 1060,483 \text{ t}$$

1.5.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ W_{OT} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”

Το βάρος της ενδιαίτησης και εξοπλισμού W_{OT} (Outfit Weight) περιλαμβάνει βασικά όλα τα επί του «γυμνού» σκάφους εφαρμοσμένα εξαρτήματα του πλοίου, πλην της μηχανολογικής εγκατάστασης. Το υπολογίζω με δύο τρόπους και συγκρίνω τα αποτελέσματα.

➤ Με τους τυπικούς συντελεστές ομάδων βαρών , [2] (σ.256) :

	w(t/ m ³)	W=w*B*L*D
I	0,008	89,744
II1		
II2	0,004	44,872
III	0,008	89,744
IV	0,006	67,308
V	0,01	112,18
VI	0,0005	5,609
VII	0,001	11,218
VIII1		
VIII2	0,018	201,924
IX	0,003	33,654
TOTAL Wot =		656,253

Πίνακας 14. Τυπικοί συντελεστές ομάδων βαρών

➤ Με προσεγγιστικό τύπο :

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B \cdot D \text{ , [2] (σ.257):}$$

Επιλέγουμε $K_{OT} = 0,058 \text{ t/m}^3$

Άρα έχουμε :

$$W_{OT} = K_{OT} \cdot L \cdot B \cdot D = 0,058 \cdot 100 \cdot 14,2 \cdot 7,9 = 650,644 \text{ t}$$

Για βάρος εξοπλισμού, αφού και οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν ικανοποιητικά θα πάρουμε το μέσο όρο τους.
Έτσι :

$$W_{OT \text{ CALC}} = \frac{650,644 + 656,253}{2} = 653,449 \text{ t}$$

Από το πατρικό πλοίο έχω υπολογίσει το συντελεστή διόρθωσης $f = 0,9997$. Άρα το διορθωμένο βάρος ενδιάτησης και εξοπλισμού του υπό μελέτη πλοίου θα είναι :

$$W_{OT \text{ COR}} = W_{OT \text{ CALC}} \cdot f = 653,449 \cdot 0,9997 \Rightarrow$$

$$W_{OT \text{ COR}} = 653,256 \text{ t}$$

1.5.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ W_M ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ "ΥΔΡΑ"

Γνωρίζουμε ότι το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης μπορεί να αναλυθεί ως

$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR}$$

Όπου :

W_{MM} : βάρος κύριας μηχανής

W_{MS} : βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας

W_{MR} : βάρος λοιπών μηχανολογικών εξαρτημάτων

Επειδή αναφερόμαστε σε πολεμικό πλοίο στο βάρος W_{MM} θα συμπεριληφθεί και το βάρος των δύο αεροστροβίλων. Έστω ότι η προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από τις ίδιες δύο κύριες μηχανές MTU και από τους ίδιους δύο αεροστροβίλους LM 2500. Από τον κατάλογο του κατασκευαστή βρίσκουμε ότι το βάρος του κάθε αεροστροβίλου είναι 21,7 t ενώ το βάρος της κάθε κύριας μηχανής είναι 40 t. Χρησιμοποιώντας την αναλυτική μέθοδο υπολογισμού του βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης θα έχουμε :

i	Wms	Wmr
wi(kp / HP)	5	25
Pb (HP)	9497,11844	9497,1184
Wi (kp)	47485,5922	237427,96

Άρα :

$$W_M = 2 \cdot W_{M,E} + 2 \cdot W_{G,T} + W_{i_{ms}} / 1000 + W_{i_{mr}} / 1000 =$$

$$= 2 \cdot 40 + 2 \cdot 21,7 + 47485,5922 / 1000 + 237427 / 1000 = 408,314 \text{ t}$$

Από το πατρικό πλοίο έχω υπολογίσει το συντελεστή διόρθωσης $f = 0,996735$. Άρα το διορθωμένο βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης του υπό μελέτη πλοίου θα είναι :

$$W_{M\text{COR}} = W_{M\text{CALC}} \cdot f = 408,314 \cdot 0,996735 \Rightarrow$$

$$W_{M\text{COR}} = 406,981 \text{ t}$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς μπορούμε να υπολογίσουμε τελικά το διορθωμένο LS του υπό μελέτη πλοίου το οποίο θα είναι :

$$LS_{\text{COR}} = W_{\text{ST COR}} + W_{\text{OT COR}} + W_{M\text{COR}} = 1060,483 + 653,256 + 406,981 = 2120,719 \text{ t}$$

Στο παραπάνω βάρος κενού πλοίου πρέπει να προστεθεί και το περιθώριο αύξησης του βάρους για μελλοντικές αναβαθμίσεις κατά 10%.

$$\text{Margin}(10\%) = 212,072 \text{ t}$$

Άρα τελικά :

$$LS_{\text{REAL}} (\text{with } 10\% \text{ margin}) = 2332,791 \text{ t}$$

Για να δούμε αν το εκτόπισμα βαρών προσεγγίζει ικανοποιητικά το γεωμετρικό εκτόπισμα, με βάση αυτά που έχουμε υπολογίσει έως τώρα για το υπό μελέτη πλοίο, κάνουμε τον τελικό έλεγχο εκτοπισμάτων. Θα πρέπει το γεωμετρικό εκτόπισμα να είναι μεγαλύτερο έως 0,5%.

$$\Delta_B = LS + DWT = 2332,791 + 493,41 = 2826,2 \text{ t}$$

$$\Delta_\Gamma = 2828,02 \text{ t}$$

Επομένως :

$$\Delta_\Gamma > \Delta_B$$

$$\frac{\Delta_\Gamma - \Delta_B}{\Delta_\Gamma} = 0,0006 < 0,005 \rightarrow 0,5\%$$

Επομένως, αποδεχόμαστε τις διαστάσεις και τα αποτελέσματα της διαδικασίας .

Τέλος υπολογίζουμε και το νέο λόγο w_{LS} ο οποίος είναι :

$$w_{LS} = \frac{LS}{L \cdot B \cdot D} = \frac{2332,791}{100 \cdot 14,2 \cdot 7,9} = 0,208$$

1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ KG_{LS}, LCG_{LS} ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ”

Για να υπολογίσουμε το KG_{LS} και το LCG_{LS} του υπό μελέτη πλοίου θα πρέπει πρώτα να τα υπολογίσουμε για το πατρικό και να εξάγουμε τους λόγους KG/D και LCG/L τους οποίους και θα χρησιμοποιήσουμε για το υπό μελέτη πλοίο. Από τα στοιχεία του πατρικού είμαστε σε θέση να

γνωρίζουμε τα επιμέρους αναλυτικά βάρη καθώς και τα KG, LCG τους. Έτσι κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας.

Επεξήγηση Πίνακα 15:

$$KG/D = \frac{KG}{D}, \quad LCG/L = \frac{LCG}{L}, \quad Mt = \text{ΒΑΡΟΣ} \cdot KG, \quad MI = \text{ΒΑΡΟΣ} \cdot LCG$$

$$KG_{ST,M,OT} = \frac{(Mt_a + \dots + Mt_d)}{W_a + \dots + W_d}, \quad LCG_{ST,M,OT} = \frac{(MI_a + \dots + MI_d)}{W_a + \dots + W_d}, \quad a, \dots, d \text{ οι υποομάδες βαρών}$$

Επισημαίνουμε ότι προσαύξηση 10% σύμφωνα με τις απαιτήσεις έχουμε εκτός από το βάρος LS και στο κέντρο βάρους KG αυτού. Οπότε :

$$W_{\text{Margin}} = 0,1 \cdot W_{LS} \quad KG_{\text{Margin}} = 0,1 \cdot KG_{LS}$$

$$W_{LS(+M)} = W_{LS} + W_{\text{Margin}} \quad KG_{LS(+M)} = KG_{LS} + KG_{\text{Margin}}$$

Πατρικό

	BAPH	KG/D	KG	Mt	LCG/L	LCG	MI
Wst	988,940	0,743	5,890	5824,857	0,532	53,060	52473,156
Propulsion	362,140	0,367	2,910	1053,827	0,618	61,640	22322,310
Electric plant	102,910	0,710	5,630	579,383	0,524	52,290	5381,164
Wm	465,050	0,443	3,512	1633,211	0,597	59,571	27703,474
Command & Surveillance	92,690	0,999	7,920	734,105	0,582	58,090	5384,362
Auxilliary Systems	317,220	0,805	6,380	2023,864	0,524	52,270	16581,089
Outfit & Furnishings	152,440	0,902	7,150	1089,946	0,496	49,540	7551,878
Armament	82,370	1,185	9,390	773,454	0,284	28,390	2338,484
Wot	644,720	0,905	7,168	4621,369	0,495	49,410	31855,813
L.S	2098,710	0,726	5,756	12079,436	0,535	53,382	112032,443
Margin	209,871		0,576			53,382	
L.S(+M)	2308,581	0,799	6,331	14616,118	0,535	53,382	123235,688

Πίνακας 15. Εξαγωγή συντελεστών KG/D, LCG/L για το πατρικό πλοίο

Τους λόγους KG/D και LCG/L που υπολογίσαμε θα τους χρησιμοποιήσουμε, για την εύρεση του KG_{LS} και LCG_{LS} του υπό μελέτη πλοίου, όπου αυτό είναι όμοιο με το πατρικό. Έτσι κατασκευάζουμε τον πίνακα με τις εξής επισημάνσεις.

Επεξήγηση πίνακα 17 :

Για KG/D της μεταλλικής κατασκευής επιλέγουμε λόγο ελαφρώς αυξημένο σε σχέση με του πατρικού (κατά 2%) λόγω του αυξημένου όγκου υπερκατασκευών (σύγχρονη σχεδίαση με κλειστούς ελεύθερους χώρους).

Τα επιμέρους βάρη των ομάδων W_M και W_{OT} έχουν προκύψει διαχωρίζοντας το βάρος της βασικής ομάδας σε υποομάδες κατ αναλογία με αυτές του πατρικού.

$$KG = (KG / D) \cdot D, \quad LCG = (LCG / L) \cdot L, \quad Mt = \text{ΒΑΡΟΣ} \cdot KG, \quad MI = \text{ΒΑΡΟΣ} \cdot LCG$$

$$KG_{ST/M/OT} = \frac{(Mt_a + \dots + Mt_d)}{W_a + \dots + W_d}, \quad LCG_{ST/M/OT} = \frac{(MI_a + \dots + MI_d)}{W_a + \dots + W_d}, \quad a, \dots, d \text{ οι υποομάδες βαρών}$$

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον υπολογισμό του KG_{WOT} καθώς πρέπει να ληφθεί υπ όψιν η νέα προσθήκη που έχει γίνει στην υποκατηγορία Command & Surveillance, το I must 400 της Thales. Το βάρος του σύμφωνα με τη σελίδα του κατασκευαστή είναι 52 t και το κέντρο βάρους του σύμφωνα με το σκαρίφημα που έχουμε κάνει είναι στα 18 m. Έτσι το KG της υποκατηγορίας Command & Surveillance

$$\text{δίνεται από τον τύπο : } KG = \frac{18 \cdot 52 + 7,9 \cdot (93,917 - 52)}{93,917} = 13,492 \text{ m}$$

Το βάρος της κατηγορίας Armament περιλαμβάνει τους εκτοξευτήρες των όπλων που έχουν επιλεγεί για το υπό μελέτη πλοίο και δίνεται από τον παρακάτω πίνακα :

	launching mechanism weight [t]
OTO MELARA (76mm)	7,5
RAM x 21	5,777
A/A MK-41 VLS 4x8	48,624
E/E MK-141 2x4	11,8
T/Σ MK-32 2x3	2,02
MACHINE GUN (12,7 mm) x2	0,5216
SUM [t]	76,2426

Πίνακας 16. Βάρος κατηγορίας Armament

Επισημαίνουμε ότι προσαύξηση 10% σύμφωνα με τις απαιτήσεις έχουμε εκτός από το βάρος LS και στο κέντρο βάρους KG αυτού. Οπότε :

$$W_{\text{Margin}} = 0,1 \cdot W_{LS} \quad KG_{\text{Margin}} = 0,1 \cdot KG_{LS}$$

$$W_{LS(+M)} = W_{LS} + W_{\text{Margin}} \quad KG_{LS(+M)} = KG_{LS} + KG_{\text{Margin}}$$

Υπό μελέτη : D = 7,9 m L = 100 m

	BAPH	KG/D	KG	Mt	LCG/L	LCG	MI
Wst	1060,483	0,763	6,030	6394,880	0,532	53,166	56381,972
Propulsion	316,921	0,367	2,901	919,446	0,618	61,764	19574,136
Electric plant	90,060	0,710	5,613	505,502	0,524	52,395	4718,671
Wm	406,981	0,443	3,501	1424,947	0,597	59,690	24292,807
Command & Surveillance	93,917	1,708	13,492	1267,147	0,582	58,206	5466,585
Auxilliary Systems	321,420	0,805	6,361	2044,449	0,524	52,375	16834,294
Outfit & Furnishings	161,676	0,902	7,128	1152,484	0,496	49,639	8025,496
Armament	76,243	1,185	9,362	713,750	0,284	28,447	2168,865
Wot	653,256	1,003	7,926	5177,830	0,497	49,743	32495,240
L.S	2120,719	0,776	6,129	12997,658	0,534	53,364	113170,019
Margin	212,072		0,613	129,977		53,364	
L.S(+M)	2332,791	0,853	6,742	13127,635	0,534	53,364	124487,021

Πίνακας 17. . Εξαγωγή συντελεστών KG/D LCG/L για το υπό μελέτη πλοίο

APA :	KG	=	6,742 m
	LCG (from FP)	=	53,364 m
	LCG (from AP)	=	46,636 m

1.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΡΒΕΤΑΣ “ΥΔΡΑ” ΣΤΗ FULL LOAD DEPARTURE

Από πίνακα όπου συνοψίζονται οι δεξαμενές του πατρικού πλοίου, έχω :

TANK	WEIGHT [t]	VCG	MOMENT	LCG	MOMENT
BALLAST	41,15	4,23	174,0645	43,22	1778,503
BALLAST	35,2	2,71	95,392	39,73	1398,496
BALLAST	9,52	0,75	7,14	34,62	329,5824
FUEL	13,12	0,76	9,9712	28,42	372,8704
FUEL	27,65	0,76	21,014	20,59	569,3135
FUEL	61,27	2,64	161,7528	20,41	1250,5207
FUEL	37,17	2,35	87,3495	10,04	373,1868

FUEL SERVICE	35,91	2,47	88,6977	2,39	85,8249
POTABLE WATER	27,15	4,2	114,03	-5,98	-162,357
FUEL SERVICE	10,3	2,47	25,441	-13,58	-139,874
FUEL	60,34	2,32	139,9888	-18,93	-1142,236
FUEL	52,28	2,44	127,5632	-26,38	-1379,146
FUEL	21,15	0,78	16,497	-26,24	-554,976
FUEL	28,14	2,2	61,908	-28,6	-804,804
BALLAST	64,73	2,07	133,9911	-32,5	-2103,725
FUEL	23,1	2,64	60,984	-32,44	-749,364
JP-5 SETTLING	5,03	1,55	7,7965	-36,43	-183,2429
JP-5 SERVICE	8,02	2,6	20,852	-36,6	-293,532
JP-5 STORAGE	17,92	2,8	50,176	-38,6	-691,712
BALLAST	36,53	2,69	98,2657	-40,89	-1493,712
BALLAST	11,19	2,95	33,0105	-40,52	-453,4188

Πίνακας 18. Δεξαμενές πατρικού πλοίου

Αθροίζοντας καταλήγουμε στα παρακάτω :

CATEGORIES	WEIGHT	VCG	MOMENT	LCG	MOMENT
BALLAST	198,320	2,732	541,864	-2,744	-544,274
FUEL	370,430	2,163	801,167	-5,720	-2118,684
POTABLE WATER	27,150	4,200	114,030	-5,980	-162,357
JP-5	30,970	2,545	78,825	-37,730	-1168,487

Πίνακας 19. Συγκεντρωτικά στοιχεία των διάφορων κατηγοριών δεξαμενών ανάλογα το περιεχόμενο τους

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται αρχικά τα στοιχεία που πήραμε για το πατρικό και στις δύο τελευταίες στήλες οι υπολογισμοί που έγιναν για το υπό μελέτη πλοίο, χρησιμοποιώντας τους λόγους που εξάγαμε.

Βάρη	τιμές για το πατρικό		KG/D	LCG/L	τιμές για το υπό μελέτη	
	KG πατρικού	LCG πατρικού			KG	LCG
F.O.	2,1628	-5,7195	0,2729	-0,0573	2,1563	-5,731
JP-5	2,5452	-37,7296	0,3212	-0,378	2,5375	-37,8052
D.O.	-	-	-	-	-	-
L.O.	-	-	-	-	-	-
F.W	4,2	-5,98	0,53	-0,0599	4,1873	-5,992
Prov.	6	-29	0,7572	-0,2906	5,9818	-29,0581

Πίνακας 20. Υπολογισμός KG, LCG κατηγοριών αναλωσίμων υπό μελέτη πλοίου

ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ							
Βάρη	W	KG	KG/D	Mt	LCG	LCG/L	MI
F.O.	252,6354	2,1563	0,2729	544,7457	-5,7310	-0,0573	-1447,8506
F.O (Gas Turbine)	23,0487	2,5375	0,3212	58,4857	-37,8052	-0,3781	-871,3625
D.O.	68,7322	1,8000	-	123,7180	1,0000	-	68,7322
L.O.	11,0274	1,8000	-	19,8493	3,0000	-	33,0821
F.W	35,9910	4,1873	0,5300	150,7044	-5,9920	-0,0599	-215,6575
Prov.+ Consum.	29,5612	5,9818	0,7572	176,8298	-29,0581	-0,2906	-858,9920
TOTAL	420,9959	2,5519	0,3230	1074,3328	-7,8197	-0,0782	-3292,0483

Πίνακας 21. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού βάρους αναλωσίμων

DWT					
Βάρη	W	KG	Mt	LCG	MI
Αναλώσιμα	420,9959	2,5519	1074,3328	-7,8197	-3292,0483
crew	16,00	8,80	140,80	-29,0581	-464,9299
spare parts	25,00	6,32	158,00	16,40	410,00
payload	31,4175	14,0164	440,3617	-10,5984	-332,9760
DWT	493,4134	3,6754	1813,4946	-7,4582	-3679,9542

Πίνακας 22. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού DWT

ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ					
Βάρη	W	KG	Mt	LCG	MI
DWT	493,4134	3,6754	1813,4946	-7,4582	-3679,9542
L.S.	2332,7913	6,7418	15727,1666	-3,3640	-7847,4555
Δ	2826,2047	6,2064	17540,6611	-4,0788*	-11527,4097

Πίνακας 23. Υπολογισμός KG, LCG συνολικού εκτοπίσματος

* $LCG_{\Delta} = 45,921$ from A.P

1.7.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GM

Έλεγχος ευστάθειας στη FULL LOAD DEPARTURE

$$C_B = 0,4716 \quad C_P = 0,4979 \quad C_M = 0,9472$$

$$T = 4,1 \text{ m} \quad B = 14,2 \text{ m}$$

Αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε το κέντρο άντωσης και τη μετακεντρική ακτίνα, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$KM = KB + BM = B \cdot \left[C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{B}{T} \cdot C_M^{-\frac{2}{3}} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot C_M - 0,1 \cdot C_B}{B/T} \right] \quad , [2] \text{παράγραφος 2.18.3 (σ.303)}$$

,όπου :

C_1 : περιγράφει την κατανομή της ισάλου επιφανείας στη διαμήκη κατεύθυνση και την οξύτητα της κοντά στις παρειές του σκάφους

$$= 0,078 \text{ για ισάλους χωρίς παράλληλο τμήμα}$$

$$C_2 = (C_{WP} / (C_{WP})_{NORM})^a$$

$$\text{,όπου : } (C_{WP})_{NORM} = C_P^{2/3}$$

$$a = 1,5 \quad \text{,για } C_{WP} > (C_{WP})_{NORM}$$

Για τη μορφή των νομέων μου επιλέγω $C_{WP} = (C_{WP})_{NORM} + 0,05$

Με αντικατάσταση παίρνουμε :

$$(C_{WP})_{NORM} = C_P^{2/3} = 0,4979^{2/3} = 0,6282$$

$$C_{WP} = (C_{WP})_{NORM} + 0,05 = 0,6282 + 0,05 = 0,6782$$

$$C_2 = \left(\frac{0,6782}{0,6282} \right)^{1,5} = 1,1217$$

Άρα :

$$KM = KB + BM = B \cdot \left[C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{B}{T} \cdot C_M^{-\frac{2}{3}} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot C_M - 0,1 \cdot C_B}{B/T} \right] \Rightarrow$$

$$KM = 14,2 \cdot \left[0,078 \cdot 1,1217 \cdot \frac{14,2}{4,1} \cdot 0,94716^{-\frac{2}{3}} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot 0,94716 - 0,1 \cdot 0,4716}{14,2 / 4,1} \right] \Rightarrow$$

$$KM = 6,7933 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 6,7933 - 6,2064 = 0,587 \text{ m}$$

Το μετακεντρικό ύψος GM έχει υπολογιστεί μέσω προσεγγιστικού τύπου, που πλησίαζε περισσότερο το πραγματικό. Η τελική εκτίμηση του GM θα υπολογιστεί παρακάτω αφού εισάγουμε και εξομαλύνουμε τη

γάστρα μας. Το ίδιο και οι συντελεστές μορφής, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του GM, στην παρούσα φάση έχουν υπολογιστεί με τη χρήση προσεγγίσεων, ενώ η τελική τους τιμή θα προέρθει κι αυτή μετά την παραγωγή της γάστρας.

Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Πολίτη, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [2] Α. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου ,Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 1.
- [10] Α. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου ,Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 2.
- [17] Α. Δ. Παπανικολάου και Ε. Κ. Μπουλουγούρης, Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [22] Η. Α. Υφαντής, Το Εθνικό Δυναμικό και η Σχεδίαση Νέου Πολεμικού Πλοίου, Αθήνα, 2013.
- [28] Δ. Μήτρου, «Σχεδίαση Ειδικού Τύπου Πλοίου Επιτήρησης Θαλάσσιου Χώρου,» Αθήνα, Φεβρουάριος, 2008.
- [37] M.Parsons, «Parametric Design».
- [39] H. M. Brauer, «Entwurf eines „Offshore Patrol Vessel“ (OPV),» Dezember, 2003.
- [43] V. Bertram, «Practical Ship Hydrodynamics,» 2000.
- [45] V.Schneekluth, H.Bertram, Ship Design for Efficiency and Economy, 1987.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

«Η ανώτατη αρετή δεν είναι νά 'σαι ελεύθερος,
παρά να μάχεσαι για ελευτερία»

Νίκος Καζαντζάκης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Το σχέδιο γραμμών του υπο μελέτη πλοίου προέκυψε από ένα cross section plan της Superior Class Frigate. Πάνω στο σχέδιο των νομέων μετρήσαμε ένα ικανοποιητικό αριθμό offsets και κατόπιν τα περάσαμε στο πρόγραμμα AVEVA Lines, όπου ακολούθησε η εξομάλυνση των νομέων. Η διαδικασία περιελάμβανε distortion της γάστρας ώστε να συμπίπτει με το υπλογισθέν C_b . Το αποτέλεσμα προέκυψε μετά από αρκετούς κύκλους εξομαλύνσεων με sections waterlines και buttocks, ώστε να είναι το επιθυμητό. Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος σημεία υπήρξαν η κατασκευή της τρισδιάστατης καμπύλης knuckle στο κύριο κατάστρωμα του πλοίου καθώς και της πρύμνης κεκλιμένου καθρέπτη.

Η τελική μορφή της γάστρας που προέκυψε συγκεντρώνει τα εξής στοιχεία, τα οποία βελτιώνουν την υδροδυναμική της συμπεριφορά και την πλεύση.

- Γάστρα με πλατιές ισάλους
- Υψηλός συντελεστής Wp στο εμπρόσθιο τμήμα
- Νομείς τύπου V στο εμπρόσθιο τμήμα
- Άνοιγμα νομέων (flare) πάνω από την ίσαλο γραμμή στο εμπρόσθιο τμήμα

Ορισμένα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά της γάστρας έχουν επίσης επιλεγεί με κριτήριο τη βέλτιστη συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμό και την ελαχιστοποίηση της αντίστασης. Η εγκάρσια επιφάνεια του καθρέπτη έχει επιλεγεί στο 12% της αντίστοιχης επιφάνειας μέσης τομής. Η βύθιση της πρύμνης έχει επιλεγεί στα 0,94 m στο βύθισμα σχεδίασης, ώστε να διασφαλίσουμε όσο δυνατό πιο πλήρη αποκόλληση της ροής ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες, όπως την ταχύτητα υπηρεσίας 16 kn. Η ημίση γωνία εισόδου της ισάλου σχεδιάσεως έχει επιλεγεί στις 7° , με στόχο τον περιορισμό της δημιουργίας και εξάπλωσης φουσαλίδων κοντά στην περιοχή του ενσωματωμένου στην κοιλότητα της γάστρας, sonar.

Η διαδικασία σχεδίασης στο πρόγραμμα ολοκληρώθηκε με την αλλαγή του προωραίου τμήματος του πλοίου, ώστε να τοποθετηθεί ο βολβός. Για το σχεδιασμό του βολβού ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία, για την οποία στοιχεία αντλήσαμε από τη δημοσίευση των R.Sharma, O.P.Sha *'Hydrodynamic design of integrated bulbous bow / Sonar dome for naval ships'* [3]

Από διαγράμματα, για F_n (cruise) = 0,2628, παίρνουμε τους εξής συντελεστές :

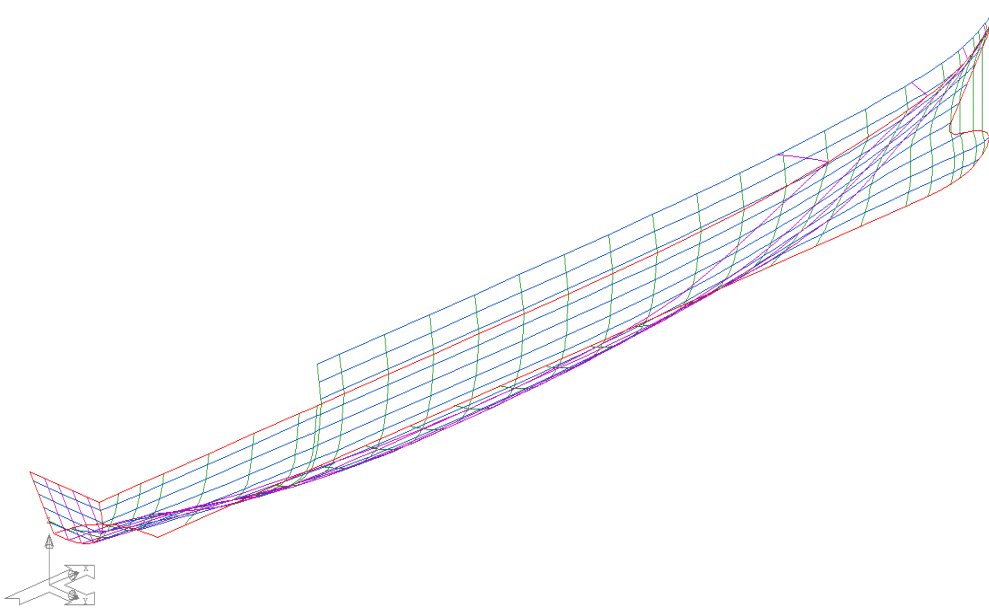
$$\left. \begin{aligned} C_{ZB} &= \frac{Z_B}{T} = 0,75 \\ C_{BB} &= \frac{B_B}{B} = 0,058 \\ C_{LPR} &= \frac{L_{PR}}{L_{BP}} = 0,041 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Z_B = 3,075 \text{ m} \quad B_B = 0,824 \text{ m} \quad L_{PR} = 4,1 \text{ m}$$

,όπου : Z_B Height of the foremost point above keel line on the bulb at FP

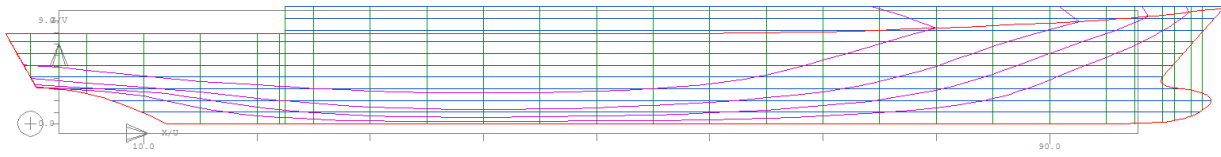
B_B Maximum breadth of bulb area A_{BT} (Cross-sectional area at FP)

L_{PR} Protruding length of bulb

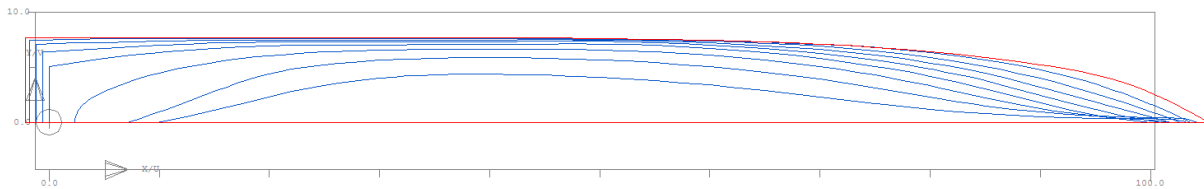
Με τα παραπάνω τρία βασικά μεγέθη που εξάγαμε, κατασκευάζουμε μια πρώτη μορφή του βολβού μας, που θα χρησιμεύσει στην εξαγωγή των υδροστατικών μεγεθών. Παρακάτω ακολουθούν εικόνες από το μοντέλο με τους εξομαλυνμένους νομείς και ισάλους.



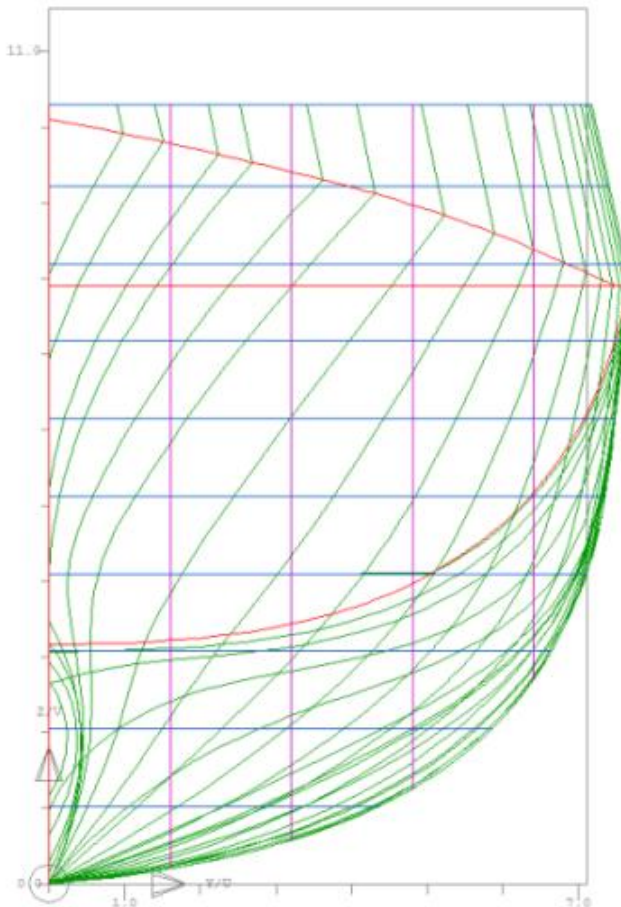
Σχήμα 4. Τελική μορφή σχεδίου γραμμών κορβέτας, μετά το πέρας της διαδικασίας της εξομάλυνσης στο πρόγραμμα AVEVA



Σχήμα 5. Προφίλ κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των buttocks



Σχήμα 6. Κάτοψη κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των ισάλων



Σχήμα 7. Πρόσωση κορβέτας, όπου διακρίνεται η μορφή των νομέων

Με την ολοκλήρωση της εξομάλυνσης, η γεωμετρία της γάστρας έχει πάρει την τελική μορφή της και είμαστε έτοιμοι να εξάγουμε την επιφάνεια για το επόμενο κεφάλαιο και να φτιάξουμε το σχέδιο γενικής διάταξης. Πριν όμως, καλό θα ήταν να επωφεληθούμε της δυνατότητας που μας δίνει το Lines και να εξάγουμε τα πραγματικά υδροστατικά χαρακτηριστικά της γάστρας, ώστε να οριστικοποιηθούν οι νέοι συντελεστές μορφής και να αντικατασταθούν οι παλαιοί που είχαν προκύψει με προσεγγιστικούς τύπους. Ο πλήρης ανανεωμένος πίνακας με τα γεωμετρικά στοιχεία της γάστρας φαίνεται ακολούθως :

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	Length between perpendiculars [m]	LBP	100
	Breadth moulded [m]	B	14,2
	Draft moulded [m]	T_d	4,1
	Depth [m]	D	7,9
ΒΑΡΗ			
	Deadweight [t]	DWT	493,4
	Γεωμετρικό εκτόπισμα [t]	ΔΓ	2828
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ			
	Block coefficient	C_B	0,4716
	Midship section coefficient	C_M	0,7198
	Prismatic coefficient	C_P	0,6546
	Waterplane coefficient	CWL	0,7464
ΔΥΝΑΜΕΙΣ			
	Vservice [kn]	Vservice	16
	Vbattle [kn]	Vbattle	32

Πίνακας 24. Τελικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γάστρας

2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΠΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

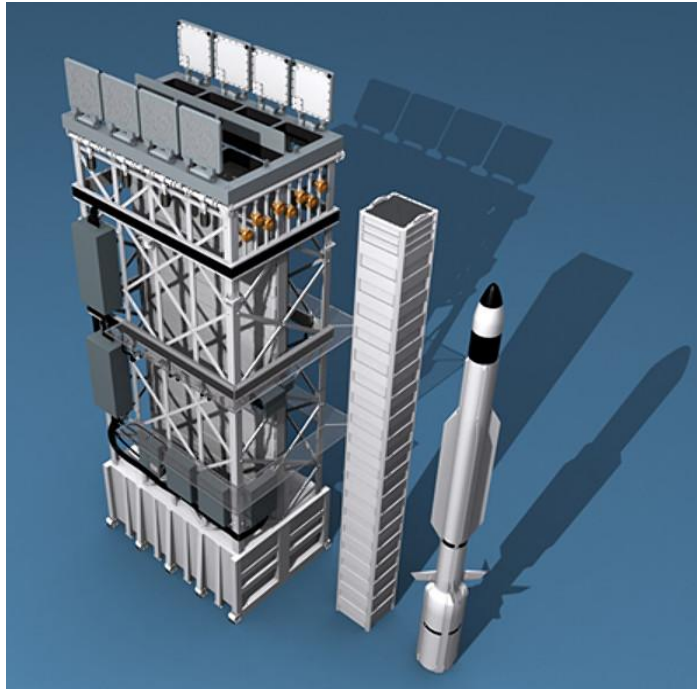
Εκτοξευτήρας MK 41 VLS



Εικόνα 1. Εκτοξευτήρας MK 41 VLS

Ένα τέταρτο του αιώνα πριν, αναλήφθηκε ένα ερευνητικό έργο, που είχε σαν σκοπό την εξέλιξη ενός αξιόπιστου εκτοξευτήρα πυραύλων επιφανείας, που να παρέχει προστασία από επιθέσεις αέρος. Από τότε ο εκτοξευτήρας MK 41 (Vertical Launching System) αναπτύχθηκε και διευρύνθηκε σε ένα ναυτικό εκτοξευτήρα πολλαπλών αποστολών/πολυπυραυλικό, ο οποίος χρησιμοποιείται από πολλές χώρες. Πιο συγκεκριμένα ο MK 41 VLS εξέλιξε τον τρόπο κατά τον οποίο τα ναυτικά παγκοσμίως σκέφτονται για τις ναυτικές εχθροπραξίες. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι κανένας άλλος εκτοξευτήρας δεν είναι ικανός για εκτόξευση πυραύλων για κάθε είδους απειλή ή εχθροπραξία. Πριν το συγκεκριμένο οπλικό σύστημα, τα πλοία που σχεδιάζονταν έπρεπε να εκτελούν συγκεκριμένη αποστολή. Ο MK 41 VLS προσφέρει απεριόριστη ευελιξία λόγω του σκεπτικού « οποιοσδήποτε πύραυλος, οποιαδήποτε κυψέλη». Το κλειδί στην επιτυχία του συγκεκριμένου οπλικού συστήματος είναι η ανοιχτή αρχιτεκτονική του και η αρθρωτή σχεδίαση του. Ο εκτοξευτήρας στηρίζεται σε μία βασική υπομονάδα οχτώ κυψελών, η κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από το δικό της σύστημα ελέγχου εκτόξευσης και σύστημα διαχείρισης καυσαερίων. Συναρμολογούμενη σαν μονάδα, κάθε υπομονάδα προστιθέμενη σε άλλες υπομονάδες, δημιουργεί

εκτοξευτήρες σε μέγεθος ανάλογα με τον χώρο και τις απαιτήσεις του πλοίου. Η βασική υπομονάδα είναι διαθέσιμη σε τρία μεγέθη:, Strike, Tactical και Self-Defense. Το πλοίο μας θα διαθέτει συστοιχία 16 κυψελών.



Εικόνα 2. Σύστημα 8 κυψελών και ο όγκος που καταλαμβάνει η τοποθέτησή τους

Αντιαεροπορικά βλήματα RIM-162 ESSM (Medium-range surface-to-air missile)



Εικόνα 3. Αντιαεροπορικό βλήμα ESSM

Τα βλήματα RIM-162 Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM) είναι μετεξέλιξη των πυραύλων RIM-7 Sea Sparrow για την προστασία των πολεμικών πλοίων από εχθρικούς πυραύλους και μαχητικά αεροσκάφη. Είναι σχεδιασμένοι για να αντιμετωπίζουν υπερηχητικούς κατευθυνόμενους αντιπλοϊκούς πυραύλους. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εν λόγω πύραυλοι, σε σχέση με τους προκατόχους τους, είναι ότι διαθέτουν ισχυρότερο πυραυλικό κινητήρα για αυξημένο βελινεκές και ευελιξία, βελτιωμένη αεροδυναμική και εκμεταλλεύονται την πιο σύγχρονη τεχνολογία καθοδήγησης πυραύλων. Τέλος έχουν τη δυνατότητα εκτόξευσης από το σύστημα MK 41 VLS και μάλιστα μπορούν να τοποθετηθούν μέχρι και τέσσερις ESSMs σε ένα μόνο κελί του εκτοξευτήρα (quad-packed).

Τορπιλοσωλήνες MK 32 / Τορπίλες MK 46



Εικόνα 4. Τορπίλες MK 46 και τορπιλοσωλήνες MK 32

Ο τορπιλοσωλήνας MK 32 είναι το βασικό σύστημα εκτόξευσης τορπιλών για τα πλοία του Αμερικανικού Ναυτικού από την εισαγωγή του το 1960 και χρησιμοποιείται ευρέως από πολεμικά πλοία διαφόρων ναυτικών δυνάμεων. Οι περισσότερες εκδόσεις του είναι σετ τριών σωλήνων που μπορούν να περιστραφούν.

Η τορπίλη Mk-46 είναι σχεδιασμένη να εκτοξεύεται από σωλήνες επιφανείας και να επιτίθεται σε υψηλής απόδοσης υποβρύχια και επί του παρόντος χαρακτηρίζεται ως NATO standart. Αποτελεί βασικό ελαφρύ οπλικό σύστημα επιφανείας - θαλάσσης για το Ναυτικό. Τα χαρακτηριστικά της είναι τα εξής :

- Πρωτεύουσα λειτουργία : τορπίλη μικρού βάρους επιφανείας - θαλάσσης
- Εγκατάσταση Πρόωσης : διπλής ταχύτητας, παλινδρομικής εξωτερικής καύσης, μονέλικη
- Μήκος: 102,36 in

- Βάρος: 517,65 lbs
- Διάμετρος: 12,75 in
- Εύρος: 8000 yards
- Ταχύτητα: Μεγαλύτερη από 28 kn

Το πλοίο μας θα διαθέτει 2 τριάδες τορπιλοσωλήνων εγκατεστημένους εκατέρωθεν δεξιά και αριστερά του πλοίου.

Αντιπυραυλικό σύστημα RAM



Εικόνα 5. Εκτοξευτήρας RAM

Ο πύραυλος RIM-116 Rolling Airframe Missile (RAM) είναι ένας μικρός, ελαφρύς πύραυλος επιφανείας – αέρος, με υπέρυθρο σύστημα εντοπισμού. έχει σχεδιαστεί να καταστρέφει πυραύλους που βάζονται εναντίον του πλοίου, επιτιθέμενα αεροσκάφη, ελικόπτερα, ακόμα και μερικά μικρά πλοία επιφανείας. Η εμβέλειά του φτάνει τα 10 km. Ονομάστηκε έτσι λόγω της ιδιότητάς του να περιστρέφεται γύρω από το διαμήκη άξονά του για να σταθεροποιήσει το ίχνος πτήσης του, σαν μια σφαίρα που εκτοξεύεται από μια ραβδωτή κάννη. Είναι ο μόνος πύραυλος του Ναυτικού των ΗΠΑ που λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο. Ο εκτοξευτήρας μπορεί να περιέχει είτε έντεκα είτε εικοσιένα πυραύλους. Οι πύραυλοι RAM μαζί με το

ΜΚ 49 Guided Missile Launching System (GMLS) και το βοηθητικό εξοπλισμό, συγκροτούν το RAM MK 31 Guided Missile Weapon System (GMWS). Το σύστημα από μόνο του δεν περιλαμβάνει τους δικούς του αισθητήρες για τη στοχευμένη πυροδότηση, για αυτό πρέπει να ενσωματωθεί στο σύστημα μάχης του πλοίου, που κατευθύνει τον εκτοξευτή εναντίον του στόχου.

Είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε την αυτοάμυνα του πλοίου, από άλλες εργασίες του. Με τα πυραυλικά συστήματα, οι εργασίες μπορεί να περιλαμβάνουν οτιδήποτε, από επιθέσεις, μέχρι αντιαεροπορική άμυνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρόνος δράσης- αντίδρασης είναι σημαντικός, αλλά όχι επακριβής. Για τα αμυντικά συστήματα, ο χρόνος αντίδρασης από την ανίχνευση της εισερχόμενης απειλής έως την εξουδετέρωση της είναι ζωτικής σημασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ακόμα και μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου μπορούν να κάνουν την διαφορά μεταξύ του να χτυπηθεί το πλοίο ή να επιβιώσει. Τα κύρια χαρακτηριστικά τέτοιων συστημάτων πρέπει να είναι :

- Πολύ γρήγοροι χρόνοι αντίδρασης
- Πολύ υψηλές πιθανότητες καταστροφής
- Ικανότητα «fire and forget»
- Αντιμετώπιση επίθεσης πολλαπλών στόχων, ποικίλων ικανοτήτων
- Υψηλή νοημοσύνη ώστε να ξεχωρίζει τους ψεύτικους από τους αληθινούς στόχους
- Υψηλό αριθμό πυραύλων έτοιμων για εκτόξευση για αντιμετώπιση συνεχούς επίθεσης
- Βέλτιστο εύρος πυραύλων

Το πλοίο μας θα διαθέτει έναν εκτοξευτήρα που θα περιέχει εικοσιένα πυραύλους RAM

Εκτοξευτές Αντιποϊκών Βλημάτων Επιφανείας – Επιφανείας Harpoon



Εικόνα 6. Εκτοξευτήρες αντιπλοϊκών πυραύλων Harpoon

Οι πύραυλοι Harpoon είναι κατευθυνόμενοι αντιπλοϊκοί πύραυλοι. Εκτοξεύονται και ταξιδεύουν με την τεχνική ‘sea-skimming’ όσο δηλαδή πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας μπορούν (συχνά κοντά στα 5 m), ώστε να αποφύγουν πιθανή ανίχνευση από radar και αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά την προσέγγισή τους στο στόχο. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνονται αντιληπτοί από το πλοίο μόλις 28 – 46 km μακριά του, αφήνοντας περιθώριο αντίδρασης περίπου 25 – 60 sec για την εξουδετέρωσή τους. Το πλοίο μας θα διαθέτει 2 τετράδες εκτοξευτών βλημάτων Harpoon.

Βασικό όπλο ΟΤΟ Melara 76 mm



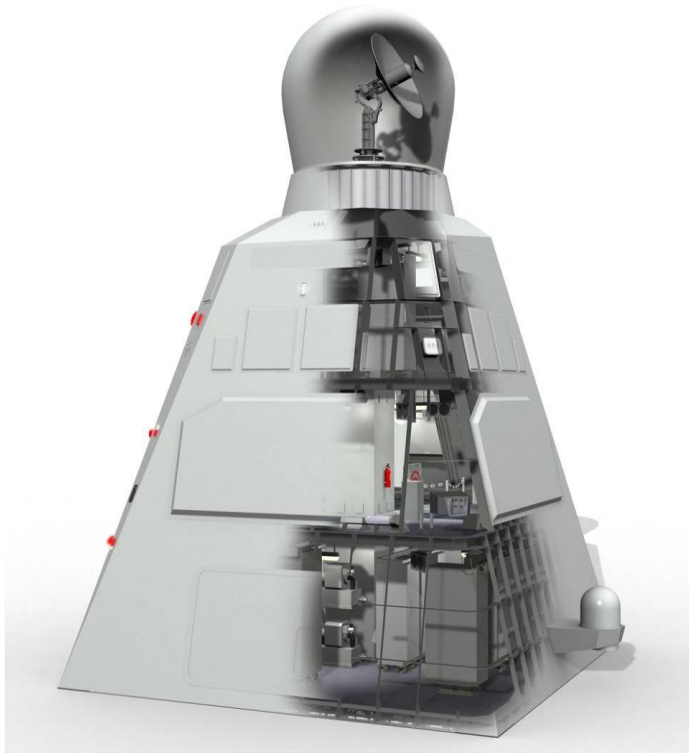
Εικόνα 7. Ναυτικό όπλο ΟΤΟ Melara 76 mm

Το ΟΤΟ Melara 76 mm είναι ναυτικό όπλο κατασκευασθέν από την ιταλική εταιρεία άμυνας Oto Melara. Βασίζεται στο Oto Melara 76/62C και εξελίχθηκε στο 76/62 Strales. Η υψηλή ταχύτητα πυρός του όπλου το καθιστά κατάλληλο για κοντινής εμβέλειας αντιπυραυλική άμυνα, ενώ το διαμέτρημά του, του επιτρέπει επιπλέον να αναλαμβάνει τόσο αντιαεροπορικό ρόλο, όσο και ρόλο κατά επιφάνειας/εδάφους. Επιπροσθέτως μπορεί να χρησιμοποιήσει εξειδικευμένα πυρομαχικά για διάτρηση θωράκισης (armor piercing), εμπρηστικά βλήματα και βλήματα θραυσμάτων, ενώ υπάρχει επίσης μια νέα σειρά κατευθυνόμενων βλημάτων που είναι σε θέση να καταστρέψουν ερχόμενα ελίσσόμενα βλήματα κατά πλοίων. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ένας νέος κλωβός με stealth χαρακτηριστικά, όπως ο εικονιζόμενος. Τα ΟΤΟ Melara 76 χιλιοστών εξάγονται σε μεγάλο αριθμό και είναι σε ευρεία χρήση αυτή τη στιγμή από 60 ναυτικές δυνάμεις.

Οι τελευταίες εξελίξεις στο χώρο του σύγχρονου πολέμου οδήγησαν την εταιρεία στη εξέλιξη του όπλου με την εφαρμογή Strales System και τη χρήση κατευθυνόμενων βλημάτων DART (Driven Ammunition Reduced Time of flight) διευρύνοντας έτσι τις δυνατότητες κοντινής παθητικής άμυνας του όπλου, ως αντιπυραυλικό σύστημα επικουρικά στο Phalanx. Μάλιστα μιας και στο δικό μας πλοίο δεν επιλέξαμε κάποιο όπλο κοντινής άμυνας (CIWS close-in weapon system), το παρόν τεχνολογικό εγχείρημα της ΟΤΟ Melara δείχνει να είναι ο καλύτερος δυνατός αντικαταστάτης και μια οικονομικά συμφέρουσα πρόταση, αφού συνδιάζει ενεργητικό και παθητικό ρόλο. Η μεγαλύτερη εμβέλεια του μάλιστα σε σύγκριση με το Phalanx σημαίνει ότι ένα μόνο όπλο μπορεί να αντιμετωπίσει παραπάνω από έναν πυραύλους σε μία εχθροπραξία, ενώ παράλληλα μειώνει στο ελάχιστο τις καταστροφικές επιπτώσεις από την εξουδετέρωση εχθρικού πυραύλου πλησίον του πλοίου, λόγω θραυσμάτων.

2.2.2 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

I – Mast 400 (Integrated Mast 400)



Εικόνα 8. I – Mast 400 Thales

Το I – Mast 400 της Thales είναι μια ολοκληρωμένη λύση, που περιλαμβάνει ναυτικούς αισθητήρες και τηλεπικοινωνίες, τοποθετημένες μέσα σε μια προηγμένη κατασκευή ιστού. Παρέχει αξιοσημείωτα

πλεονεκτήματα στις λειτουργικές επιδόσεις του πλοίου, αφού ξεπερνά τα προβλήματα των παραδοσιακών συστημάτων, που σχετίζονται με ηλεκτρομαγνητικές αλληλοκαλύψεις και εμπόδια στο οπτικό πεδίο. [4]

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Χαμηλή παρεμβολή
- Ανεμπόδιστο εύρος οπτικού πεδίου 360°
- Μειωμένη υπογραφή (Stealth)
- Υποσυστήματα που έχουν δοκιμαστεί στην πράξη και φέρουν την αποκλειστική ευθύνη του προμηθευτή
- Plug & Play εγκατάσταση
- Συντήρηση εκ των έσω

2.2.3 ΣΧΕΔΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΩΡΩΝ

Πλήρωμα

Με βάση τον Γερμανικό κανονισμό BV 1700-1, καθώς και τα αποτελέσματα από τα όμοια πλοία θέσαμε κάποια ελάχιστα τετραγωνικά, που πρέπει να υπάρχουν για το πλήρωμα. Το πλήρωμα πρέπει να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι διάφοροι υπηρεσιακοί βαθμοί να χωρίζονται, οι δε αξιωματικοί θα ήταν καλύτερο να τοποθετηθούν σε άλλο κατάστρωμα, καθώς έτσι γίνεται παραδοσιακά. Οι χώροι υγιεινής πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατό πιο κοντά στο πλήρωμα και ακόμα καλύτερα να είναι προσιτοί μόνο από τον εκάστοτε βαθμό. Το πλήρωμα τοποθετείται όσο πιο δυνατόν στο κέντρο, καθώς στο μπροστινό μέρος του πλοίου η διαμονή του πληρώματος δυσκολεύει στην πορεία λόγω κυματισμών, ενώ στο πίσω μέρος του πλοίου λόγω των κραδασμών των μηχανών. Το πλήρωμα τοποθετείται όσο αυτό είναι δυνατό κάτω από τις υπερκατασκευές και πρέπει να υπάρχουν σύντομοι διάδρομοι. Τα κρεβάτια σε κάποιες περιπτώσεις είναι τριώροφα και στα δωμάτια Αξιωματικών τοποθετούνται κομοδίνο και γραφείο. Έτσι οι ναύτες τοποθετούνται στο τρίτο κατάστρωμα με μέγιστο αριθμό εννέα ατόμων στους υποθαλάμους. Επίσης στο ίδιο κατάστρωμα βρίσκονται και μερικά δωμάτια υπαξιωματικών, καθώς και κάποιες αποθήκες. Στο δεύτερο κατάστρωμα βρίσκονται τα δωμάτια των ανθυπασπιστών, καθώς και μερικά δωμάτια Αξιωματικών. Επίσης τοποθετούνται οι τραπεζαρίες των Υπαξιωματικών, των Ανθυπασπιστών και των Ναυτών, καθώς και το σαλόνι των Ανθυπασπιστών. Στο πρώτο κατάστρωμα τοποθετούνται τα δωμάτια των Αξιωματικών. Ο κυβερνήτης και ο πρώτος αξιωματικός έχουν τις καμπίνες τους στην γέφυρα, έτσι ώστε να είναι η περιοχή διοίκησης πιο εύκολα προσβάσιμη.

Τραπεζαρίες/Καρέ Αξιωματικών

Το Galley βρίσκεται στο δεύτερο κατάστρωμα και συνδέεται απευθείας με τους χώρους αποθήκευσης των προμηθειών πάνω από το διπύθμενο. Στο ίδιο κατάστρωμα βρίσκεται και το σαλόνι και η τραπεζαρία των Ανθυπασπιστών, καθώς και των Ναυτών και των Υπαξιωματικών. Η τραπεζαρία των Αξιωματικών βρίσκεται στο πρώτο κατάστρωμα.

Μηχανοστάσιο

Το Μηχανοστάσιο αποτελείται από δύο ανεξάρτητα διαμερίσματα, τα οποία δεν είναι συνεχή, προκειμένου βρίσκονται σε δύο διαφορετικούς χώρους ελέγχου βλαβών (Damage Control Areas). Δηλαδή σε περίπτωση κατάκλυσης του ενός διαμερίσματος να περιοριστεί η πιθανότητα κατάκλυσης και του δεύτερου διαμερίσματος, προκειμένου να εξασφαλιστεί η δυνατότητα πλεύσης ακόμα και μετά από βλάβη, καθώς το κάθε διαμέρισμα είναι λειτουργικά ανεξάρτητο. Έτσι ο χώρος του μηχανοστασίου εκεί που βρίσκονται οι κύριες μηχανές και οι αεροστρόβιλοι καταλαμβάνει δύο καταστρώματα.

Οπλικά Συστήματα

Το πυροβόλο των 76 mm τοποθετείται όπως συνηθίζεται στο μπροστινό μέρος του πλοίου. Επίσης ο εκτοξευτήρας RAM τοποθετείται στην υπερκατασκευή. Ο εκτοξευτήρας επιφανείας- αέρος VLS τοποθετείται στο πρώτο κατάστρωμα στο μπροστινό μέρος του πλοίου και καταλαμβάνει ένα ολόκληρο διαμέρισμα. Οι πύραυλοι Harpoon τοποθετούνται στο μπροστινό μέρος του πλοίου, ενώ οι торπίλες προς την πρύμνη.

Hangar

Το Hangar προσφέρει χώρο για ένα ελικόπτερο βάρους περίπου 10 t, βάρος το οποίο έχουν τα περισσότερα συνήθη ελικόπτερα που χρησιμοποιούνται στο Ναυτικό, όπως το NH 90, Superpuma, SH 60B Seahawk Sikorsky. Το συνεργείο τοποθετείται μέσα στο Hangar, καθώς και το σύστημα πυρόσβεσης.

Το Σχέδιο Γενικής Διάταξης παρατίθεται στο τέλος της εργασίας.

Βιβλιογραφία

- [3] R. Sharma και O. P. Sha, «Hydrodynamic design of integrated bulbous bow / Sonar dome for naval ships».
- [4] «www.thalesgroup.com/integratedmast,» Thales Group
- [10] Α. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου ,Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 2.
- [17] Α. Δ. Παπανικολάου και Ε. Κ. Μπουλουγούρης, 'Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [22] Η. Α. Υφαντής, Το Εθνικό Δυναμικό και η Σχεδίαση Νέου Πολεμικού Πλοίου, Αθήνα, 2013.
- [28] Δ. Μήτρου, «Σχεδίαση Ειδικού Τύπου Πλοίου Επιτήρησης Θαλάσσιου Χώρου,» Αθήνα, Φεβρουάριος, 2008.
- [37] M.Parsons, «Parametric Design».
- [41] A.Kracht «Design of Bulbous Bows,» SNAME, 1978.
- [42] TRIBON Solutions, «Tribon M3 Lines Production».
- [43] V. Bertram, «Practical Ship Hydrodynamics,» 2000.

[44] M. Ventura, «Bulbous Bow Design and Construction».

[45] V.Schneekluth, S. Bertram, Ship Design for Efficiency and Economy, 1987.

[49] Ν. Μαλαχίας, Γ.Σάγος « Αρχές Ραντάρ και Ηλεκτρονικού Πολέμου »

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

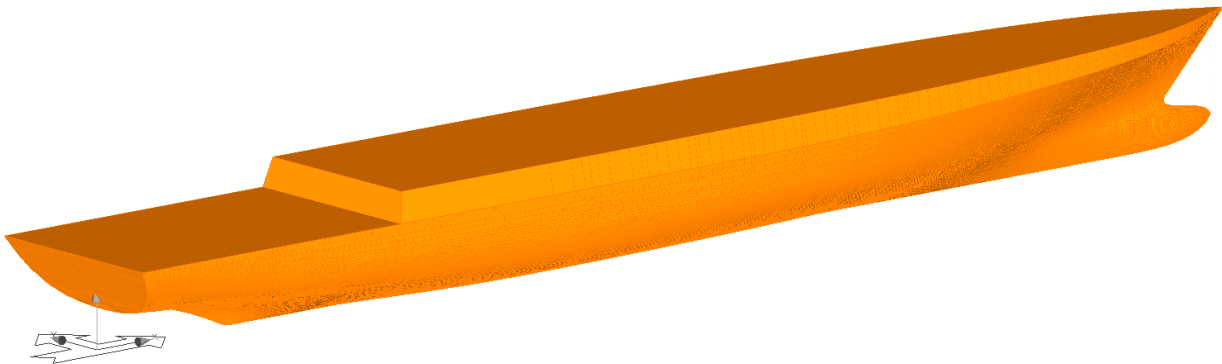
«Μην καταδέχεσαι να ρωτάς:
"Θα νικήσουμε; Θα νικηθούμε;" Πολέμα!»

Νίκος Καζαντζάκης

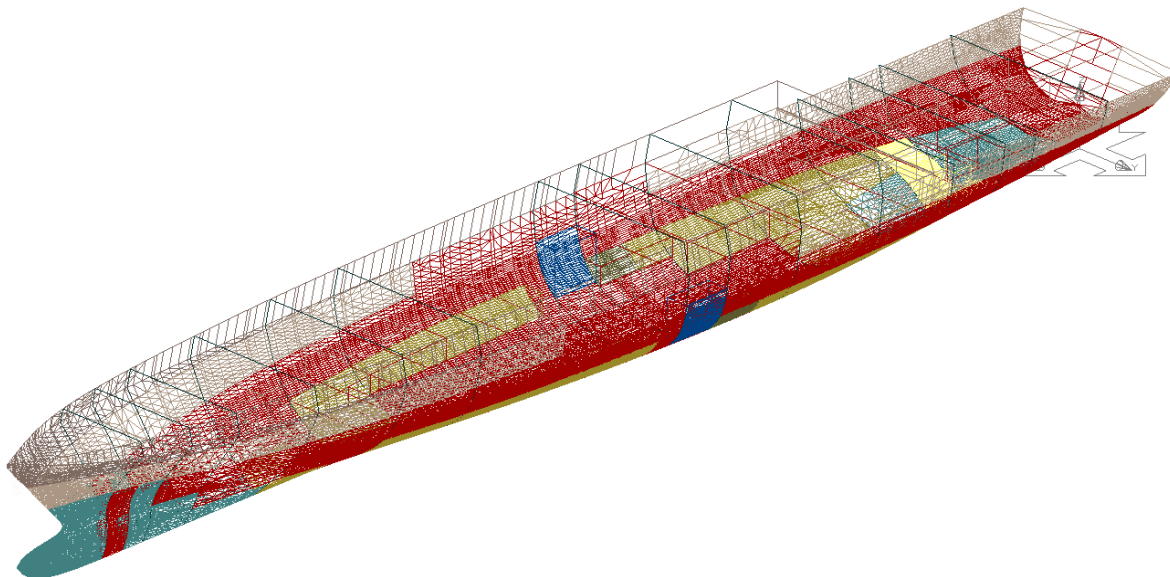
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑVEVA

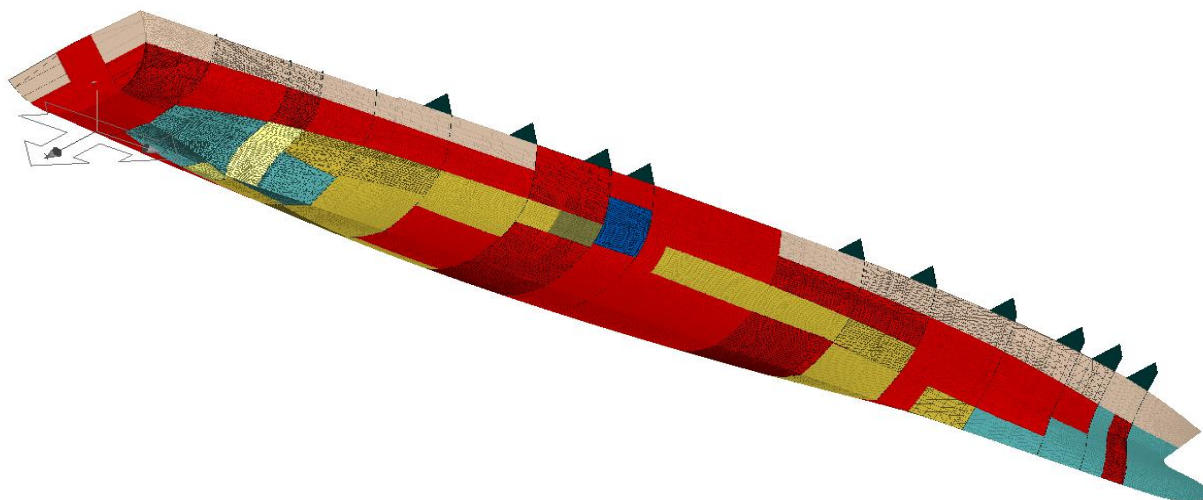
Μετά την εξομάλυνση της γάστρας στο AVEVA Lines ακολουθεί η δημιουργία της επιφάνειας, μέσω των κατασκευασθέντων νομέων, στο AVEVA Surface & Compartments. Κατόπιν φτιάξαμε τα διαμερίσματα στο εσωτερικό της γάστρας με οδηγό τη γενική διάταξη του πατρικού. Η διαμερισματοποίηση περιέλαβε όλες τις δεξαμενές με το φορτίο που είχαμε υπολογίσει στο κεφάλαιο. Έτσι προέκυψαν οι 4 καταστάσεις φόρτωσης, όπως περιγράφονται παρακάτω. Στη διαμερισματοποίηση περιλήφθηκαν εκτός απ τις δεξαμενές και όλα τα υδατοστεγή διαμερίσματα κάτωθεν του κύριου καταστρώματος, προκειμένου να ελέγξουμε όλες τις περιπτώσεις κατάκλυσης σε καταστάσεις βλάβης.



Εικόνα 9. Επιφάνεια γάστρας, όπως δημιουργήθηκε μέσα από το πρόγραμμα AVEVA Surface & Compartments



Εικόνα 10. Διαμερισματοποίηση της γάστρας



Εικόνα 11. Διαμερισματοποίηση της γάστρας, διακρίνονται οι δεξαμενές των διπυθμένων

3.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Μετά την πλήρη διαμερισματοποίηση της γάστρας σειρά έχει το πρόγραμμα AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics με το οποίο κάνουμε τους απαραίτητους υπολογισμούς για τις καταστάσεις φόρτωσης. Έτσι προκύπτουν όλα τα υδροστατικά χαρακτηριστικά του πλοίου για κάθε κατάσταση καθώς και ένα πλήρες εγχειρίδιο ευστάθειας με όλους τους υδροστατικούς πίνακες (stability booklet). Εδώ θα επαναληφθούν και οι υπολογισμοί ευστάθειας που είχαν γίνει με προσεγγιστικούς τύπους στο κεφάλαιο για την εξαγωγή του GM στην κατάσταση πλήρους φόρτου. Ας δούμε όμως πρώτα ποιες είναι αυτές οι καταστάσεις φόρτωσης. Σύμφωνα με το Αμερικανικό Ναυτικό οι καταστάσεις φόρτωσης στα πολεμικά πλοία, είναι οι εξής :

Κατάσταση φόρτωσης 1: Full Loads (FL)

Σε αυτή την περίπτωση το πλοίο είναι πλήρως λειτουργικό. Το πλοίο μεταφέρει πέρα από τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τα μεγαλύτερα αποθέματα σε καύσιμα, φρέσκο νερό και λιπαντικά, όπως και την μέγιστη ποσότητα πυρομαχικών.

Κατάσταση φόρτωσης 2: Minimum Operating Loads (MINOP)

Αυτή η κατάσταση φόρτωσης χαρακτηρίζεται από την πιο δυσμενή, αλλά με επαρκή ευστάθεια φόρτωσης, περιλαμβάνοντας:

Προμήθειες και αναλώσιμα υλικά (10%)
Φρέσκο νερό (42%)
Καύσιμα (10%)
Λιπαντικά (50%)
Πυρομαχικά(33%)

Κατάσταση φόρτωσης 3: Full Loads without margin (FL without margin)

Αυτή η κατάσταση φόρτωσης περιλαμβάνει ακριβώς τα ίδια εφόδια με τη Full Loads με τη μόνη διαφορά ότι στο βάρος του LS αφαιρείται το περιθώριο αύξησης του βάρους (10% weight margin)

Κατάσταση φόρτωσης 4: Minimum Operating Loads without margin (MINOP without margin)

Αυτή η κατάσταση φόρτωσης περιλαμβάνει ακριβώς τα ίδια εφόδια με τη Minimum Operating Loads με τη μόνη διαφορά ότι στο βάρος του LS αφαιρείται το περιθώριο αύξησης του βάρους (10% weight margin)

Ακολουθούν αναλυτικά τα στοιχεία για κάθε κατάσταση φόρτωσης για το υπό μελέτη πλοίο, όπως προκύπτουν από το AVEVA Surface & Compartment.

Full Loads (FL) Condition

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>FRESH WATER</i>								
F.W(P)	28-31	FW	100.0	1.000	18.6	44.00	-6.24	4.07
F.W(S)	28-31	FW	100.0	1.000	18.6	44.00	6.24	4.07
Total FRESH WATER					37.2	44.00	0.00	4.07
<i>FUEL OIL</i>								
F.O_1(P): ENGINEER STRM	10-13	FO	100.0	0.960	9.6	17.84	-3.99	2.62
F.O_1(S)	10-13	FO	100.0	0.960	9.6	17.84	3.99	2.62
F.O_2	13-16	FO	100.0	0.960	37.0	22.05	0.00	2.30
F.O_2(P)	13-18	FO	100.0	0.960	24.3	23.71	-4.26	2.43
F.O_2(S)	13-18	FO	100.0	0.960	24.3	23.71	4.26	2.43
F.O_3(P)	18-23	FO	100.0	0.960	32.5	31.15	-4.64	2.25
F.O_3(S)	18-23	FO	100.0	0.960	32.5	31.15	4.64	2.25
F.O_4(P)	39-44	FO	100.0	0.960	13.3	61.85	-4.67	2.53
F.O_4(S)	39-44	FO	100.0	0.960	13.3	61.85	4.67	2.53
F.O_5(P)	44-49	FO	100.0	0.960	11.6	69.56	-3.82	2.54
F.O_5(S)	44-49	FO	100.0	0.960	11.6	69.56	3.82	2.54
F.O_6	13-18	FO	100.0	0.960	44.8	23.78	0.00	0.97
F.O_7(P)	44-49	FO	100.0	0.960	17.1	69.28	-1.11	0.97
F.O_7(S)	44-49	FO	100.0	0.960	17.1	69.28	1.11	0.97
F.O_8	51-54	FO	100.0	0.960	13.6	78.34	0.00	1.00
F.O_SERV_1(P)	23-25	FO	100.0	0.960	4.6	36.51	-5.59	2.49
F.O_SERV_1(S)	23-25	FO	100.0	0.960	4.6	36.51	5.59	2.49
F.O_SERV_2(P)	32-39	FO	100.0	0.960	18.0	53.07	-5.22	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	FO	100.0	0.960	18.2	53.06	5.21	2.48
Total FUEL OIL					357.6	40.14	0.00	2.04
<i>HELIC. TURBINE OIL</i>								
JP-5_CONT.SETT.	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.8	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV.	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.8	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(P)	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.6	13.64	-2.61	2.62
JP-5_STOR.(S)	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.6	13.64	2.61	2.62
Total HELIC. TURBINE OIL					26.8	13.60	0.00	2.28
<i>SPARE PARTS</i>								
SPARE					25.0	56.40	0.00	6.32
Total SPARE PARTS					25.0	56.40	0.00	6.32
<i>PAYLOAD FULL</i>								
PAYLOAD					31.4	39.40	0.00	14.98
Total PAYLOAD FULL					31.4	39.40	0.00	14.98

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>CREW</i>								
CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Total CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Lightweight					2332.8	46.64	0.00	6.74
Deadweight					494.0	39.14	0.00	3.46
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2826.8	45.32	0.00	2.57
Total Buoyancy					2826.8	45.32	0.00	2.57

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	4.10	metres
Draft aft at marks	4.121	metres
Draft fwd at marks	4.082	metres
Draft at AP	4.121	metres
Draft at FP	4.082	metres
Mean draft at midships	4.10	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0260	tonnes/cu.m
Heel to starboard	0.01	degrees
Trim by the stern	0.038	metres
KG	6.169	metres
FSC	0.000	metres
KGf	6.169	metres
GMt	1.963	metres
BMt	5.559	metres
BMI	237.109	metres
Waterplane area	1112.49	sq.metres
LCG	45.326	metres
LCB	45.325	metres
TCB	0.001	metres
LCF	42.409	metres
TCF	0.001	metres
TPC	11.414	tonnes/cm
MTC	67.025	tonnes- m/cm

Minimum Operating Loads (MINOP) Condition

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>WATER BALLAST</i>								
W.B_1	3-8	WB	100.0	1.025	28.0	9.45	0.00	2.58
W.B_1(P)	3-8	WB	100.0	1.025	1.3	10.32	-3.56	2.97
W.B_1(S)	3-8	WB	100.0	1.025	1.3	10.32	3.56	2.97
W.B_2	10-13	WB	100.0	1.025	65.5	17.61	0.00	1.95
W.B_3	54-59	WB	100.0	1.025	12.7	84.17	0.00	0.99
W.B_4	59-61	WB	100.0	1.025	17.2	89.86	0.00	2.00
W.B_5	61-63	WB	100.0	1.025	18.0	92.95	0.00	3.60
Total WATER BALLAST					144.0	39.81	0.00	2.22
<i>FRESH WATER</i>								
F.W(P)	28-31	FW	42.0	1.000	7.8	43.99	-6.06	3.14
F.W(S)	28-31	FW	42.0	1.000	7.8	43.99	6.06	3.14
Total FRESH WATER					15.6	43.99	0.00	3.14
<i>FUEL OIL</i>								
F.O_2	13-16	FO	100.0	0.960	37.0	22.05	0.00	2.30
Total FUEL OIL					37.0	22.05	0.00	2.30
<i>LUB OIL</i>								
L.O(P)	25-28	LO	50.0	0.920	3.0	40.00	-5.46	2.14
L.O(S)	25-28	LO	50.0	0.920	3.0	40.00	5.46	2.14
Total LUB OIL					6.0	40.00	0.00	2.14
<i>HELIC. TURBINE OIL</i>								
JP-5_CONT.SETT	8-10	JP-5	40.0	0.810	2.7	13.74	0.00	0.90
Total HELIC. TURBINE OIL					2.7	13.74	0.00	0.90
<i>SPARE PARTS</i>								
SPARE					25.0	56.40	0.00	6.32
Total SPARE PARTS					25.0	56.40	0.00	6.32
<i>PAYLOAD MINOP</i>								
PAYLOAD MINOP					10.4	0.00	0.00	14.90
Total PAYLOAD MINOP					10.4	0.00	0.00	14.90
<i>CREW</i>								
CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Total CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Lightweight					2332.8	46.64	0.00	6.74
Deadweight					256.5	36.06	0.00	3.59
Total Displacement					2589.3	45.59	0.00	6.43
Buoyancy					2589.3	45.59	0.00	2.44

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Buoyancy					2589.3	45.59	0.00	2.44

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	3.894	metres
Draft aft at marks	3.911	metres
Draft fwd at marks	3.871	metres
Draft at AP	3.911	metres
Draft at FP	3.871	metres
Mean draft at midships	3.891	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0260	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.040	metres
KG	6.430	metres
FSC	0.002	metres
KGf	6.432	metres
GMt	1.739	metres
BMt	5.729	metres
BMI	248.106	metres
Waterplane area	1085.93	sq.metres
LCG	45.588	metres
LCB	45.586	metres
TCB	0.000	metres
LCF	42.471	metres
TCF	0.000	metres
TPC	11.142	tonnes/cm
MTC	64.243	tonnes- m/cm
Shell thickness	0.000	mm

Full Loads without margin (FL without margin) Condition

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>FRESH WATER</i>								
F.W(P)	28-31	FW	100.0	1.000	18.6	44.00	-6.24	4.07
F.W(S)	28-31	FW	100.0	1.000	18.6	44.00	6.24	4.07
Total FRESH WATER					37.2	44.00	0.00	4.07
<i>FUEL OIL</i>								
F.O_1(P)	10-13	FO	100.0	0.960	9.6	17.84	-3.99	2.62
F.O_1(S)	10-13	FO	100.0	0.960	9.6	17.84	3.99	2.62
F.O_2	13-16	FO	100.0	0.960	37.0	22.05	0.00	2.30
F.O_2(P)	13-18	FO	100.0	0.960	24.3	23.71	-4.26	2.43
F.O_2(S)	13-18	FO	100.0	0.960	24.3	23.71	4.26	2.43
F.O_3(P)	18-23	FO	100.0	0.960	32.5	31.15	-4.64	2.25
F.O_3(S)	18-23	FO	100.0	0.960	32.5	31.15	4.64	2.25
F.O_4(P)	39-44	FO	100.0	0.960	13.3	61.85	-4.67	2.53
F.O_4(S)	39-44	FO	100.0	0.960	13.3	61.85	4.67	2.53
F.O_5(P)	44-49	FO	100.0	0.960	11.6	69.56	-3.82	2.54
F.O_5(S)	44-49	FO	100.0	0.960	11.6	69.56	3.82	2.54
F.O_6	13-18	FO	100.0	0.960	44.8	23.78	0.00	0.97
F.O_7(P)	44-49	FO	100.0	0.960	17.1	69.28	-1.11	0.97
F.O_7(S)	44-49	FO	100.0	0.960	17.1	69.28	1.11	0.97
F.O_8	51-54	FO	100.0	0.960	13.6	78.34	0.00	1.00
F.O_SERV_1(P)	23-25	FO	100.0	0.960	4.6	36.51	-5.59	2.49
F.O_SERV_1(S)	23-25	FO	100.0	0.960	4.6	36.51	5.59	2.49
F.O_SERV_2(P)	32-39	FO	100.0	0.960	18.0	53.07	-5.22	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	FO	100.0	0.960	18.2	53.06	5.21	2.48
Total FUEL OIL					357.6	40.14	0.00	2.04
<i>HELIC. TURBINE OIL</i>								
JP-5_CONT.SETT	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.8	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV.	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.8	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(P)	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.6	13.64	-2.61	2.62
JP-5_STOR.(S)	8-10	JP-5	100.0	0.810	6.6	13.64	2.61	2.62
Total HELIC. TURBINE OIL					26.8	13.60	0.00	2.28
<i>SPARE PARTS</i>								
SPARE					25.0	56.40	0.00	6.32
Total SPARE PARTS					25.0	56.40	0.00	6.32
<i>PAYLOAD FULL</i>								
PAYLOAD					31.4	39.40	0.00	14.98
Total PAYLOAD FULL					31.4	39.40	0.00	14.98

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>CREW</i>								
CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Total CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Lightweight					2120.7	46.64	0.00	6.13
Deadweight					494.0	39.14	0.00	3.46
Total Displacement					2614.7	45.22	0.00	5.63
Buoyancy					2614.7	45.21	0.00	2.46
Total Buoyancy					2614.7	45.21	0.00	2.46

Intact State

Drafts at equilibrium angle

Draft at LCF	3.917	metres
Draft aft at marks	3.992	metres
Draft fwd at marks	3.814	metres
Draft at AP	3.992	metres
Draft at FP	3.814	metres
Mean draft at midships	3.903	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0260	tonnes/cu.m
Heel to starboard	0.01	degrees
Trim by the stern	0.178	metres
KG	5.625	metres
FSC	0.000	metres
KGf	5.625	metres
GMt	2.562	metres
BMt	5.730	metres
BMI	247.030	metres
Waterplane area	1089.53	sq.metres
LCG	45.220	metres
LCB	45.214	metres
TCB	0.001	metres
LCF	42.290	metres
TCF	0.001	metres
TPC	11.179	tonnes/cm
MTC	64.591	tonnes-m/cm

Minimum Operating Loads without margin (MINOP without margin) Condition

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
<i>WATER BALLAST</i>								
W.B_1	3-8	WB	100.0	1.025	28.0	9.45	0.00	2.58
W.B_1(P)	3-8	WB	100.0	1.025	1.3	10.32	-3.56	2.97
W.B_1(S)	3-8	WB	100.0	1.025	1.3	10.32	3.56	2.97
W.B_2	10-13	WB	100.0	1.025	65.5	17.61	0.00	1.95
W.B_3	54-59	WB	100.0	1.025	12.7	84.17	0.00	0.99
W.B_4	59-61	WB	100.0	1.025	17.2	89.86	0.00	2.00
W.B_5	61-63	WB	100.0	1.025	18.0	92.95	0.00	3.60
Total WATER BALLAST					144.0	39.81	0.00	2.22
<i>FRESH WATER</i>								
F.W(P)	28-31	FW	42.0	1.000	7.8	43.99	-6.06	3.14
F.W(S)	28-31	FW	42.0	1.000	7.8	43.99	6.06	3.14
Total FRESH WATER					15.6	43.99	0.00	3.14
<i>FUEL OIL</i>								
F.O_2	13-16	FO	100.0	0.960	37.0	22.05	0.00	2.30
Total FUEL OIL					37.0	22.05	0.00	2.30
<i>LUB OIL</i>								
L.O(P): JP5 PUMP RM	25-28	LO	50.0	0.920	3.0	40.00	-5.46	2.14
L.O(S)	25-28	LO	50.0	0.920	3.0	40.00	5.46	2.14
Total LUB OIL					6.0	40.00	0.00	2.14
<i>HELIC. TURBINE OIL</i>								
JP-5_CONT.SETT: HEL.O STRM 2	8-10	JP-5	40.0	0.810	2.7	13.74	0.00	0.90
Total HELIC. TURBINE OIL					2.7	13.74	0.00	0.90
<i>SPARE PARTS</i>								
SPARE					25.0	56.40	0.00	6.32
Total SPARE PARTS					25.0	56.40	0.00	6.32
<i>PAYLOAD MINOP</i>								
PAYLOAD MINOP					10.4	0.00	0.00	14.90
Total PAYLOAD MINOP					10.4	0.00	0.00	14.90
<i>CREW</i>								
CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Total CREW					16.0	20.94	0.00	8.80
Lightweight					2120.7	46.64	0.00	6.13
Deadweight					256.5	36.06	0.00	3.59
Total Displacement					2377.3	45.49	0.00	5.86
Buoyancy					2377.3	45.49	0.00	2.32

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Buoyancy					2377.3	45.49	0.00	2.32

Intact State

Drafts at equilibrium angle

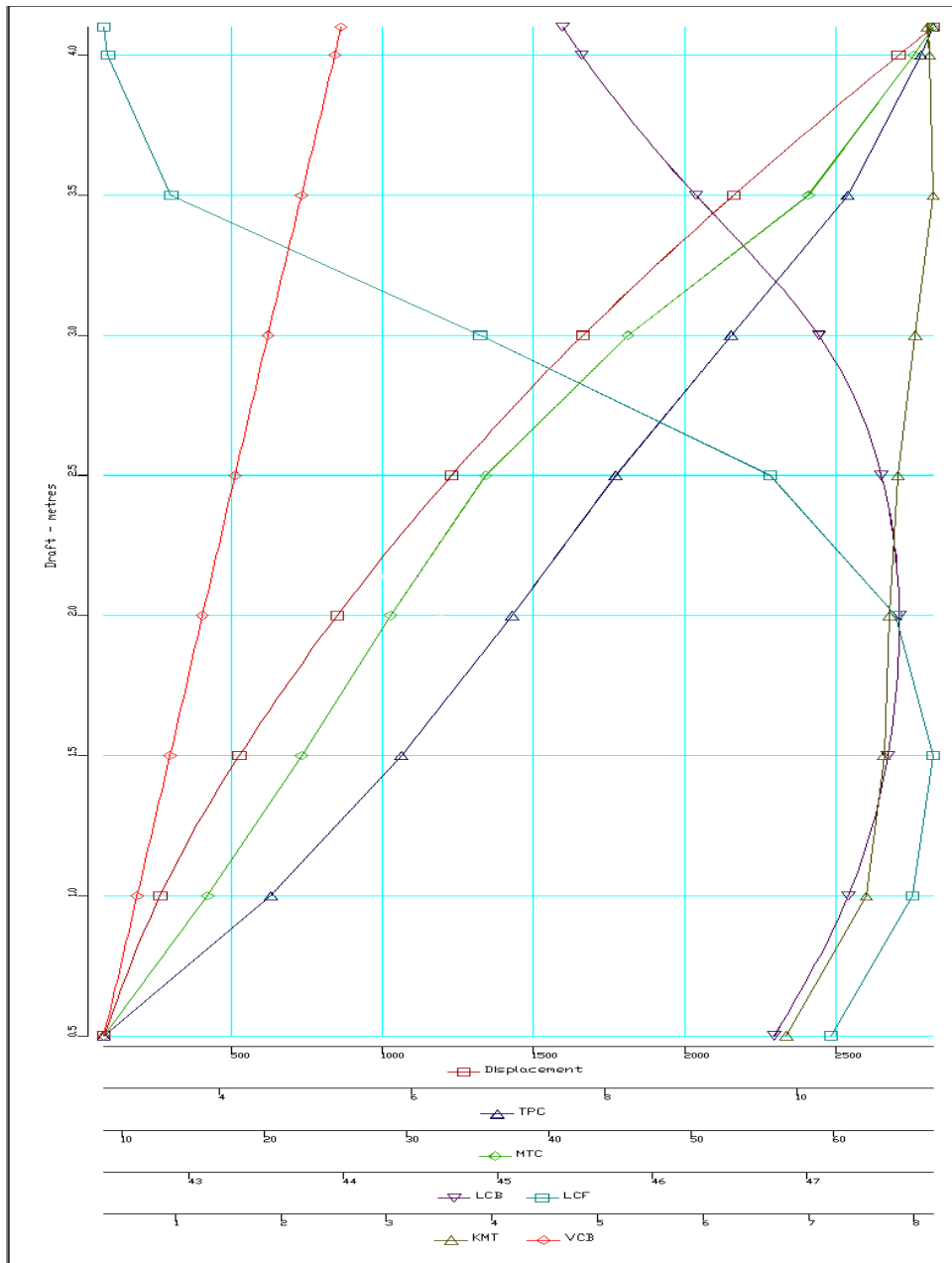
Draft at LCF	3.702	metres
Draft aft at marks	3.779	metres
Draft fwd at marks	3.596	metres
Draft at AP	3.779	metres
Draft at FP	3.596	metres
Mean draft at midships	3.688	metres

Hydrostatics at equilibrium angle

Density of water	1.0260	tonnes/cu.m
Heel	No heel	
Trim by the stern	0.183	metres
KG	5.855	metres
FSC	0.002	metres
KGf	5.858	metres
GMt	2.360	metres
BMt	5.896	metres
BMI	259.297	metres
Waterplane area	1059.89	sq.metres
LCG	45.495	metres
LCB	45.488	metres
TCB	0.000	metres
LCF	42.396	metres
TCF	0.000	metres
TPC	10.875	tonnes/cm
MTC	61.642	tonnes-m/cm

3.2 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζεται το υδροστατικό διάγραμμα, καθώς και οι υδροστατικοί πίνακες που προέκυψαν από το AVEVA.



Σχήμα 8. Υδροστατικό διάγραμμα

Hydrostatics

Draft (m)	Displ (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	50.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
0.10	3.97	46.057	0.066	74.28	46.219	4939.760	3.336	78.39	0.76	1.96
0.20	14.76	46.304	0.131	134.32	46.534	2561.566	4.926	143.00	1.38	3.78
0.30	31.25	46.494	0.195	185.85	46.774	1758.126	5.838	199.42	1.91	5.49
0.40	52.71	46.652	0.259	231.67	46.976	1353.572	6.411	250.39	2.38	7.13
0.50	78.64	46.790	0.322	273.36	47.154	1110.251	6.792	297.47	2.80	8.73
0.60	108.68	46.909	0.386	311.57	47.289	943.631	7.052	341.34	3.20	10.25
0.70	142.50	47.015	0.449	347.27	47.417	824.813	7.240	382.91	3.56	11.75
0.80	179.85	47.111	0.511	380.70	47.519	734.419	7.376	422.47	3.91	13.20
0.90	220.55	47.194	0.574	412.25	47.604	663.210	7.475	460.35	4.23	14.61
1.00	264.39	47.269	0.636	442.29	47.681	606.305	7.548	496.92	4.54	16.01
1.10	311.26	47.334	0.699	470.80	47.731	558.659	7.602	532.21	4.83	17.37
1.20	360.98	47.392	0.761	498.12	47.772	518.946	7.643	566.52	5.11	18.71
1.30	413.43	47.442	0.823	524.36	47.800	485.168	7.674	599.96	5.38	20.02
1.40	468.54	47.485	0.885	549.63	47.813	455.944	7.698	632.66	5.64	21.32
1.50	526.19	47.521	0.947	574.07	47.814	430.597	7.715	664.72	5.89	22.61
1.60	586.32	47.551	1.009	597.65	47.797	408.072	7.730	696.17	6.13	23.87
1.70	648.82	47.573	1.071	620.56	47.765	388.197	7.741	727.16	6.37	25.12
1.80	713.63	47.588	1.132	642.91	47.719	370.601	7.752	757.80	6.60	26.37
1.90	780.72	47.597	1.194	664.73	47.655	354.827	7.761	788.14	6.82	27.61
2.00	850.01	47.598	1.256	686.10	47.570	340.674	7.770	818.27	7.04	28.85
2.05	885.48	47.596	1.287	696.76	47.524	334.246	7.778	833.36	7.15	29.48
2.10	921.49	47.592	1.317	707.16	47.464	328.004	7.782	848.32	7.26	30.10
2.15	958.04	47.586	1.348	717.61	47.400	322.154	7.789	863.34	7.36	30.73
2.20	995.12	47.578	1.379	728.00	47.331	316.674	7.795	878.35	7.47	31.38
2.25	1032.73	47.568	1.410	738.39	47.255	311.532	7.803	893.42	7.58	32.03
2.30	1070.87	47.555	1.441	748.82	47.172	306.755	7.811	908.55	7.68	32.70
2.35	1109.56	47.540	1.471	759.18	47.080	302.237	7.819	923.68	7.79	33.37
2.40	1148.77	47.523	1.502	769.66	46.982	298.074	7.830	938.96	7.90	34.07
2.45	1188.52	47.503	1.533	780.11	46.876	294.226	7.838	954.27	8.00	34.79
2.50	1228.81	47.481	1.564	790.68	46.762	290.699	7.849	969.73	8.11	35.53
2.55	1269.64	47.455	1.595	801.37	46.638	287.511	7.861	985.35	8.22	36.30
2.60	1311.03	47.428	1.626	812.07	46.501	284.584	7.872	1001.06	8.33	37.10
2.65	1352.97	47.397	1.657	823.01	46.353	282.011	7.885	1017.02	8.44	37.93
2.70	1395.48	47.362	1.688	834.09	46.193	279.807	7.898	1033.18	8.56	38.81
2.75	1438.56	47.325	1.719	845.44	46.019	278.002	7.913	1049.63	8.67	39.74

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
2.80	1482.14	47.284	1.750	857.17	45.830	276.672	7.931	1066.47	8.79	40.75
2.85	1526.51	47.238	1.781	869.16	45.621	275.740	7.947	1083.63	8.92	41.82
2.90	1571.41	47.189	1.812	881.59	45.394	275.291	7.967	1101.24	9.05	42.97
2.95	1616.97	47.135	1.844	894.46	45.149	275.317	7.990	1119.28	9.18	44.22
3.00	1663.21	47.076	1.875	907.60	44.888	275.713	8.012	1137.63	9.31	45.54
3.05	1710.09	47.013	1.907	921.03	44.620	276.424	8.035	1156.25	9.45	46.94
3.10	1757.70	46.944	1.938	935.16	44.320	277.936	8.059	1175.58	9.59	48.51
3.15	1806.04	46.869	1.970	949.66	44.003	279.864	8.081	1195.28	9.74	50.19
3.20	1855.15	46.789	2.002	964.47	43.679	282.100	8.104	1215.30	9.90	51.96
3.25	1904.93	46.705	2.034	976.44	43.474	281.597	8.123	1232.62	10.02	53.25
3.30	1955.31	46.619	2.066	987.44	43.315	280.239	8.140	1248.99	10.13	54.39
3.35	2006.24	46.534	2.098	997.72	43.183	278.425	8.153	1264.69	10.24	55.44
3.40	2057.68	46.448	2.130	1007.47	43.071	276.303	8.164	1279.90	10.34	56.42
3.45	2109.60	46.364	2.162	1016.82	42.974	273.993	8.173	1294.76	10.43	57.35
3.50	2162.00	46.281	2.194	1025.72	42.889	271.537	8.179	1309.26	10.52	58.23
3.55	2214.84	46.199	2.225	1034.33	42.815	268.991	8.184	1323.51	10.61	59.08
3.60	2268.11	46.119	2.257	1042.55	42.753	266.341	8.186	1337.47	10.70	59.90
3.65	2321.80	46.040	2.289	1050.47	42.698	263.636	8.186	1351.20	10.78	60.68
3.70	2375.93	45.964	2.320	1058.18	42.651	260.918	8.185	1364.75	10.86	61.44
3.75	2430.35	45.889	2.352	1065.56	42.610	258.205	8.181	1378.08	10.93	62.18
3.80	2485.21	45.816	2.383	1072.77	42.575	255.503	8.177	1391.29	11.01	62.91
3.85	2540.42	45.745	2.415	1079.78	42.545	252.831	8.172	1404.35	11.08	63.62
3.90	2596.00	45.677	2.446	1086.52	42.518	250.167	8.165	1417.26	11.15	64.31
3.95	2651.90	45.610	2.477	1093.14	42.497	247.542	8.157	1430.07	11.22	64.99
4.00	2708.15	45.545	2.508	1099.53	42.479	244.954	8.148	1442.77	11.28	65.66
4.05	2764.71	45.482	2.539	1105.74	42.465	242.411	8.138	1455.35	11.34	66.32
4.10	2821.59	45.421	2.570	1111.90	42.454	239.938	8.129	1467.90	11.41	66.98
4.15	2878.78	45.362	2.601	1117.72	42.446	237.456	8.116	1480.28	11.47	67.61
4.20	2936.27	45.305	2.632	1123.50	42.441	235.054	8.105	1492.63	11.53	68.25
4.25	2994.05	45.250	2.663	1129.11	42.439	232.696	8.092	1504.90	11.58	68.87
4.30	3052.11	45.196	2.693	1134.60	42.439	230.392	8.079	1517.13	11.64	69.50
4.35	3110.53	45.145	2.724	1140.03	42.441	228.145	8.066	1529.32	11.70	70.12
4.40	3169.07	45.094	2.754	1145.24	42.445	225.939	8.052	1541.43	11.75	70.73
4.45	3227.96	45.046	2.785	1150.42	42.450	223.793	8.040	1553.52	11.80	71.34
4.50	3287.11	45.000	2.815	1155.47	42.457	221.687	8.026	1565.57	11.86	71.95
4.55	3346.51	44.955	2.846	1160.43	42.466	219.637	8.013	1577.59	11.91	72.55
4.60	3406.18	44.911	2.876	1165.35	42.477	217.636	8.000	1589.59	11.96	73.15
4.65	3466.07	44.869	2.906	1170.10	42.489	215.671	7.987	1601.54	12.01	73.75

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
4.70	3526.22	44.829	2.936	1174.82	42.501	213.759	7.974	1613.49	12.05	74.34
4.75	3586.61	44.789	2.966	1179.46	42.515	211.886	7.962	1625.41	12.10	74.93
4.80	3647.23	44.752	2.996	1184.02	42.530	210.058	7.949	1637.32	12.15	75.52
4.85	3708.10	44.715	3.026	1188.56	42.546	208.279	7.938	1649.22	12.19	76.11
4.90	3769.17	44.680	3.056	1192.96	42.563	206.528	7.926	1661.09	12.24	76.69
4.95	3830.48	44.647	3.086	1197.32	42.581	204.821	7.915	1672.96	12.28	77.27
5.00	3892.02	44.614	3.116	1201.65	42.600	203.158	7.905	1684.82	12.33	77.86
5.05	3953.77	44.583	3.146	1205.91	42.619	201.521	7.894	1696.67	12.37	78.43
5.10	4015.74	44.553	3.176	1210.16	42.639	199.926	7.885	1708.52	12.42	79.01
5.15	4077.93	44.524	3.206	1214.33	42.660	198.363	7.876	1720.36	12.46	79.58
5.20	4140.33	44.496	3.235	1218.41	42.682	196.828	7.867	1732.19	12.50	80.15
5.25	4202.93	44.469	3.265	1222.48	42.703	195.330	7.859	1744.02	12.54	80.72
5.30	4265.76	44.443	3.294	1226.50	42.726	193.856	7.851	1755.84	12.58	81.29
5.35	4328.78	44.418	3.324	1230.51	42.749	192.418	7.844	1767.67	12.63	81.85
5.40	4392.01	44.394	3.354	1234.46	42.772	191.006	7.837	1779.49	12.67	82.42
5.45	4455.43	44.371	3.383	1238.33	42.796	189.619	7.831	1791.30	12.71	82.98
5.50	4519.06	44.349	3.412	1242.19	42.821	188.266	7.825	1803.12	12.74	83.54
5.55	4582.88	44.328	3.442	1246.02	42.846	186.939	7.819	1814.94	12.78	84.09
5.60	4646.90	44.308	3.471	1249.85	42.872	185.643	7.815	1826.76	12.82	84.65
5.65	4711.12	44.289	3.501	1253.63	42.898	184.371	7.811	1838.58	12.86	85.21
5.70	4775.52	44.270	3.530	1257.34	42.924	183.118	7.806	1850.40	12.90	85.76
5.75	4840.12	44.252	3.559	1261.04	42.951	181.895	7.803	1862.22	12.94	86.32
5.80	4904.90	44.235	3.589	1264.72	42.978	180.695	7.800	1874.05	12.98	86.87
5.85	4969.88	44.219	3.618	1268.39	43.005	179.522	7.797	1885.88	13.01	87.42
5.90	5035.03	44.203	3.647	1272.04	43.033	178.371	7.795	1897.72	13.05	87.97
5.95	5100.39	44.189	3.676	1275.63	43.062	177.242	7.794	1909.56	13.09	88.53
6.00	5165.92	44.175	3.705	1279.22	43.090	176.137	7.793	1921.41	13.12	89.08
6.10	5297.53	44.148	3.764	1286.35	43.149	173.988	7.792	1945.11	13.20	90.18
6.20	5429.88	44.125	3.822	1293.40	43.209	171.924	7.793	1968.85	13.27	91.28
6.30	5562.94	44.104	3.880	1300.40	43.271	169.943	7.795	1992.61	13.34	92.38
6.40	5696.72	44.085	3.938	1307.34	43.333	168.031	7.800	2016.40	13.41	93.48
6.50	5831.20	44.068	3.996	1314.26	43.398	166.195	7.806	2040.23	13.48	94.58
6.60	5966.40	44.054	4.054	1321.14	43.463	164.426	7.814	2064.08	13.55	95.68
6.70	6102.30	44.041	4.111	1327.92	43.529	162.718	7.823	2087.97	13.62	96.79
6.80	6238.89	44.031	4.169	1334.70	43.597	161.078	7.834	2111.89	13.69	97.89
6.90	6376.18	44.022	4.227	1341.44	43.666	159.491	7.846	2135.85	13.76	99.00
7.00	6514.15	44.015	4.285	1348.16	43.735	157.964	7.859	2159.85	13.83	100.11
7.10	6652.83	44.010	4.342	1354.78	43.805	156.478	7.873	2183.87	13.90	101.21

Draft (m)	Displt (t)	LCB (m)	VCB (m)	WPA (m ²)	LCF (m)	KML (m)	KMT (m)	WSA (m ²)	TPC (t/cm)	MTC (t-m/cm)
7.20	6792.15	44.007	4.400	1361.38	43.876	155.050	7.889	2207.93	13.97	102.32
7.30	6932.17	44.005	4.457	1367.98	43.949	153.673	7.906	2232.04	14.04	103.44
7.40	7072.86	44.005	4.515	1374.56	44.023	152.340	7.924	2256.19	14.10	104.55
7.50	7214.23	44.006	4.573	1381.12	44.097	151.051	7.944	2280.37	14.17	105.67
7.60	7356.27	44.008	4.630	1387.65	44.172	149.805	7.964	2304.61	14.24	106.79
7.70	7498.98	44.012	4.687	1394.18	44.248	148.603	7.986	2328.88	14.30	107.92
7.80	7642.35	44.017	4.745	1400.69	44.324	147.435	8.008	2353.20	14.37	109.05
7.90	7786.36	44.023	4.802	1407.21	44.401	146.309	8.032	2749.21	14.44	110.18
8.00	7892.76	44.196	4.845	1037.61	56.937	64.419	7.079	2768.65	10.65	47.02

Hydrostatics

Draft (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	4939.694	3.270	0.027	0.054	0.501	0.052
0.20	2561.436	4.796	0.051	0.102	0.497	0.095
0.30	1757.931	5.643	0.071	0.143	0.499	0.131
0.40	1353.313	6.152	0.090	0.180	0.502	0.163
0.50	1109.928	6.469	0.108	0.213	0.506	0.193
0.60	943.245	6.667	0.124	0.244	0.510	0.219
0.70	824.364	6.791	0.140	0.272	0.514	0.245
0.80	733.907	6.864	0.154	0.298	0.518	0.268
0.90	662.636	6.901	0.168	0.322	0.523	0.290
1.00	605.668	6.912	0.181	0.345	0.527	0.311
1.10	557.960	6.904	0.194	0.366	0.531	0.332
1.20	518.185	6.882	0.206	0.386	0.535	0.351
1.30	484.345	6.851	0.218	0.405	0.538	0.369
1.40	455.059	6.813	0.230	0.424	0.542	0.387
1.50	429.650	6.768	0.241	0.441	0.546	0.404
1.60	407.063	6.721	0.252	0.457	0.550	0.421
1.70	387.127	6.670	0.262	0.473	0.554	0.437
1.80	369.468	6.619	0.272	0.488	0.557	0.453
1.90	353.633	6.567	0.282	0.503	0.561	0.468
2.00	339.418	6.515	0.292	0.517	0.565	0.483
2.05	332.959	6.492	0.296	0.524	0.566	0.491
2.10	326.686	6.465	0.301	0.530	0.568	0.498
2.15	320.806	6.441	0.306	0.537	0.570	0.505
2.20	315.295	6.416	0.310	0.543	0.572	0.513

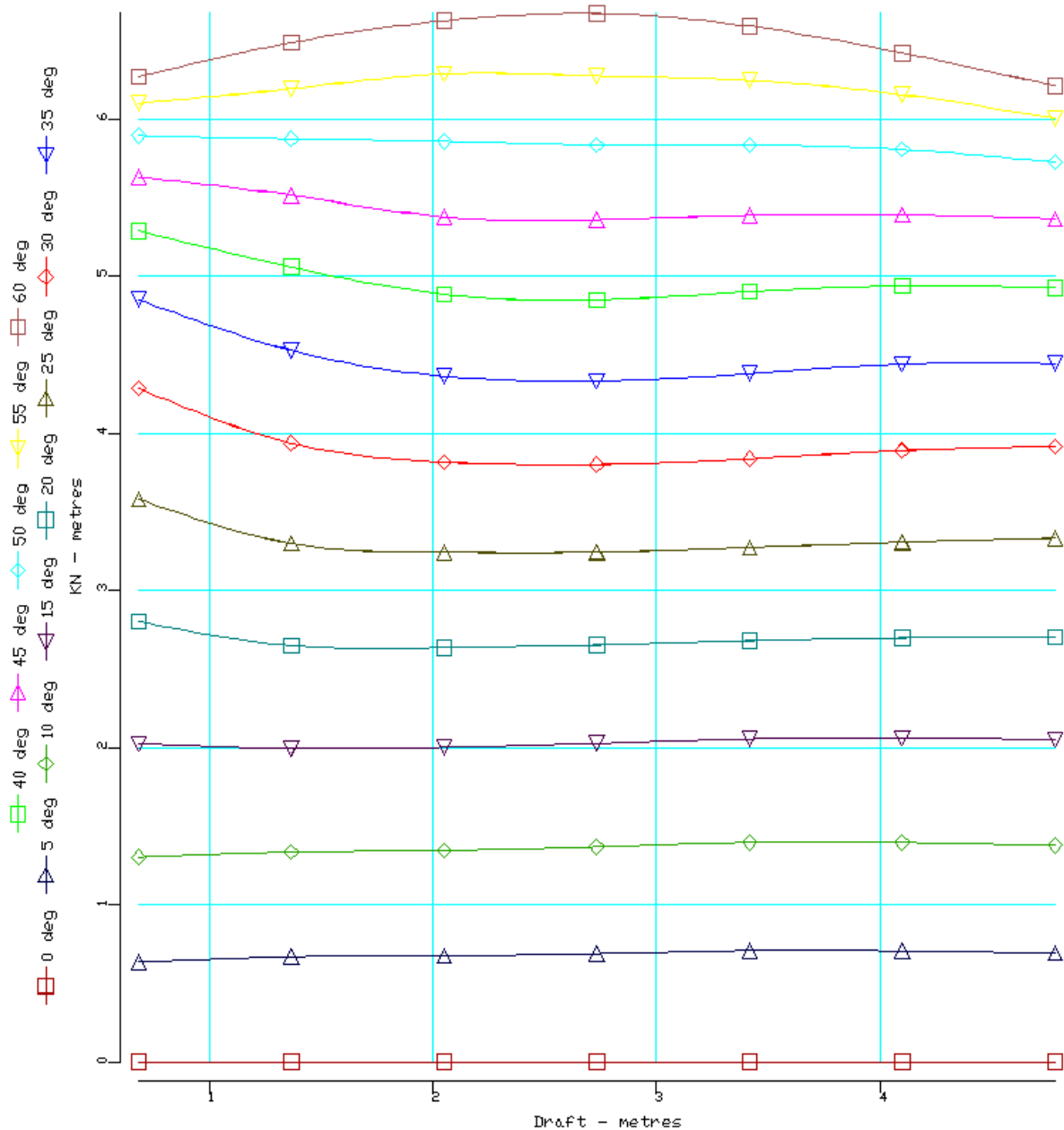
Draft (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW
2.25	310.122	6.393	0.315	0.549	0.574	0.520
2.30	305.314	6.371	0.320	0.555	0.576	0.527
2.35	300.765	6.348	0.324	0.561	0.577	0.535
2.40	296.572	6.327	0.329	0.567	0.579	0.542
2.45	292.693	6.305	0.333	0.573	0.581	0.549
2.50	289.135	6.285	0.337	0.579	0.583	0.557
2.55	285.917	6.266	0.342	0.584	0.585	0.564
2.60	282.958	6.246	0.346	0.590	0.587	0.572
2.65	280.354	6.229	0.350	0.595	0.589	0.580
2.70	278.119	6.211	0.355	0.600	0.591	0.587
2.75	276.283	6.194	0.359	0.606	0.593	0.595
2.80	274.922	6.181	0.363	0.611	0.595	0.604
2.85	273.959	6.166	0.368	0.616	0.597	0.612
2.90	273.478	6.155	0.372	0.621	0.599	0.621
2.95	273.473	6.146	0.376	0.626	0.601	0.630
3.00	273.838	6.137	0.381	0.631	0.604	0.639
3.05	274.517	6.129	0.385	0.635	0.606	0.649
3.10	275.998	6.120	0.389	0.640	0.608	0.659
3.15	277.894	6.111	0.394	0.644	0.611	0.669
3.20	280.098	6.102	0.398	0.649	0.613	0.679
3.25	279.563	6.088	0.402	0.653	0.616	0.688
3.30	278.173	6.074	0.407	0.658	0.618	0.695
3.35	276.327	6.055	0.411	0.662	0.621	0.703
3.40	274.173	6.034	0.415	0.666	0.623	0.709
3.45	271.831	6.011	0.420	0.671	0.626	0.716
3.50	269.343	5.985	0.424	0.675	0.628	0.722
3.55	266.766	5.958	0.428	0.679	0.631	0.728
3.60	264.083	5.928	0.432	0.683	0.633	0.734
3.65	261.347	5.897	0.437	0.687	0.636	0.740
3.70	258.598	5.865	0.441	0.691	0.638	0.745
3.75	255.854	5.830	0.445	0.694	0.641	0.750
3.80	253.120	5.794	0.449	0.698	0.643	0.755
3.85	250.417	5.758	0.453	0.702	0.645	0.760
3.90	247.722	5.719	0.457	0.706	0.648	0.765
3.95	245.065	5.681	0.461	0.709	0.650	0.770
4.00	242.446	5.640	0.465	0.713	0.652	0.774
4.05	239.872	5.599	0.469	0.716	0.654	0.779
4.10	237.368	5.559	0.472	0.720	0.656	0.783

Draft (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW
4.15	234.855	5.515	0.476	0.723	0.658	0.787
4.20	232.422	5.473	0.480	0.726	0.661	0.791
4.25	230.033	5.429	0.484	0.730	0.663	0.795
4.30	227.699	5.386	0.487	0.733	0.665	0.799
4.35	225.421	5.343	0.491	0.736	0.667	0.803
4.40	223.185	5.298	0.494	0.739	0.669	0.807
4.45	221.008	5.255	0.498	0.742	0.671	0.810
4.50	218.871	5.211	0.501	0.745	0.673	0.814
4.55	216.791	5.167	0.505	0.748	0.675	0.817
4.60	214.760	5.124	0.508	0.751	0.676	0.821
4.65	212.765	5.081	0.512	0.754	0.678	0.824
4.70	210.823	5.038	0.515	0.757	0.680	0.827
4.75	208.919	4.995	0.518	0.760	0.682	0.831
4.80	207.062	4.953	0.522	0.763	0.684	0.834
4.85	205.252	4.912	0.525	0.765	0.686	0.837
4.90	203.471	4.870	0.528	0.768	0.687	0.840
4.95	201.735	4.829	0.531	0.771	0.689	0.843
5.00	200.042	4.788	0.534	0.773	0.691	0.846
5.05	198.375	4.748	0.537	0.776	0.693	0.849
5.10	196.750	4.709	0.540	0.778	0.694	0.852
5.15	195.157	4.671	0.543	0.781	0.696	0.855
5.20	193.593	4.632	0.547	0.783	0.698	0.858
5.25	192.065	4.594	0.549	0.786	0.699	0.861
5.30	190.561	4.557	0.552	0.788	0.701	0.864
5.35	189.094	4.520	0.555	0.790	0.703	0.867
5.40	187.653	4.484	0.558	0.793	0.704	0.869
5.45	186.236	4.448	0.561	0.795	0.706	0.872
5.50	184.853	4.412	0.564	0.797	0.707	0.875
5.55	183.497	4.377	0.567	0.799	0.709	0.877
5.60	182.171	4.343	0.570	0.802	0.711	0.880
5.65	180.870	4.310	0.572	0.804	0.712	0.883
5.70	179.588	4.276	0.575	0.806	0.714	0.885
5.75	178.335	4.243	0.578	0.808	0.715	0.888
5.80	177.106	4.211	0.580	0.810	0.717	0.891
5.85	175.904	4.180	0.583	0.812	0.718	0.893
5.90	174.724	4.148	0.586	0.814	0.720	0.896
5.95	173.565	4.118	0.588	0.816	0.721	0.898
6.00	172.432	4.087	0.591	0.818	0.723	0.901

Draft (m)	BML (m)	BMT (m)	CB	CM	CP	CW
6.10	170.224	4.028	0.596	0.822	0.726	0.906
6.20	168.103	3.971	0.601	0.825	0.728	0.911
6.30	166.063	3.915	0.606	0.829	0.731	0.916
6.40	164.093	3.862	0.611	0.832	0.734	0.921
6.50	162.200	3.810	0.616	0.836	0.737	0.926
6.60	160.372	3.760	0.620	0.839	0.739	0.930
6.70	158.607	3.711	0.625	0.842	0.742	0.935
6.80	156.909	3.664	0.630	0.846	0.745	0.940
6.90	155.264	3.619	0.634	0.849	0.747	0.945
7.00	153.679	3.575	0.639	0.852	0.750	0.949
7.10	152.136	3.531	0.643	0.855	0.753	0.954
7.20	150.650	3.489	0.647	0.858	0.755	0.959
7.30	149.215	3.449	0.652	0.860	0.758	0.963
7.40	147.825	3.409	0.656	0.863	0.760	0.968
7.50	146.479	3.371	0.660	0.866	0.763	0.973
7.60	145.175	3.334	0.664	0.868	0.765	0.977
7.70	143.916	3.298	0.668	0.871	0.767	0.982
7.80	142.690	3.263	0.673	0.874	0.770	0.986
7.90	141.507	3.230	0.677	0.876	0.772	0.991
8.00	59.574	2.234	0.677	0.879	0.771	0.731

3.3 CROSS CURVES

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι cross curves, καθώς και οι πίνακες που προέκυψαν από το AVEVA.



Σχήμα 9. Καμπύλες ευστάθειας Cross curves

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
0.50	0.00	0.000	78.64	0.000	6.792	0.000	7.400
0.47	5.00	0.033	78.79	0.607	7.304	0.026	6.779
0.39	10.00	0.133	78.65	1.281	8.591	0.108	6.159
0.25	15.00	0.302	78.66	2.068	10.215	0.253	5.544
0.05	20.00	0.582	78.73	2.930	11.137	0.471	4.940
-0.20	25.00	1.006	78.91	3.746	10.630	0.762	4.360
-0.53	30.00	1.365	78.64	4.406	7.141	1.119	3.820
-0.92	35.00	1.547	78.65	4.930	5.437	1.527	3.318
-1.36	40.00	1.651	78.64	5.346	4.225	1.976	2.844
-1.83	45.00	1.705	78.65	5.667	3.203	2.457	2.395
-2.33	50.00	1.729	78.64	5.909	2.375	2.962	1.970
-2.85	55.00	1.734	78.66	6.088	1.754	3.486	1.570
-3.40	60.00	1.725	78.66	6.223	1.375	4.023	1.197
1.00	0.00	0.000	264.39	0.000	7.548	0.000	6.900
0.97	5.00	0.028	264.51	0.660	7.608	0.029	6.280
0.88	10.00	0.111	264.39	1.325	7.772	0.115	5.664
0.74	15.00	0.246	264.40	2.002	8.041	0.260	5.052
0.55	20.00	0.429	264.40	2.695	8.386	0.465	4.449
0.30	25.00	0.664	264.43	3.405	8.650	0.731	3.858
0.01	30.00	0.989	264.48	4.087	8.380	1.058	3.286
-0.34	35.00	1.384	264.63	4.703	7.458	1.442	2.739
-0.75	40.00	1.681	264.39	5.190	5.110	1.875	2.233
-1.20	45.00	1.875	264.40	5.571	4.038	2.345	1.764
-1.69	50.00	2.023	264.39	5.880	3.272	2.844	1.329
-2.21	55.00	2.121	264.38	6.137	2.782	3.369	0.930
-2.77	60.00	2.163	264.39	6.370	2.651	3.914	0.573
1.50	0.00	0.000	526.19	0.000	7.715	0.000	6.400
1.47	5.00	0.023	526.29	0.672	7.691	0.029	5.780
1.38	10.00	0.094	526.20	1.338	7.636	0.117	5.164
1.24	15.00	0.211	526.19	1.996	7.591	0.263	4.554
1.04	20.00	0.374	526.20	2.643	7.565	0.465	3.953
0.79	25.00	0.585	526.21	3.280	7.542	0.724	3.365
0.50	30.00	0.846	526.23	3.900	7.451	1.037	2.791
0.16	35.00	1.168	526.26	4.483	7.103	1.403	2.234
-0.22	40.00	1.553	526.32	5.010	6.662	1.817	1.704
-0.64	45.00	1.934	526.62	5.488	5.474	2.275	1.208
-1.13	50.00	2.166	526.19	5.874	4.251	2.772	0.766
-1.66	55.00	2.302	526.20	6.216	3.788	3.299	0.374
-2.23	60.00	2.380	526.20	6.520	3.233	3.855	0.030

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
2.00	0.00	0.000	850.01	0.000	7.770	0.000	5.900
1.97	5.00	0.022	850.10	0.677	7.739	0.029	5.281
1.88	10.00	0.091	850.01	1.347	7.643	0.118	4.665
1.74	15.00	0.210	850.01	2.002	7.504	0.264	4.057
1.54	20.00	0.380	850.01	2.637	7.321	0.467	3.459
1.29	25.00	0.597	850.03	3.245	7.072	0.724	2.874
0.99	30.00	0.851	850.03	3.821	6.819	1.032	2.302
0.65	35.00	1.134	850.05	4.371	6.627	1.390	1.748
0.27	40.00	1.451	850.09	4.892	6.404	1.794	1.217
-0.15	45.00	1.807	850.14	5.383	6.262	2.242	0.720
-0.63	50.00	2.163	850.23	5.863	6.010	2.733	0.264
-1.15	55.00	2.413	850.44	6.283	4.353	3.263	-0.134
-1.72	60.00	2.550	850.30	6.618	3.543	3.825	-0.475
2.20	0.00	0.000	995.12	0.000	7.795	0.000	5.700
2.17	5.00	0.024	995.22	0.679	7.764	0.030	5.081
2.08	10.00	0.097	995.12	1.351	7.667	0.118	4.466
1.93	15.00	0.223	995.12	2.007	7.509	0.265	3.858
1.73	20.00	0.401	995.12	2.640	7.262	0.468	3.262
1.48	25.00	0.619	995.12	3.240	6.953	0.725	2.677
1.18	30.00	0.869	995.13	3.808	6.677	1.033	2.107
0.84	35.00	1.144	995.15	4.348	6.488	1.388	1.555
0.46	40.00	1.443	995.18	4.868	6.364	1.791	1.027
0.03	45.00	1.778	995.21	5.364	6.263	2.237	0.533
-0.44	50.00	2.126	995.23	5.848	6.096	2.726	0.080
-0.96	55.00	2.436	995.35	6.295	4.822	3.256	-0.326
-1.53	60.00	2.594	995.42	6.644	3.624	3.820	-0.670
2.40	0.00	0.000	1148.77	0.000	7.830	0.000	5.500
2.37	5.00	0.026	1148.86	0.682	7.798	0.030	4.881
2.28	10.00	0.106	1148.77	1.356	7.701	0.119	4.267
2.13	15.00	0.243	1148.79	2.014	7.514	0.266	3.661
1.93	20.00	0.427	1148.78	2.644	7.209	0.470	3.065
1.68	25.00	0.646	1148.78	3.239	6.870	0.727	2.481
1.38	30.00	0.893	1148.78	3.801	6.585	1.034	1.912
1.04	35.00	1.161	1148.80	4.336	6.399	1.389	1.363
0.65	40.00	1.448	1148.81	4.853	6.316	1.790	0.838
0.22	45.00	1.759	1148.85	5.356	6.238	2.235	0.348
-0.26	50.00	2.091	1148.84	5.839	6.003	2.724	-0.102
-0.77	55.00	2.415	1148.88	6.291	5.391	3.253	-0.511
-1.34	60.00	2.608	1148.96	6.661	3.691	3.818	-0.862

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
2.60	0.00	0.000	1311.03	0.000	7.872	0.000	5.300
2.57	5.00	0.030	1311.14	0.686	7.842	0.030	4.681
2.48	10.00	0.121	1311.04	1.363	7.741	0.119	4.068
2.33	15.00	0.268	1311.05	2.022	7.507	0.267	3.462
2.13	20.00	0.457	1311.04	2.650	7.169	0.471	2.867
1.88	25.00	0.676	1311.03	3.241	6.820	0.729	2.284
1.57	30.00	0.920	1311.04	3.800	6.527	1.036	1.717
1.23	35.00	1.179	1311.05	4.332	6.325	1.391	1.170
0.84	40.00	1.452	1311.07	4.848	6.249	1.792	0.650
0.40	45.00	1.739	1311.07	5.356	6.161	2.237	0.164
-0.08	50.00	2.051	1311.07	5.836	5.845	2.725	-0.284
-0.59	55.00	2.359	1311.10	6.281	5.331	3.254	-0.693
-1.15	60.00	2.581	1311.13	6.671	3.871	3.819	-1.053
2.80	0.00	0.000	1482.14	0.000	7.931	0.000	5.100
2.77	5.00	0.036	1482.24	0.691	7.903	0.030	4.482
2.68	10.00	0.140	1482.13	1.372	7.767	0.120	3.869
2.53	15.00	0.296	1482.14	2.030	7.495	0.269	3.264
2.33	20.00	0.487	1482.14	2.656	7.141	0.474	2.669
2.07	25.00	0.704	1482.15	3.246	6.784	0.731	2.086
1.77	30.00	0.939	1482.14	3.804	6.482	1.039	1.520
1.42	35.00	1.188	1482.14	4.335	6.276	1.395	0.977
1.03	40.00	1.445	1482.16	4.852	6.201	1.795	0.462
0.59	45.00	1.712	1482.16	5.360	6.075	2.241	-0.021
0.11	50.00	1.999	1482.16	5.837	5.630	2.730	-0.467
-0.41	55.00	2.275	1482.17	6.272	5.120	3.258	-0.876
-0.96	60.00	2.501	1482.17	6.669	4.193	3.823	-1.243
3.00	0.00	0.000	1663.21	0.000	8.012	0.000	4.900
2.97	5.00	0.043	1663.34	0.697	7.962	0.030	4.282
2.88	10.00	0.156	1664.08	1.382	7.789	0.121	3.669
2.73	15.00	0.316	1663.21	2.039	7.478	0.271	3.064
2.53	20.00	0.506	1663.21	2.663	7.114	0.476	2.468
2.27	25.00	0.715	1663.21	3.253	6.760	0.735	1.886
1.97	30.00	0.941	1663.21	3.811	6.459	1.043	1.322
1.62	35.00	1.177	1663.24	4.345	6.252	1.399	0.782
1.22	40.00	1.420	1663.23	4.864	6.165	1.801	0.271
0.77	45.00	1.670	1663.22	5.368	5.939	2.247	-0.207
0.29	50.00	1.921	1663.23	5.838	5.379	2.736	-0.653
-0.22	55.00	2.156	1663.22	6.264	4.921	3.264	-1.063
-0.76	60.00	2.363	1663.22	6.652	4.150	3.828	-1.434

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
3.20	0.00	0.000	1855.15	0.000	8.104	0.000	4.700
3.17	5.00	0.043	1855.26	0.704	8.017	0.031	4.082
3.08	10.00	0.156	1855.92	1.391	7.788	0.122	3.468
2.93	15.00	0.313	1855.14	2.048	7.457	0.273	2.862
2.73	20.00	0.497	1855.16	2.672	7.099	0.479	2.266
2.48	25.00	0.699	1855.16	3.263	6.754	0.738	1.684
2.17	30.00	0.914	1855.15	3.823	6.460	1.047	1.122
1.81	35.00	1.138	1855.16	4.360	6.254	1.404	0.585
1.41	40.00	1.367	1855.16	4.881	6.103	1.808	0.078
0.96	45.00	1.598	1855.16	5.379	5.712	2.255	-0.397
0.48	50.00	1.804	1855.17	5.838	5.176	2.745	-0.844
-0.03	55.00	1.996	1855.16	6.256	4.763	3.273	-1.256
-0.57	60.00	2.177	1855.15	6.627	3.856	3.835	-1.631
3.40	0.00	0.000	2057.68	0.000	8.164	0.000	4.500
3.37	5.00	0.036	2057.77	0.709	8.055	0.031	3.881
3.28	10.00	0.137	2058.36	1.398	7.786	0.123	3.265
3.13	15.00	0.284	2057.68	2.055	7.448	0.274	2.658
2.93	20.00	0.461	2057.68	2.680	7.099	0.481	2.061
2.68	25.00	0.655	2057.68	3.273	6.766	0.741	1.480
2.37	30.00	0.861	2057.68	3.837	6.483	1.051	0.919
2.01	35.00	1.074	2057.68	4.379	6.278	1.410	0.385
1.61	40.00	1.290	2057.68	4.901	6.011	1.815	-0.117
1.16	45.00	1.490	2057.68	5.387	5.457	2.264	-0.592
0.68	50.00	1.653	2057.69	5.834	5.021	2.754	-1.040
0.17	55.00	1.799	2057.68	6.247	4.573	3.281	-1.453
-0.36	60.00	1.949	2057.68	6.594	3.486	3.842	-1.836
3.60	0.00	0.000	2268.11	0.000	8.186	0.000	4.300
3.57	5.00	0.030	2268.18	0.711	8.072	0.031	3.680
3.48	10.00	0.116	2268.72	1.401	7.789	0.123	3.063
3.34	15.00	0.250	2268.11	2.061	7.451	0.275	2.454
3.14	20.00	0.416	2268.10	2.688	7.112	0.482	1.856
2.88	25.00	0.602	2268.12	3.284	6.793	0.743	1.275
2.58	30.00	0.800	2268.11	3.852	6.518	1.054	0.716
2.21	35.00	1.002	2268.12	4.399	6.304	1.415	0.186
1.80	40.00	1.202	2268.11	4.918	5.817	1.821	-0.315
1.36	45.00	1.361	2268.11	5.392	5.259	2.272	-0.790
0.88	50.00	1.484	2268.12	5.828	4.873	2.761	-1.238
0.37	55.00	1.589	2268.11	6.232	4.292	3.288	-1.653
-0.15	60.00	1.701	2268.11	6.553	3.155	3.846	-2.047

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
3.80	0.00	0.000	2485.21	0.000	8.177	0.000	4.100
3.77	5.00	0.024	2485.26	0.710	8.067	0.031	3.480
3.69	10.00	0.098	2485.74	1.402	7.796	0.123	2.860
3.54	15.00	0.217	2485.20	2.063	7.465	0.275	2.250
3.34	20.00	0.370	2485.21	2.694	7.137	0.483	1.651
3.09	25.00	0.546	2485.21	3.294	6.831	0.744	1.071
2.78	30.00	0.735	2485.21	3.868	6.567	1.057	0.514
2.41	35.00	0.928	2485.21	4.419	6.281	1.418	-0.013
2.00	40.00	1.097	2485.21	4.930	5.631	1.827	-0.514
1.56	45.00	1.217	2485.21	5.393	5.113	2.277	-0.991
1.08	50.00	1.303	2485.21	5.821	4.760	2.767	-1.438
0.57	55.00	1.371	2486.03	6.209	3.969	3.292	-1.858
0.06	60.00	1.441	2485.21	6.504	2.883	3.847	-2.262
4.00	0.00	0.000	2708.15	0.000	8.148	0.000	3.900
3.97	5.00	0.020	2708.20	0.708	8.048	0.031	3.279
3.89	10.00	0.082	2708.64	1.399	7.802	0.123	2.658
3.75	15.00	0.186	2708.15	2.063	7.490	0.274	2.046
3.55	20.00	0.326	2708.15	2.698	7.174	0.482	1.447
3.29	25.00	0.491	2708.15	3.303	6.881	0.744	0.867
2.98	30.00	0.669	2708.15	3.883	6.627	1.058	0.312
2.61	35.00	0.848	2708.15	4.436	6.127	1.421	-0.213
2.20	40.00	0.978	2708.15	4.937	5.493	1.831	-0.716
1.76	45.00	1.061	2708.15	5.392	5.011	2.282	-1.193
1.28	50.00	1.112	2708.69	5.814	4.621	2.770	-1.640
0.78	55.00	1.147	2707.60	6.173	3.647	3.295	-2.066
0.28	60.00	1.178	2708.15	6.449	2.665	3.846	-2.481
4.20	0.00	0.000	2936.27	0.000	8.105	0.000	3.700
4.17	5.00	0.017	2936.32	0.705	8.019	0.031	3.078
4.09	10.00	0.070	2936.71	1.395	7.805	0.122	2.457
3.95	15.00	0.160	2936.26	2.062	7.519	0.274	1.843
3.75	20.00	0.286	2936.27	2.701	7.220	0.482	1.243
3.49	25.00	0.437	2936.27	3.312	6.938	0.744	0.664
3.18	30.00	0.605	2936.26	3.899	6.670	1.059	0.112
2.81	35.00	0.753	2936.27	4.446	5.981	1.423	-0.415
2.41	40.00	0.846	2936.27	4.939	5.396	1.833	-0.919
1.96	45.00	0.895	2936.27	5.388	4.945	2.284	-1.397
1.48	50.00	0.914	2935.57	5.798	4.337	2.773	-1.844
0.99	55.00	0.915	2936.27	6.135	3.368	3.294	-2.280
0.50	60.00	0.915	2935.50	6.388	2.474	3.841	-2.703

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
4.40	0.00	0.000	3169.07	0.000	8.052	0.000	3.500
4.37	5.00	0.014	3169.11	0.701	7.986	0.031	2.878
4.29	10.00	0.059	3169.47	1.390	7.806	0.122	2.256
4.15	15.00	0.138	3169.07	2.059	7.551	0.273	1.641
3.95	20.00	0.249	3169.08	2.702	7.272	0.481	1.041
3.70	25.00	0.387	3169.08	3.320	7.004	0.743	0.463
3.38	30.00	0.539	3169.07	3.911	6.560	1.059	-0.088
3.02	35.00	0.646	3169.08	4.450	5.877	1.424	-0.618
2.61	40.00	0.702	3169.07	4.937	5.335	1.834	-1.124
2.17	45.00	0.718	3170.19	5.385	4.911	2.284	-1.603
1.69	50.00	0.706	3169.07	5.780	4.066	2.773	-2.055
1.21	55.00	0.677	3169.07	6.093	3.131	3.291	-2.498
0.73	60.00	0.650	3169.07	6.328	2.282	3.834	-2.929
4.60	0.00	0.000	3406.18	0.000	8.000	0.000	3.300
4.57	5.00	0.012	3406.21	0.697	7.950	0.030	2.678
4.49	10.00	0.051	3406.56	1.384	7.803	0.121	2.055
4.35	15.00	0.118	3406.17	2.055	7.583	0.272	1.440
4.15	20.00	0.216	3406.18	2.703	7.328	0.479	0.841
3.90	25.00	0.340	3406.18	3.328	7.075	0.743	0.263
3.58	30.00	0.462	3406.18	3.917	6.433	1.059	-0.289
3.22	35.00	0.527	3406.18	4.449	5.808	1.425	-0.822
2.82	40.00	0.546	3406.18	4.933	5.303	1.834	-1.330
2.37	45.00	0.533	3405.63	5.376	4.820	2.285	-1.809
1.91	50.00	0.488	3406.18	5.754	3.837	2.771	-2.270
1.44	55.00	0.431	3406.17	6.048	2.934	3.286	-2.721
0.96	60.00	0.379	3406.18	6.267	2.120	3.824	-3.160
4.80	0.00	0.000	3647.23	0.000	7.949	0.000	3.100
4.77	5.00	0.011	3647.26	0.693	7.915	0.030	2.478
4.69	10.00	0.043	3647.59	1.379	7.800	0.121	1.855
4.55	15.00	0.101	3648.40	2.051	7.616	0.270	1.240
4.35	20.00	0.186	3647.22	2.704	7.385	0.478	0.641
4.09	25.00	0.296	3647.23	3.334	7.068	0.742	0.065
3.78	30.00	0.374	3647.23	3.916	6.342	1.059	-0.491
3.43	35.00	0.398	3647.23	4.444	5.769	1.424	-1.027
3.03	40.00	0.382	3647.22	4.926	5.296	1.833	-1.538
2.59	45.00	0.335	3647.23	5.364	4.610	2.282	-2.020
2.13	50.00	0.260	3647.23	5.722	3.646	2.767	-2.490
1.66	55.00	0.177	3647.23	6.000	2.773	3.279	-2.949
1.20	60.00	0.102	3647.23	6.206	1.988	3.812	-3.396

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
5.00	0.00	0.000	3892.02	0.000	7.905	0.000	2.900
4.97	5.00	0.009	3892.03	0.689	7.881	0.030	2.278
4.89	10.00	0.037	3892.36	1.374	7.796	0.120	1.656
4.75	15.00	0.087	3893.14	2.047	7.645	0.269	1.041
4.55	20.00	0.160	3892.01	2.704	7.442	0.477	0.443
4.29	25.00	0.246	3892.01	3.336	6.935	0.741	-0.133
3.99	30.00	0.277	3892.02	3.911	6.281	1.057	-0.694
3.63	35.00	0.261	3892.02	4.435	5.754	1.422	-1.233
3.23	40.00	0.210	3892.30	4.917	5.311	1.830	-1.746
2.80	45.00	0.128	3892.02	5.344	4.425	2.279	-2.235
2.35	50.00	0.023	3892.02	5.686	3.491	2.760	-2.715
1.90	55.00	-0.086	3892.02	5.951	2.645	3.269	-3.183
1.44	60.00	-0.184	3892.01	6.146	1.884	3.797	-3.638
5.20	0.00	0.000	4140.33	0.000	7.867	0.000	2.700
5.17	5.00	0.008	4140.37	0.686	7.851	0.030	2.078
5.09	10.00	0.031	4140.66	1.369	7.792	0.119	1.457
4.95	15.00	0.073	4141.41	2.044	7.672	0.268	0.843
4.75	20.00	0.136	4141.40	2.705	7.500	0.475	0.245
4.49	25.00	0.185	4140.33	3.332	6.833	0.740	-0.333
4.19	30.00	0.171	4140.33	3.901	6.246	1.056	-0.897
3.84	35.00	0.116	4140.33	4.424	5.760	1.419	-1.440
3.44	40.00	0.031	4139.21	4.904	5.231	1.827	-1.955
3.02	45.00	-0.088	4140.33	5.317	4.267	2.273	-2.455
2.58	50.00	-0.223	4140.33	5.646	3.367	2.752	-2.945
2.14	55.00	-0.357	4140.33	5.900	2.549	3.257	-3.423
1.69	60.00	-0.479	4140.33	6.087	1.807	3.780	-3.885
5.40	0.00	0.000	4392.01	0.000	7.837	0.000	2.500
5.37	5.00	0.007	4392.03	0.684	7.827	0.030	1.879
5.29	10.00	0.026	4392.33	1.365	7.788	0.119	1.258
5.15	15.00	0.061	4393.06	2.041	7.697	0.267	0.645
4.95	20.00	0.113	4392.47	2.705	7.436	0.475	0.050
4.69	25.00	0.114	4392.01	3.323	6.758	0.739	-0.533
4.39	30.00	0.058	4392.01	3.888	6.233	1.054	-1.102
4.05	35.00	-0.036	4392.01	4.410	5.784	1.416	-1.648
3.66	40.00	-0.159	4392.01	4.887	5.080	1.822	-2.169
3.25	45.00	-0.312	4392.01	5.284	4.136	2.266	-2.680
2.82	50.00	-0.476	4392.01	5.602	3.269	2.742	-3.181
2.38	55.00	-0.636	4392.01	5.848	2.478	3.242	-3.668
1.94	60.00	-0.783	4392.01	6.028	1.755	3.761	-4.138

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
5.60	0.00	0.000	4646.90	0.000	7.815	0.000	2.300
5.57	5.00	0.005	4646.94	0.682	7.809	0.030	1.679
5.49	10.00	0.022	4647.22	1.362	7.786	0.119	1.060
5.34	15.00	0.051	4647.93	2.040	7.722	0.267	0.449
5.14	20.00	0.079	4647.21	2.701	7.289	0.474	-0.147
4.89	25.00	0.034	4647.97	3.310	6.708	0.737	-0.735
4.60	30.00	-0.064	4646.89	3.872	6.236	1.051	-1.307
4.26	35.00	-0.194	4646.27	4.394	5.820	1.412	-1.856
3.87	40.00	-0.357	4646.90	4.862	4.940	1.816	-2.387
3.48	45.00	-0.543	4646.90	5.246	4.028	2.258	-2.909
3.06	50.00	-0.735	4646.90	5.554	3.195	2.730	-3.422
2.63	55.00	-0.922	4646.90	5.794	2.430	3.225	-3.920
2.20	60.00	-1.093	4646.90	5.970	1.724	3.739	-4.397
5.80	0.00	0.000	4904.90	0.000	7.800	0.000	2.100
5.77	5.00	0.004	4904.93	0.681	7.798	0.030	1.480
5.69	10.00	0.018	4905.22	1.361	7.787	0.119	0.862
5.54	15.00	0.041	4905.50	2.039	7.744	0.267	0.253
5.34	20.00	0.034	4905.07	2.692	7.171	0.474	-0.345
5.10	25.00	-0.055	4905.75	3.294	6.675	0.735	-0.938
4.81	30.00	-0.193	4904.90	3.854	6.254	1.048	-1.514
4.47	35.00	-0.360	4904.91	4.376	5.747	1.407	-2.068
4.10	40.00	-0.562	4904.90	4.830	4.816	1.809	-2.609
3.71	45.00	-0.781	4904.90	5.203	3.941	2.248	-3.144
3.31	50.00	-1.001	4904.90	5.504	3.141	2.715	-3.669
2.89	55.00	-1.213	4904.90	5.738	2.401	3.206	-4.176
2.46	60.00	-1.409	4904.90	5.912	1.713	3.715	-4.663
6.00	0.00	0.000	5165.92	0.000	7.793	0.000	1.900
5.97	5.00	0.003	5165.90	0.680	7.793	0.030	1.280
5.88	10.00	0.014	5166.23	1.360	7.790	0.119	0.664
5.74	15.00	0.030	5165.62	2.038	7.669	0.267	0.058
5.54	20.00	-0.023	5165.95	2.679	7.080	0.473	-0.545
5.30	25.00	-0.155	5166.55	3.275	6.658	0.733	-1.143
5.01	30.00	-0.329	5165.93	3.834	6.281	1.044	-1.723
4.68	35.00	-0.535	5165.92	4.351	5.619	1.401	-2.282
4.32	40.00	-0.775	5165.92	4.792	4.709	1.801	-2.837
3.95	45.00	-1.025	5165.92	5.156	3.873	2.235	-3.385
3.56	50.00	-1.273	5165.92	5.450	3.104	2.699	-3.921
3.15	55.00	-1.510	5165.92	5.681	2.389	3.185	-4.439
2.74	60.00	-1.730	5165.92	5.853	1.718	3.688	-4.934

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
6.50	0.00	0.000	5831.20	0.000	7.806	0.000	1.400
6.47	5.00	0.001	5831.23	0.681	7.809	0.030	0.782
6.38	10.00	0.005	5831.25	1.363	7.817	0.119	0.170
6.23	15.00	-0.055	5830.77	2.020	7.276	0.267	-0.440
6.05	20.00	-0.223	5830.96	2.635	6.947	0.470	-1.056
5.82	25.00	-0.450	5831.36	3.221	6.666	0.726	-1.663
5.54	30.00	-0.712	5831.20	3.775	6.179	1.032	-2.253
5.24	35.00	-1.018	5831.20	4.262	5.315	1.383	-2.842
4.92	40.00	-1.340	5831.21	4.675	4.508	1.774	-3.431
4.58	45.00	-1.663	5831.20	5.022	3.767	2.197	-4.013
4.22	50.00	-1.977	5831.20	5.307	3.074	2.648	-4.580
3.84	55.00	-2.276	5831.20	5.535	2.417	3.121	-5.124
3.44	60.00	-2.554	5831.21	5.708	1.789	3.612	-5.641
7.00	0.00	0.000	6514.15	0.000	7.859	0.000	0.900
6.97	5.00	-0.001	6514.19	0.686	7.862	0.030	0.284
6.88	10.00	-0.053	6513.78	1.355	7.385	0.120	-0.332
6.75	15.00	-0.251	6513.73	1.980	7.106	0.265	-0.960
6.58	20.00	-0.519	6513.72	2.580	6.916	0.464	-1.587
6.36	25.00	-0.825	6514.15	3.161	6.614	0.715	-2.202
6.11	30.00	-1.184	6514.16	3.686	5.829	1.014	-2.820
5.84	35.00	-1.572	6514.15	4.142	5.074	1.357	-3.446
5.56	40.00	-1.964	6514.16	4.534	4.381	1.736	-4.072
5.25	45.00	-2.351	6514.15	4.870	3.730	2.146	-4.688
4.92	50.00	-2.727	6514.15	5.152	3.107	2.584	-5.285
4.57	55.00	-3.082	6514.15	5.383	2.505	3.044	-5.855
4.20	60.00	-3.415	6514.15	5.564	1.919	3.521	-6.394
7.50	0.00	0.000	7214.23	0.000	7.944	0.000	0.400
7.47	5.00	-0.040	7214.13	0.682	7.469	0.030	-0.221
7.41	10.00	-0.283	7214.04	1.313	7.236	0.117	-0.866
7.30	15.00	-0.597	7213.85	1.925	7.096	0.259	-1.511
7.14	20.00	-0.941	7214.21	2.522	6.910	0.453	-2.147
6.95	25.00	-1.340	7214.23	3.077	6.211	0.698	-2.787
6.74	30.00	-1.781	7214.22	3.565	5.519	0.988	-3.446
6.51	35.00	-2.234	7214.23	3.996	4.893	1.319	-4.113
6.26	40.00	-2.686	7214.23	4.375	4.305	1.685	-4.776
5.99	45.00	-3.128	7214.23	4.706	3.738	2.081	-5.426
5.69	50.00	-3.555	7214.23	4.991	3.182	2.505	-6.052
5.36	55.00	-3.961	7214.23	5.229	2.632	2.950	-6.648
5.01	60.00	-4.342	7214.23	5.422	2.087	3.415	-7.206

WLRadius (m)	Heel (deg)	Trim (m)	Displt (t)	KN (m)	GM (m)	DS (m-rads)	Deck (m)
8.00	0.00	0.000	7892.76	0.000	7.079	0.000	-0.100
8.01	5.00	-0.257	7892.75	0.634	7.396	0.028	-0.760
7.97	10.00	-0.603	7892.67	1.261	7.279	0.110	-1.424
7.87	15.00	-0.963	7892.16	1.877	7.145	0.248	-2.077
7.73	20.00	-1.377	7892.76	2.457	6.510	0.437	-2.734
7.58	25.00	-1.855	7892.76	2.972	5.848	0.675	-3.420
7.41	30.00	-2.355	7892.75	3.434	5.282	0.955	-4.123
7.23	35.00	-2.853	7892.76	3.849	4.762	1.273	-4.830
7.02	40.00	-3.343	7892.76	4.222	4.261	1.626	-5.529
6.77	45.00	-3.819	7892.76	4.554	3.764	2.009	-6.208
6.50	50.00	-4.277	7892.76	4.844	3.266	2.419	-6.860
6.19	55.00	-4.715	7892.76	5.092	2.763	2.853	-7.477
5.85	60.00	-5.126	7892.76	5.299	2.256	3.306	-8.051

KN's in metres

Heel Draft	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
1.000	0.660	1.325	2.002	2.695	3.405	4.087	4.703	5.190	5.571
1.500	0.672	1.338	1.996	2.643	3.280	3.900	4.483	5.010	5.488
2.000	0.677	1.347	2.002	2.637	3.245	3.821	4.371	4.892	5.383
2.200	0.679	1.351	2.007	2.640	3.240	3.808	4.348	4.868	5.364
2.400	0.682	1.356	2.014	2.644	3.239	3.801	4.336	4.853	5.356
2.600	0.686	1.363	2.022	2.650	3.241	3.800	4.332	4.848	5.356
2.800	0.691	1.372	2.030	2.656	3.246	3.804	4.335	4.852	5.360
3.000	0.697	1.382	2.039	2.663	3.253	3.811	4.345	4.864	5.368
3.200	0.704	1.391	2.048	2.672	3.263	3.823	4.360	4.881	5.379
3.400	0.709	1.398	2.055	2.680	3.273	3.837	4.379	4.901	5.387
3.600	0.711	1.401	2.061	2.688	3.284	3.852	4.399	4.918	5.392
3.800	0.710	1.402	2.063	2.694	3.294	3.868	4.419	4.930	5.393
4.000	0.708	1.399	2.063	2.698	3.303	3.883	4.436	4.937	5.392
4.200	0.705	1.395	2.062	2.701	3.312	3.899	4.446	4.939	5.388
4.400	0.701	1.390	2.059	2.702	3.320	3.911	4.450	4.937	5.385
4.600	0.697	1.384	2.055	2.703	3.328	3.917	4.449	4.933	5.376
4.800	0.693	1.379	2.051	2.704	3.334	3.916	4.444	4.926	5.364
5.000	0.689	1.374	2.047	2.704	3.336	3.911	4.435	4.917	5.344
5.200	0.686	1.369	2.044	2.705	3.332	3.901	4.424	4.904	5.317
5.400	0.684	1.365	2.041	2.705	3.323	3.888	4.410	4.887	5.284
5.600	0.682	1.362	2.040	2.701	3.310	3.872	4.394	4.862	5.246

Heel	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0
Draft									
5.800	0.681	1.361	2.039	2.692	3.294	3.854	4.376	4.830	5.203
6.000	0.680	1.360	2.038	2.679	3.275	3.834	4.351	4.792	5.156
6.500	0.681	1.363	2.020	2.635	3.221	3.775	4.262	4.675	5.022
7.000	0.686	1.355	1.980	2.580	3.161	3.686	4.142	4.534	4.870
7.500	0.682	1.313	1.925	2.522	3.077	3.565	3.996	4.375	4.706
8.000	0.634	1.261	1.877	2.457	2.972	3.434	3.849	4.222	4.554

KN's in metres

Heel	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0
Draft									
1.000	5.880	6.137	6.370	6.602	6.815	7.006	7.180	7.313	7.291
1.500	5.874	6.216	6.520	6.786	6.999	7.173	7.263	7.230	7.074
2.000	5.863	6.283	6.618	6.891	7.104	7.215	7.210	7.095	6.882
2.200	5.848	6.295	6.644	6.922	7.117	7.201	7.169	7.036	6.812
2.400	5.839	6.291	6.661	6.940	7.116	7.174	7.123	6.976	6.744
2.600	5.836	6.281	6.671	6.945	7.099	7.137	7.072	6.915	6.677
2.800	5.837	6.272	6.669	6.936	7.071	7.093	7.017	6.854	6.613
3.000	5.838	6.264	6.652	6.914	7.033	7.042	6.958	6.791	6.549
3.200	5.838	6.256	6.627	6.880	6.985	6.986	6.896	6.726	6.484
3.400	5.834	6.247	6.594	6.833	6.930	6.924	6.831	6.660	6.421
3.600	5.828	6.232	6.553	6.775	6.870	6.859	6.765	6.595	6.359
3.800	5.821	6.209	6.504	6.709	6.804	6.793	6.699	6.533	6.301
4.000	5.814	6.173	6.449	6.639	6.735	6.725	6.633	6.471	6.246
4.200	5.798	6.135	6.388	6.567	6.663	6.656	6.569	6.412	6.194
4.400	5.780	6.093	6.328	6.492	6.586	6.586	6.505	6.355	6.144
4.600	5.754	6.048	6.267	6.418	6.507	6.515	6.441	6.299	6.097
4.800	5.722	6.000	6.206	6.347	6.427	6.444	6.377	6.244	6.052
5.000	5.686	5.951	6.146	6.278	6.352	6.370	6.314	6.191	6.008
5.200	5.646	5.900	6.087	6.213	6.282	6.298	6.250	6.138	5.966
5.400	5.602	5.848	6.028	6.150	6.216	6.231	6.189	6.085	5.925
5.600	5.554	5.794	5.970	6.088	6.154	6.168	6.132	6.035	5.885
5.800	5.504	5.738	5.912	6.029	6.094	6.110	6.078	5.990	5.849
6.000	5.450	5.681	5.853	5.971	6.037	6.055	6.027	5.948	5.816
6.500	5.307	5.535	5.708	5.831	5.904	5.932	5.916	5.857	5.750
7.000	5.152	5.383	5.564	5.697	5.783	5.824	5.825	5.785	5.702
7.500	4.991	5.229	5.422	5.570	5.673	5.733	5.751	5.731	5.673
8.000	4.844	5.092	5.299	5.463	5.585	5.665	5.703	5.701	5.663

Βιβλιογραφία

- [46] S. Skoupas, «Stability Calculations for a Bulkcarrier», Athens, 2003.
[47] TRIBON Solutions «Surface and Compartments»
[48] TRIBON Solutions «Hydrostatic and Hydrodynamics»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΑΘΙΚΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

10

Μοναχή το δρόμο επήρες,
εξανάλθες μοναχή.
Δεν είν' εύκολες οι θύρες,
εάν η χρεία τες κουρταλεί

*Διονύσιος Σολωμός,
«Ύμνος εις την Ελευθερίαν»*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΑΘΙΚΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Οι υπολογισμοί ευστάθειας για το άθικτο πλοίο πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τους κανονισμούς του Αμερικανικού Ναυτικού US Navy DDS – 079 Intact Stability, Τα κριτήρια τα οποία εφαρμόστηκαν για την ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση (intact stability) προήρθαν από τη δημοσίευση ‘Current status of stability and buoyancy criteria used by the U.S Navy for advanced marine vehicles’ [5].

4.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΘΙΚΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΗΡΕΜΟ ΝΕΡΟ

Τα κριτήρια του Αμερικανικού Ναυτικού έχουν προσαρμοστεί και χρησιμοποιούνται από πολλά ναυτικά ανά τον κόσμο. Τα κριτήρια αυτά καταγράφονται στο σύνολό τους στα Design Data Sheets (DDS), τα οποία χρησιμοποιήσαμε και εμείς ως πηγές προκειμένου να ελέγξουμε την ευστάθεια της κορβέτας σε ήρεμο νερό υπό την επίδραση φυσικών συνθηκών και ελιγκτικών κινήσεων. Συγκεντρώνοντας τους κινδύνους από τους οποίους απειλείται ένα σύγχρονο πολεμικό πλοίο κατά την πλευση, καταλήγουμε στο σύνολο των μοχλοβραχιόνων εγκάρσιας κλίσης (Heeling Arms) τους οποίους πρέπει να υπερθέσουμε κάθε φορά στα διαγράμματα ευστάθειας ($GZ - \varphi$) για κάθε κατάσταση φόρτωσης, όπως αυτές έχουν περιγραφεί ανωτέρω. Έχοντας υπερθέσει το βραχίονα εγκάρσιας κλίσης της προκύπτουσας ροπής στο εκάστοτε διάγραμμα, εφαρμόζουμε μία σειρά κριτηρίων που πρέπει να ισχύουν, όπως αυτά περιγράφονται στο DDS – 79, προκειμένου να ελεγχθεί αν ο σχεδιασμός της κορβέτας ανταπεξέρχεται στον εκάστοτε κίνδυνο. Έτσι εξετάζεται η επίδραση των σημαντικότερων μοχλοβραχιόνων εκτροπής, οι οποίοι είναι οι ροπές κλίσεως που προκαλούνται από τον άνεμο και από τον κύκλο στροφής υπό μέγιστη ταχύτητα.

Άνεμος (Beam Winds)

1. Επίδραση του Ανέμου

Ο κίνδυνος αυτός συνίσταται σε δύο επιμέρους παράγοντες. Ο ένας είναι ο άνεμος που επιδρά στο πλοίο απευθείας πάνω στην προβεβλημένη επιφάνεια (projected sail area) και ο δεύτερος είναι ο κυματισμός που προκαλεί φαινόμενα διατοιχισμού (rolling). Η ταχύτητα ανέμου που πρέπει να επιλεγεί φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Έχει στοιχειοθετηθεί με βάση την αποστολή του πλοίου και την προβλεπόμενη περιοχή επιχειρήσεων. Για το δεύτερο παράγοντα δε θα κάνουμε μνεία στο παρόν κεφάλαιο αφού αποτελεί ξεχωριστό κομμάτι μελέτης της συμπεριφοράς σε κυματισμό (sea keeping) ενώ εδώ αναφερόμαστε σε ήρεμο νερό.

SERVICE	MINIMUM WIND VELOCITY FOR DESIGN PURPOSES (Knots)
OCEAN	
a) Ships which must be expected to weather full force of tropical cyclones. This includes all ships which will move with the amphibious striking forces	100
b) Ships which be expected to avoid centers of tropical disturbances	80
COASTWISE	
a) Ships which must be expected to weather full force of tropical cyclones. This includes all ships which will move with the amphibious striking forces	100
b) Ships which be expected to avoid centers of tropical disturbances but to stay at sea under all other circumstances of weather	80
c) Ships which be recalled to protected anchorages if winds over Force 8 are expected	60
HARBOR	
	60

Πίνακας 25. Θεωρούμενη ταχύτητα ανέμου ανάλογα με την επιχειρησιακή φυσιολογία του σκάφους

2. Ροπή λόγω ανέμου (Wind Heeling Arm)

Ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ροπής λόγω ανέμου είναι :

$$H.A = \frac{0,004 \cdot V^2 \cdot A \cdot l \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot \Delta}$$

, όπου :

A = προβεβλημένη επιφάνεια στον άνεμο [sq.ft]

l = μοχλοβραχίονας επιφανείας μετρούμενος από το κέντρο πλευρικής αντίστασης (θεωρείται στο μισό βύθισμα) μέχρι το κέντρο της προβεβλημένης επιφάνειας [ft]

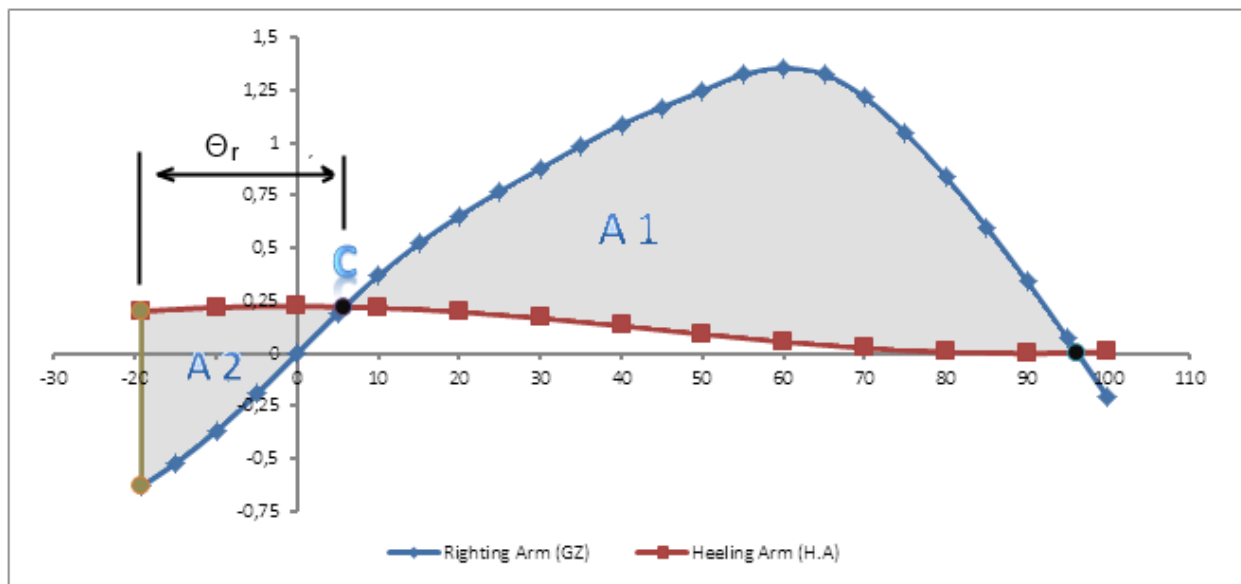
V = ονομαστική ταχύτητα ανέμου [kn]

θ = γωνία εγκάρσιας κλίσης [deg]

3. Κριτήρια για επαρκή ευστάθεια

Όταν υπερθέσουμε τον βραχίονα εγκάρσιας κλίσης της ροπής λόγω ανέμου στο διάγραμμα μοχλοβραχίονα επαναφοράς του πλοίου $GZ - \varphi$ και επιλέξουμε για γωνία διατοιχισμού του πλοίου υπό την επίδραση του ανέμου τη θ_r^2 , τότε πρέπει να ικανοποιούνται τα ακόλουθα :

- Ο βραχίονας εγκάρσιας κλίσης (Heeling Arm) στο σημείο τομής του βραχίονα εγκάρσιας κλίσης και του βραχίονα επαναφοράς (Righting Arm), δηλαδή η τεταγμένη του σημείου C δεν πρέπει να ξεπερνά τα $6/10$ της μέγιστης ροπής επαναφοράς.
- Το εμβαδόν A_1 δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από $1,4 A_2$. Όπου το εμβαδόν A_2 εκτείνεται κατά θ_r όπισθεν του σημείου C.



Σχήμα 10. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης :

FULL LOADS CONDITION

1. Επιλέγουμε ονομαστική ταχύτητα ανέμου $V = 100 \text{ kn}$
2. Για την προβεβλημένη στον άνεμο επιφάνεια (projected sail area) κάνουμε εμβαδομέτρηση

² Η γωνία θ_r ορίζεται ως γωνία αναφοράς, για πλοία του δικού μας τύπου, ίση με $\theta_r = 25^\circ$

ολόκληρης της επιφάνειας των εξάλων του πλοίου από το σχέδιο γενικής διάταξης στο Autocad.

Έτσι προκύπτει : $A = 933,3537 \text{ m}^2$ και το κέντρο της επιφάνειας : $z = 5,024 \text{ m}$

Ο μοχλοβραχίονας l υπολογίζεται $l = z - T/2 = 5,024 - 4,1/2 = 2,974 \text{ m}$

Για την Full Loads Condition έχουμε $\Delta = 2826,817 \text{ t}$

Άρα :

$$H.A = \frac{0,004 \cdot V^2 \cdot A \cdot l \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot \Delta} = \frac{0,004 \cdot 100^2 [\text{kn}^2] \cdot 10047 [\text{sq.ft}] \cdot 9,7572 [\text{ft}] \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot 2826,817 [\text{t}]} = 0,619264 \cdot \cos^2 \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

Φ (grad)	Φ (rad)	COS Φ	H.A (ft)	H.A (m)
-18,944731	-0,3306	0,9458	0,5540	0,1689
-10	-0,1745	0,9848	0,6006	0,1831
0	0,0000	1,0000	0,6193	0,1888
10	0,1745	0,9848	0,6006	0,1831
20	0,3491	0,9397	0,5468	0,1667
30	0,5236	0,8660	0,4644	0,1416
40	0,6981	0,7660	0,3634	0,1108
50	0,8727	0,6428	0,2559	0,0780
60	1,0472	0,5000	0,1548	0,0472
70	1,2217	0,3420	0,0724	0,0221
80	1,3963	0,1736	0,0187	0,0057
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 26. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την Full Loads Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

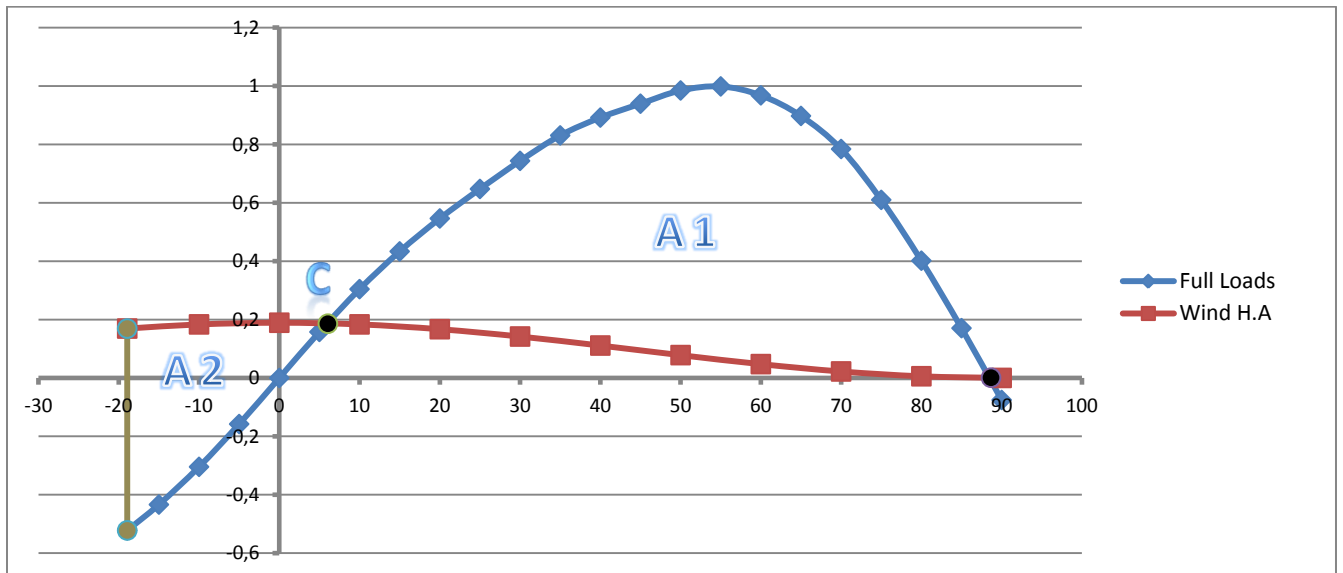
Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition θα την πάρουμε από το AVEVA. Κατόπιν θα υπολογίσουμε το σημείο τομής των δύο καμπυλών C και θα ορίσουμε το αριστερό όριο του εμβადού A_2 25° αριστερά του. Έτσι παίρνουμε :

θ	GZ	θ	GZ
-18,945	-0,5224	40	0,8918
-15	-0,4338	45	0,9393
-10	-0,3046	50	0,9846
-5	-0,1580	55	0,9985
0	-0,0002	60	0,9679

Intersection Point C	
θ	z
6,0553	0,1856

5	0,1575	65	0,8974
10	0,3041	70	0,7841
15	0,4334	75	0,6099
20	0,5462	80	0,4016
25	0,6473	85	0,1705
30	0,7435	90	-0,0755
35	0,8306	95	-0,3303
		100	-0,5883

Left Margin (intersect. point- Θ)	
θ	z
-18,9447	0,1691
-18,9447	-0,5224



Σχήμα 11. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη Full Loads Condition

3. Τα δύο εμβαδά A_1, A_2 που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

	Απο Autocad
A1	48,461
A2	9,282

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ	
	0,186	0,599	OK
$A1 > 1.4 A2$	A1	1.4A2	
	48,461	12,994	OK

MINOP CONDITION

1. Επιλέγουμε ονομαστική ταχύτητα ανέμου $V = 100 \text{ kn}$

2. Για την προβεβλημένη στον άνεμο επιφάνεια (projected sail area) κάνουμε εμβαδομέτρηση ολόκληρης της επιφάνειας των εξάλων του πλοίου από το σχέδιο γενικής διάταξης στο Autocad.

Έτσι προκύπτει : $A = 933,3537 \text{ m}^2$ και το κέντρο της επιφάνειας : $z = 5,024 \text{ m}$

Ο μοχλοβραχίονας l υπολογίζεται $l = z - T/2 = 5,024 - 4,1/2 = 2,974 \text{ m}$

Για την MINOP Condition έχουμε $\Delta = 2589,34 \text{ t}$

Άρα :

$$H.A = \frac{0,004 \cdot V^2 \cdot A \cdot l \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot \Delta} = \frac{0,004 \cdot 100^2 [\text{kn}^2] \cdot 10047 [\text{sq.ft}] \cdot 9,7572 [\text{ft}] \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot 2589,34 [\text{t}]} = 0,67606 \cdot \cos^2 \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
-17,289762	-0,3018	0,9548	0,6163	0,1879
-10	-0,1745	0,9848	0,6557	0,1998
0	0,0000	1,0000	0,6761	0,2061
10	0,1745	0,9848	0,6557	0,1998
20	0,3491	0,9397	0,5970	0,1820
30	0,5236	0,8660	0,5070	0,1545
40	0,6981	0,7660	0,3967	0,1209
50	0,8727	0,6428	0,2793	0,0851
60	1,0472	0,5000	0,1690	0,0515
70	1,2217	0,3420	0,0791	0,0241
80	1,3963	0,1736	0,0204	0,0062
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 27. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την MINOP Condition

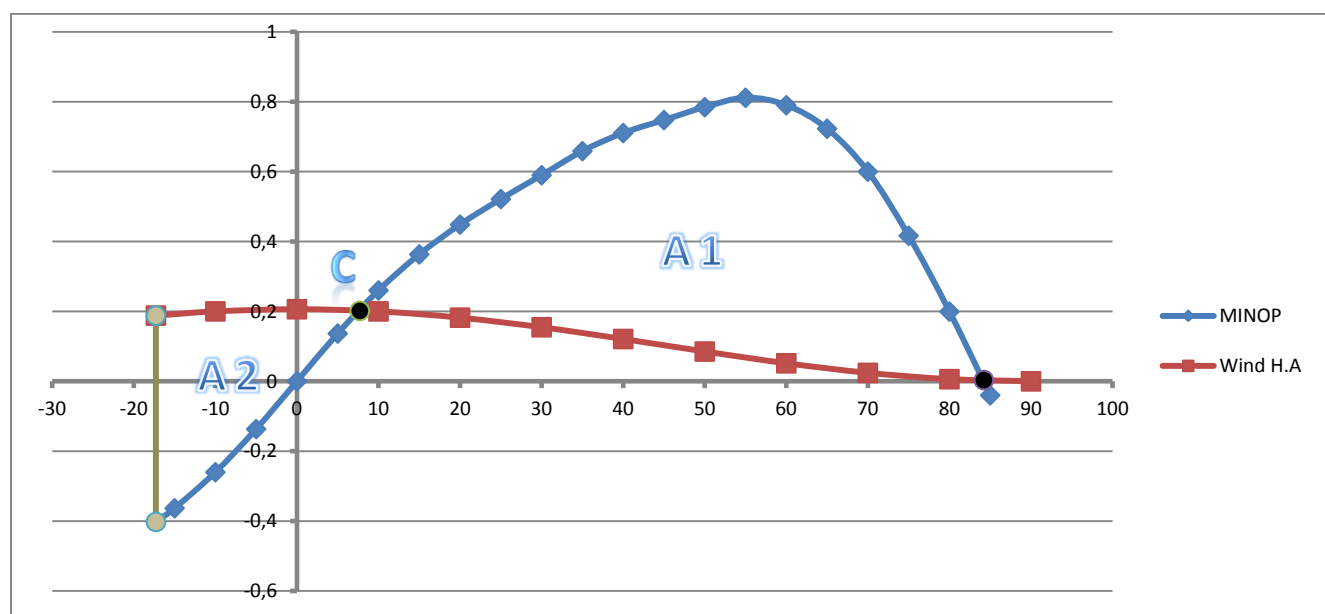
Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition θα την πάρουμε από το AVEVA. Κατόπιν θα υπολογίσουμε το σημείο τομής των δύο καμπυλών C και θα ορίσουμε το αριστερό όριο του εμβαδού A_2 25° αριστερά του. Έτσι παίρνουμε :

θ	GZ	θ	GZ
-17,2898	-0,402263	40	0,7105
-15	-0,3632	45	0,7475
-10	-0,2601	50	0,7846
-5	-0,1367	55	0,8113
0	0	60	0,7901
5	0,1367	65	0,7229
10	0,2601	70	0,6001
15	0,3632	75	0,4165
20	0,4485	80	0,1995
25	0,5216	85	-0,0400
30	0,5897	90	-0,2939
35	0,6587	95	-0,5558
		100	-0,8201

Intersection Point C	
θ	z
7,7102	0,2016

Left Margin (intersect. point- Θ_r)	
θ	z
-17,2898	0,1881
-17,2898	-0,4023



Σχήμα 12. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη MINOP Condition

3. Τα δύο εμβαδά A_1, A_2 που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

	Απο Autocad	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ		
A1	35,218	H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ
A2	7,980		0,202	0,487
		A1 > 1.4 A2	A1	1.4A2
			35,218	11,172
				OK

FULL LOADS WITHOUT MARGIN CONDITION

1. Επιλέγουμε ονομαστική ταχύτητα ανέμου $V = 100 \text{ kn}$

2. Για την προβεβλημένη στον άνεμο επιφάνεια (projected sail area) κάνουμε εμβαδομέτρηση ολόκληρης της επιφάνειας των εξάλων του πλοίου από το σχέδιο γενικής διάταξης στο Autocad.

Έτσι προκύπτει : $A = 933,3537 \text{ m}^2$ και το κέντρο της επιφάνειας : $z = 5,024 \text{ m}$

Ο μοχλοβραχίονας l υπολογίζεται $l = z - T/2 = 5,024 - 4,1/2 = 2,974 \text{ m}$

Για την FULL LOADS WITHOUT MARGIN Condition έχουμε $\Delta = 2614,745 \text{ t}$

Άρα :

$$H.A = \frac{0,004 \cdot V^2 \cdot A \cdot l \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot \Delta} = \frac{0,004 \cdot 100^2 [\text{kn}^2] \cdot 10047 [\text{sq.ft}] \cdot 9,7572 [\text{ft}] \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot 2614,745 [\text{t}]} = 0,66949 \cdot \cos^2 \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
-20,2141854	-0,3528	0,9384	0,5896	0,1797
-10	-0,1745	0,9848	0,6493	0,1979
0	0,0000	1,0000	0,6695	0,2041
10	0,1745	0,9848	0,6493	0,1979
20	0,3491	0,9397	0,5912	0,1802
30	0,5236	0,8660	0,5021	0,1530
40	0,6981	0,7660	0,3929	0,1197
50	0,8727	0,6428	0,2766	0,0843
60	1,0472	0,5000	0,1674	0,0510
70	1,2217	0,3420	0,0783	0,0239
80	1,3963	0,1736	0,0202	0,0062
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000
100	1,7453	-0,1736	0,0202	0,0062

Πίνακας 28. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την Full Loads (without margin) Condition

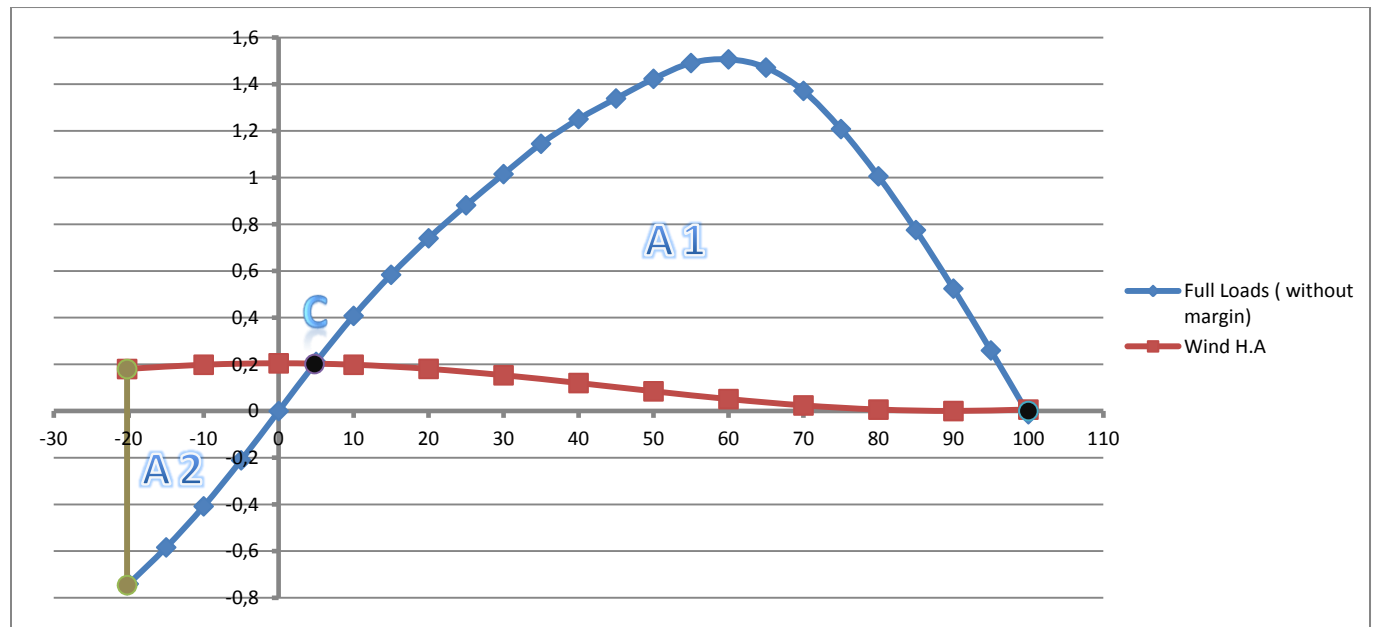
Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition θα την πάρουμε από το AVEVA. Κατόπιν θα υπολογίσουμε το σημείο τομής των δύο καμπυλών C και θα ορίσουμε το αριστερό όριο του εμβადού A_2 25° αριστερά του. Έτσι παίρνουμε :

θ	GZ	θ	GZ
-20,2142	-0,74606	40	1,2509
-20	-0,7405	45	1,3389
-15	-0,5842	50	1,4233
-10	-0,4082	55	1,4909
-5	-0,2110	60	1,5065
0	-0,0003	65	1,4715
5	0,2105	70	1,3715
10	0,4077	75	1,2079
15	0,5837	80	1,0056
20	0,7400	85	0,7752
25	0,8815	90	0,5244
30	1,0151	95	0,2595
35	1,1450	100	-0,0138

Intersection Point C	
θ	z
4,7858	0,2015

Left Margin (intersect. point- θ r)	
θ	z
-20,2142	0,1800
-20,2142	-0,7461



Σχήμα 13. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη FULL LOADS (without margin) Condition

3. Τα δύο εμβαδά A_1, A_2 που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

	Απο Autocad	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ		
A1	84,277	H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ
A2	12,463		0,201	0,904 OK
		A1 > 1.4 A2	A1	1.4A2
			84,277	17,449 OK

MINOP WITHOUT MARGIN CONDITION

1. Επιλέγουμε ονομαστική ταχύτητα ανέμου $V = 100$ kn

2. Για την προβλεβλήμενη στον άνεμο επιφάνεια (projected sail area) κάνουμε εμβαδομέτρηση ολόκληρης της επιφάνειας των εξάλων του πλοίου από το σχέδιο γενικής διάταξης στο Autocad.

Έτσι προκύπτει : $A = 933,3537 \text{ m}^2$ και το κέντρο της επιφάνειας : $z = 5,024 \text{ m}$

Ο μοχλοβραχίονας l υπολογίζεται $l = z - T/2 = 5,024 - 4,1/2 = 2,974 \text{ m}$

Για την MINOP WITHOUT MARGIN Condition έχουμε $\Delta = 2377,268 \text{ t}$

Άρα :

$$H.A = \frac{0,004 \cdot V^2 \cdot A \cdot l \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot \Delta} = \frac{0,004 \cdot 100^2 [\text{kn}^2] \cdot 10047 [\text{sq.ft}] \cdot 9,7572 [\text{ft}] \cdot \cos^2 \theta}{2240 \cdot 2377,268 [\text{t}]} = 0,736369 \cdot \cos^2 \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
-19,172858	-0,3346	0,9445	0,6580	0,2006
-10	-0,1745	0,9848	0,7153	0,2180
0	0,0000	1,0000	0,7375	0,2248
10	0,1745	0,9848	0,7153	0,2180
20	0,3491	0,9397	0,6513	0,1985
30	0,5236	0,8660	0,5531	0,1686
40	0,6981	0,7660	0,4328	0,1319
50	0,8727	0,6428	0,3047	0,0929
60	1,0472	0,5000	0,1844	0,0562
70	1,2217	0,3420	0,0863	0,0263
80	1,3963	0,1736	0,0222	0,0068
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000
100	1,7453	-0,1736	0,0222	0,0068

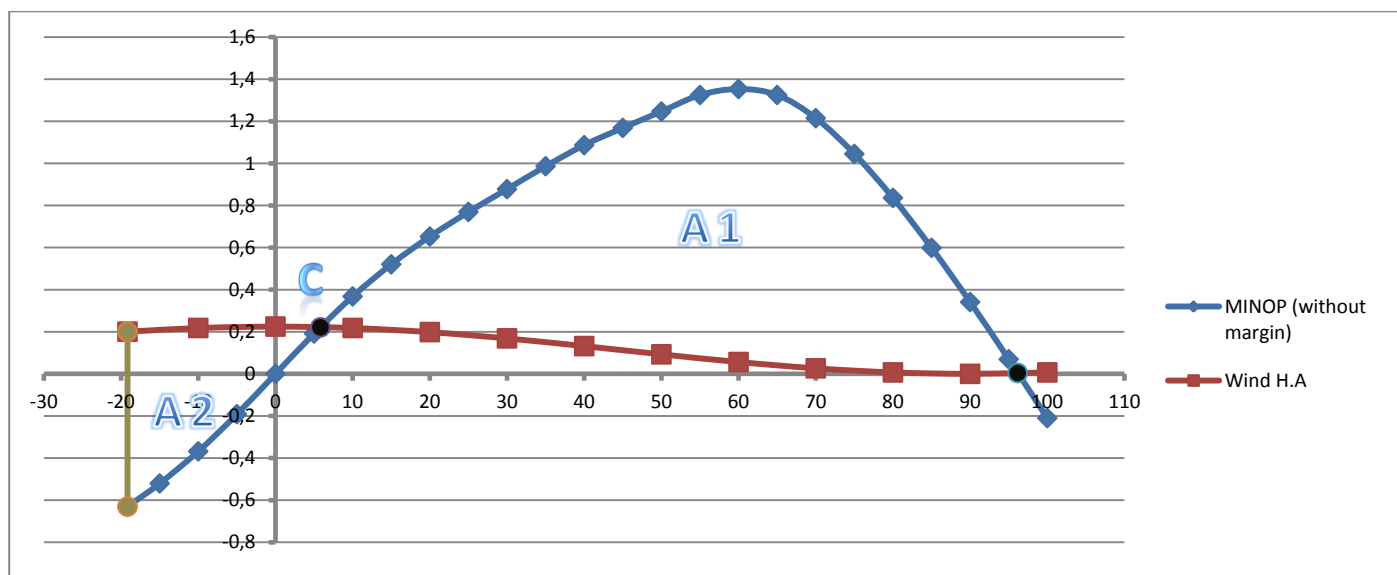
Πίνακας 29. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω ανέμου για την MINOP (without margin) Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm. Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition θα την πάρουμε από το AVEVA. Κατόπιν θα υπολογίσουμε το σημείο τομής των δύο καμπυλών C και θα ορίσουμε το αριστερό όριο του εμβαδού A_2 25° αριστερά του. Έτσι παίρνουμε :

θ	GZ	θ	GZ
-19,173	-0,63066345	40	1,0868
-15	-0,5205	45	1,1686
-10	-0,3679	50	1,2465
-5	-0,1917	55	1,3248
0	0	60	1,3532
5	0,1917	65	1,3249
10	0,3679	70	1,2149
15	0,5205	75	1,045
20	0,6525	80	0,8361
25	0,7691	85	0,5987
30	0,8775	90	0,341
35	0,9865	95	0,0694
		100	-0,2101

Intersection Point C	
θ	z
5,8271	0,2208

Left Margin (intersect. point- θ_r)	
θ	z
-19,1729	0,2006
-19,1729	-0,6307



Σχήμα 14. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου για τη MINOP (without margin) Condition

3. Τα δύο εμβαδά A_1, A_2 που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

	Απο Autocad	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
A1	70,28	H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ	
A2	11,284		0,221	0,812	OK
		A1 > 1.4 A2	A1	1.4 A2	
			70,28	15,797	OK

Κύκλος στροφής υπό μέγιστη ταχύτητα (High Speed Turning)

1. Ροπή λόγω στροφής

Η φυγόκεντρος δύναμη που επιδρά πάνω στο πλοίο κατά τη διάρκεια της στροφής μπορεί να εκφραστεί μέσω του τύπου :

$$\text{Centrifugal force} = \frac{W \cdot v^2}{g \cdot R} \quad [t]$$

,όπου :

W= εκτόπισμα του πλοίου [t]

v = σταθερή ταχύτητα του πλοίου κατά τη στροφή [ft/s]

g = επιτάχυνση της βαρύτητας [ft/s²]

R = ακτίνα κύκλου στροφής [ft]

Ο μοχλοβραχίονας που σε συνδιασμό με αυτή τη δύναμη μας δίνει την εκτρέπουσα ροπή, είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους του πλοίου και του κέντρου πλευρικής αντίστασης των υφάλων του πλοίου (μέσο του βυθίσματος). Ο μοχλοβραχίονας αυτός είναι ανάλογος του συνημιτόνου της γωνίας πλευρικής κλίσης θ. Εάν η κεντρομόλος δύναμη πολλαπλασιαστεί με τον μοχλοβραχίονα και διαιρεθεί με το εκτόπισμα, παίρνουμε την παρακάτω έκφραση για τον βραχίονα εγκάρσιας κλίσης.

$$H.A = \frac{v^2 \cdot a \cdot \cos \theta}{g \cdot R}$$

,όπου

a = απόσταση μεταξύ του KG του πλοίου και του κέντρου πλευρικής αντίστασης

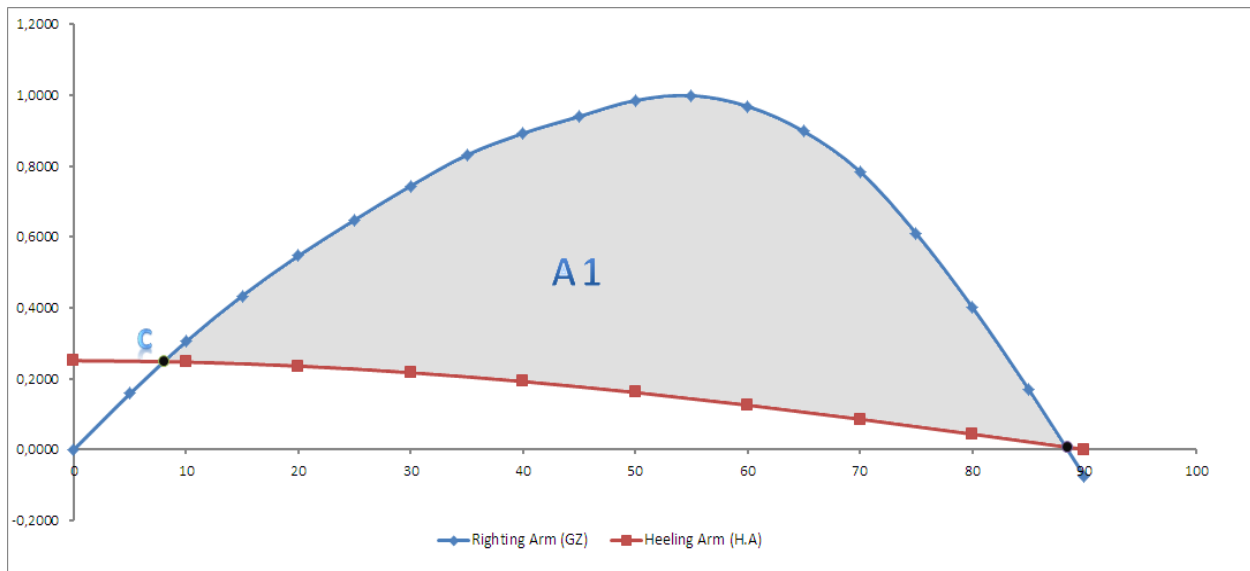
θ = γωνία εγκάρσιας κλίσης

Για πρακτικούς λόγους η ακτίνα R μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το μισό της διαμέτρου στροφής (tactical diameter)

2. Κριτήρια για επαρκή ευστάθεια

Τα κριτήρια για επαρκή ευστάθεια σε στροφή υπό μέγιστη ταχύτητα βασίζονται και αυτά στο διάγραμμα που προκύπτει με την υπέρθεση των βραχιόνων εγκάρσιας κλίσης και επαναφοράς. Έτσι πρέπει να ικανοποιούνται τα ακόλουθα :

- Η γωνία σταθερής εγκάρσιας κλίσης, όπως ορίζεται από την τεταγμένη του σημείου C δεν πρέπει να ξεπερνά τις 15° .
- Ο βραχίονας εγκάρσιας κλίσης (Heeling Arm) στο σημείο τομής του βραχίονα εγκάρσιας κλίσης και του βραχίονα επαναφοράς (Righting Arm), δηλαδή η τεταγμένη του σημείου C δεν πρέπει να ξεπερνά τα 6/10 της μέγιστης ροπής επαναφοράς.
- Το απόθεμα δυναμικής ευστάθειας (διαγραμματισμένη περιοχή) δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα 4/10 της συνολικής επιφάνειας κάτω από την καμπύλη του βραχίονα επαναφοράς.



Σχήμα 15. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής

Ακολουθεί έλεγχος στις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης

FULL LOADS CONDITION

1. Ο μοχλοβραχίονας a υπολογίζεται $a = KG - T/2$

Για την Full Loads Condition έχουμε $KG = 6,169 \text{ m}$

Άρα : $a = 6,169 - 4,1/2 = 4,119 \text{ m}$

Από AVEVA έχουμε ότι για την Full Loads Condition: $\text{Steady Turning Diameter}/L = 3,37$

Άρα : $R = (\text{Steady Turning Diameter}/L) \cdot L/2 = 168,5 \text{ m}$

Να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια περιστροφής του πηδαλίου για την εκτέλεση του κύκλου στροφής δεν διατηρεί τη μέγιστη ταχύτητά του. Από σχετικά διαγράμματα του πατρικού φαίνεται πως, όταν το πηδάλιο είναι στη μέγιστη γωνία εκτροπής, τις 35° , η ταχύτητα του πλοίου είναι κατά 40% μειωμένη.

Άρα $v = 0,6 \cdot V_s$ kn . Συνεπώς :

$$H.A = \frac{v^2 \cdot a \cdot \cos \theta}{g \cdot R} = \frac{(0,6 \cdot 54,0099)^2 \text{ [ft / s]}^2 \cdot 13,51378 \text{ [ft]} \cdot \cos \theta}{32,174 \text{ [ft / s}^2\text{]} \cdot (552,8215) \text{ [ft]}} = 0,797877 \cdot \cos \theta \text{ ft}$$

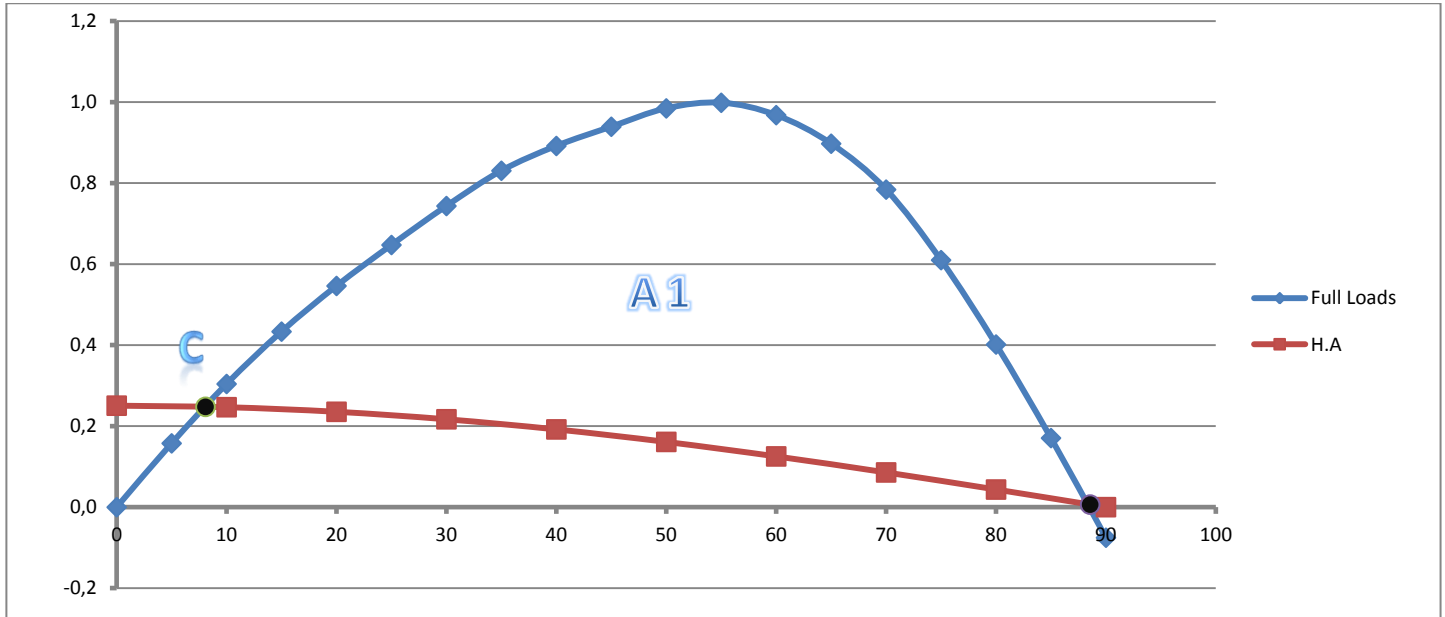
Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

Φ (grad)	Φ (rad)	$\cos \Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
0	0,0000	1,0000	0,7979	0,2432
10	0,1745	0,9848	0,7858	0,2395
20	0,3491	0,9397	0,7498	0,2285
30	0,5236	0,8660	0,6910	0,2106
40	0,6981	0,7660	0,6112	0,1863
50	0,8727	0,6428	0,5129	0,1563
60	1,0472	0,5000	0,3989	0,1216
70	1,2217	0,3420	0,2729	0,0832
80	1,3963	0,1736	0,1385	0,0422
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 30. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm. Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition την έχουμε, όπως έχουμε πει, από το AVEVA. Έτσι παίρνουμε το ζητούμενο σημείο τομής :

Intersection Point C	
θ	z
8,07968	0,24767



Σχήμα 16. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads Condition

2. Τα δύο εμβαδά $A_1, A_{1\text{total}}$ που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
Απο Autocad		Angle of steady heel, Point C < 15 deg	8,08		OK
A1	43,081	H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ	
A1 total	56,410		0,248	0,599	OK
		A1 > 0.4 A1 total	A1	0.4 A1 total	
			43,081	22,564	OK

MINOP CONDITION

1. Ο μογλοβραχίονας a υπολογίζεται $a = KG - T/2$

Για την MINOP Condition έχουμε $KG = 6,432 \text{ m}$

Άρα : $a = 6,432 - 4,1/2 = 4,382 \text{ m}$

Από AVEVA έχουμε ότι για την MINOP Condition: $\text{Steady Turning Diameter}/L = 3,4$

Άρα : $R = (\text{Steady Turning Diameter}/L) \cdot L/2 = 170 \text{ m}$

Να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια περιστροφής του πηδαλίου για την εκτέλεση του κύκλου στροφής δεν διατηρεί τη μέγιστη ταχύτητά του. Από σχετικά διαγράμματα του πατρικού φαίνεται πως, όταν το πηδάλιο είναι στη μέγιστη γωνία εκτροπής, τις 35° , η ταχύτητα του πλοίου είναι κατά 40% μειωμένη. Άρα $v = 0,6 \cdot V_s \text{ kn}$
Συνεπώς :

$$H.A = \frac{v^2 \cdot a \cdot \cos \theta}{g \cdot R} = \frac{(0,6 \cdot 54,0099)^2 [\text{ft} / \text{s}]^2 \cdot 14,37664 [\text{ft}] \cdot \cos \theta}{32,174[\text{ft} / \text{s}^2] \cdot (557,7428) [\text{ft}]} = 0,841332 \cdot \cos \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

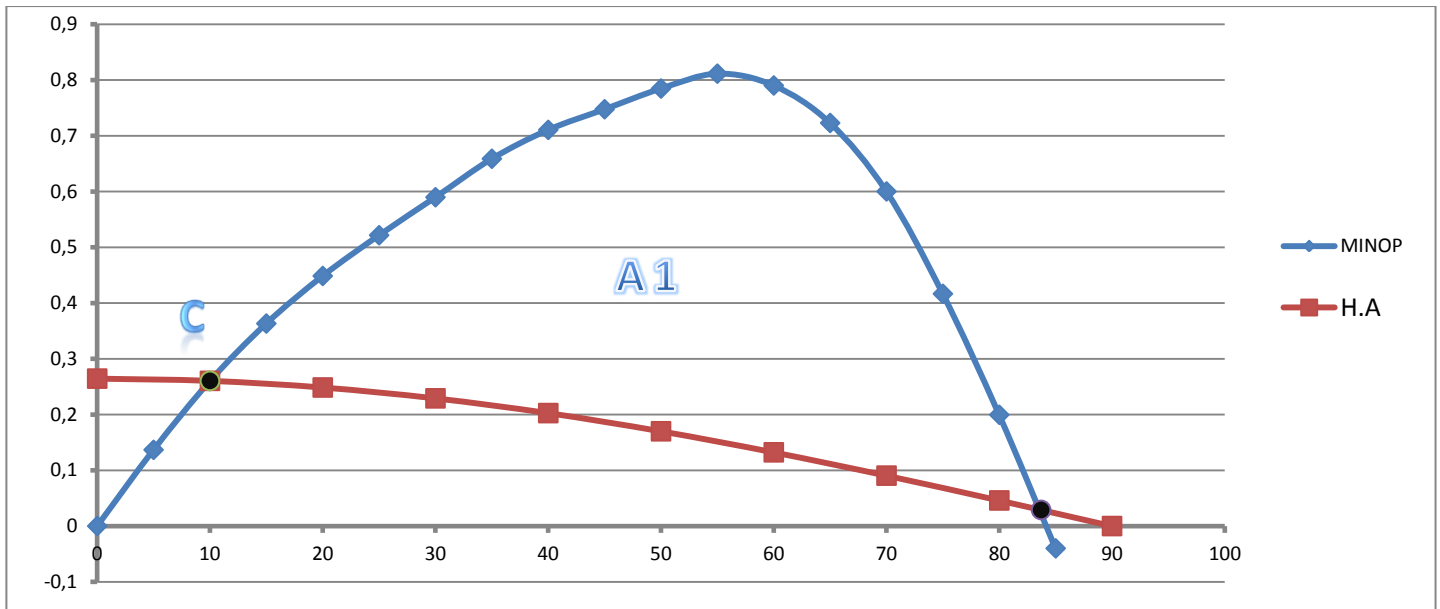
Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
0	0,0000	1,0000	0,8413	0,2564
10	0,1745	0,9848	0,8286	0,2525
20	0,3491	0,9397	0,7906	0,2410
30	0,5236	0,8660	0,7286	0,2221
40	0,6981	0,7660	0,6445	0,1964
50	0,8727	0,6428	0,5408	0,1648
60	1,0472	0,5000	0,4207	0,1282
70	1,2217	0,3420	0,2878	0,0877
80	1,3963	0,1736	0,1461	0,0445
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 31. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την MINOP Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition την έχουμε, όπως έχουμε πει, από το AVEVA. Έτσι παίρνουμε το ζητούμενο σημείο τομής:

Intersection Point C	
θ	z
10	0,26044



Σχήμα 17. . Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την MINOP Condition

2. Τα δύο εμβαδά $A_1, A_{1\text{ total}}$ που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ		
		Angle of steady heel, Point C < 15 deg	10,00	OK
A1	29,974	H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ
A1 total	45,408		0,260	0,487
		A1 > 0.4 A1 total	A1	0.4 A1 total
			29,974	18,163
				OK

FULL LOADS WITHOUT MARGIN CONDITION

1. Ο μοχλοβραχίονας a υπολογίζεται $a = KG - T/2$

Για την FULL LOADS WITHOUT MARGIN Condition έχουμε $KG = 5,625$ m

Άρα : $a = 5,625 - 4,1/2 = 3,575$ m

Από AVEVA έχουμε ότι για την FULL LOADS WITHOUT MARGIN Condition: Steady Turning Diameter/L = 3,4

Άρα : $R = (\text{Steady Turning Diameter}/L) \cdot L/2 = 170$ m

Να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια περιστροφής του πηδαλίου για την εκτέλεση του κύκλου στροφής δεν διατηρεί τη μέγιστη ταχύτητά του. Από σχετικά διαγράμματα του πατρικού φαίνεται πως, όταν το πηδάλιο είναι στη μέγιστη γωνία εκτροπής, τις 35° , η ταχύτητα του πλοίου είναι κατά 40% μειωμένη. Άρα $v = 0,6 \cdot V_s$ kn
Συνεπώς :

$$H.A = \frac{v^2 \cdot a \cdot \cos \theta}{g \cdot R} = \frac{(0,6 \cdot 54,0099)^2 [\text{ft} / \text{s}]^2 \cdot 11,729 [\text{ft}] \cdot \cos \theta}{32,174 [\text{ft} / \text{s}^2] \cdot (557,7428) [\text{ft}]} = 0,686391 \cdot \cos \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

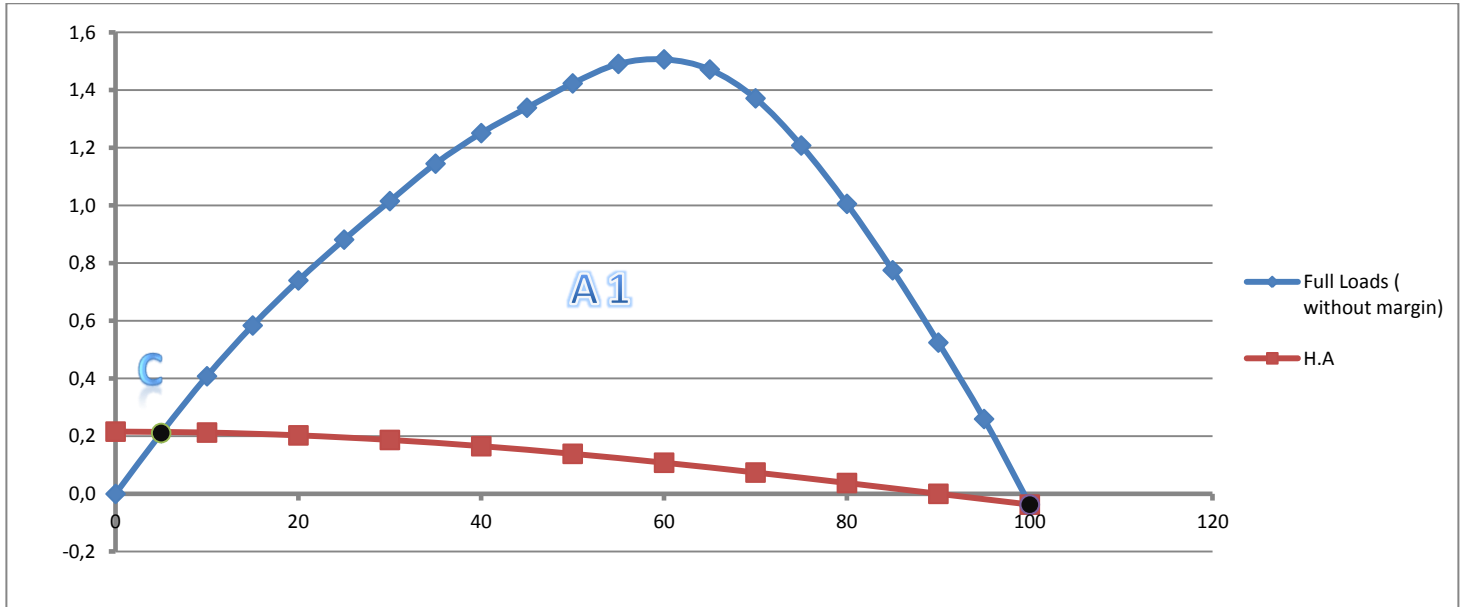
Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
0	0,0000	1,0000	0,6864	0,2092
10	0,1745	0,9848	0,6760	0,2060
20	0,3491	0,9397	0,6450	0,1966
30	0,5236	0,8660	0,5944	0,1812
40	0,6981	0,7660	0,5258	0,1603
50	0,8727	0,6428	0,4412	0,1345
60	1,0472	0,5000	0,3432	0,1046
70	1,2217	0,3420	0,2348	0,0716
80	1,3963	0,1736	0,1192	0,0363
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000
100	1,7453	-0,1736	-0,1192	-0,0363

Πίνακας 32. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads (Without margin) Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition την έχουμε, όπως έχουμε πει, από το AVEVA. Έτσι παίρνουμε το ζητούμενο σημείο τομής :

Intersection Point C	
θ	z
5	0,2105



Σχήμα 18. . Μοχλοβραχίονας επαφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την Full Loads (without margin) Condition

2. Τα δύο εμβαδά $A_1, A_{1\text{ total}}$ που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

A1	79,826
A1 total	92,956

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
Angle of steady heel, Point C < 15 deg	5,00		OK
H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ	
	0,211	0,904	OK
A1 > 0.4 A1 total	A1	0.4A1 total	
	79,826	37,182	OK

MINOP WITHOUT MARGIN CONDITION

1. Ο μοχλοβραχίονας a υπολογίζεται $a = KG - T/2$

Για την MINOP WITHOUT MARGIN Condition έχουμε $KG = 5,858 \text{ m}$

Άρα : $a = 5,858 - 4,1/2 = 3,808 \text{ m}$

Από AVEVA έχουμε ότι για την MINOP WITHOUT MARGIN Condition: Steady Turning Diameter/L = 3,43

Άρα : $R = (\text{Steady Turning Diameter}/L) \cdot L/2 = 171,5 \text{ m}$

Να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια περιστροφής του πηδαλίου για την εκτέλεση του κύκλου στροφής δεν διατηρεί τη μέγιστη ταχύτητά του. Από σχετικά διαγράμματα του πατρικού φαίνεται πως, όταν το πηδάλιο είναι στη μέγιστη γωνία εκτροπής, τις 35° , η ταχύτητα του πλοίου είναι κατά 40% μειωμένη. Άρα $v = 0,6 \cdot V_s \text{ kn}$
Συνεπώς :

$$H.A = \frac{v^2 \cdot a \cdot \cos \theta}{g \cdot R} = \frac{(0,6 \cdot 54,0099)^2 [\text{ft} / \text{s}]^2 \cdot 12,49344 [\text{ft}] \cdot \cos \theta}{32,174 [\text{ft} / \text{s}^2] \cdot (562,664) [\text{ft}]} = 0,724731 \cdot \cos \theta \text{ ft}$$

Έτσι κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα :

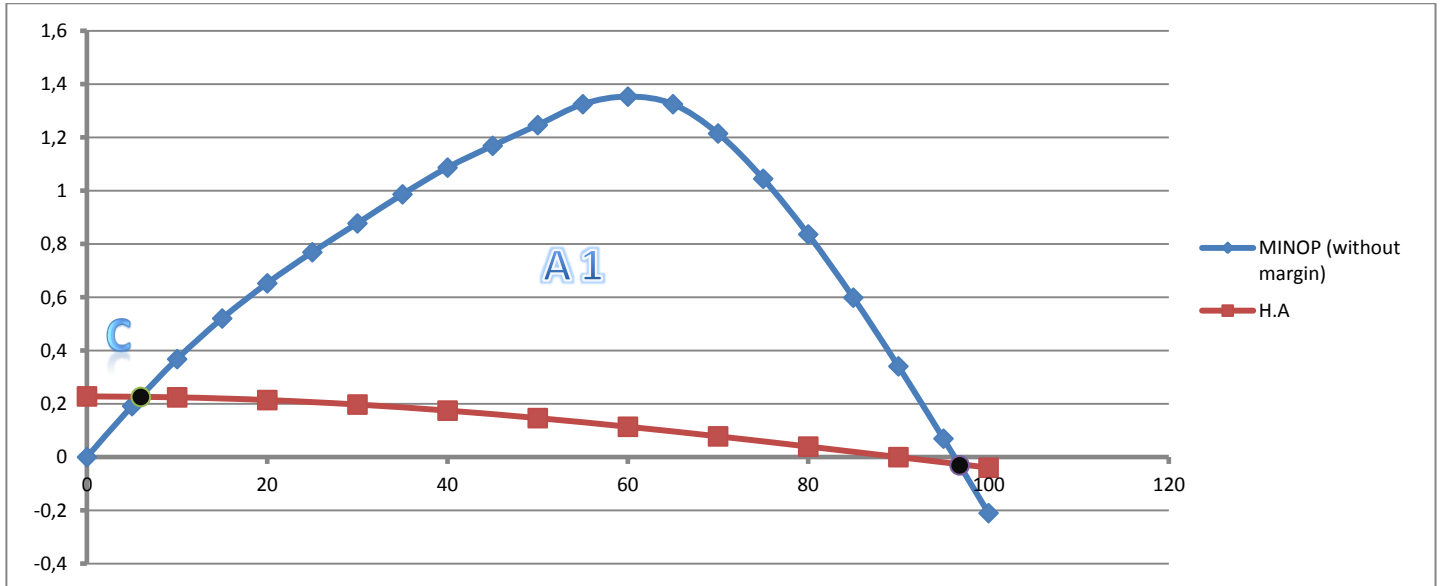
Φ (grad)	Φ (rad)	$\text{COS}\Phi$	H.A (ft)	H.A (m)
0	0,0000	1,0000	0,7247	0,2209
10	0,1745	0,9848	0,7137	0,2175
20	0,3491	0,9397	0,6810	0,2076
30	0,5236	0,8660	0,6276	0,1913
40	0,6981	0,7660	0,5552	0,1692
50	0,8727	0,6428	0,4658	0,1420
60	1,0472	0,5000	0,3624	0,1104
70	1,2217	0,3420	0,2479	0,0756
80	1,3963	0,1736	0,1258	0,0384
90	1,5708	0,0000	0,0000	0,0000
100	1,7453	-0,1736	-0,1258	-0,0384

Πίνακας 33. Εξωτερική ροπή εκτροπής λόγω κύκλου στροφής για την MINOP (without margin) Condition

Τώρα γνωρίζουμε την καμπύλη Heeling Arm.

Την καμπύλη GZ για την Full Loads Condition την έχουμε, όπως έχουμε πει, από το AVEVA. Έτσι παίρνουμε το ζητούμενο σημείο τομής:

Intersection Point C	
θ	z
5,9723	0,22596



Σχήμα 19. . Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω κύκλου στροφής για την MINOP (without margin) Condition

2. Τα δύο εμβαδά $A_1, A_{1\text{total}}$ που προκύπτουν τα υπολογίζουμε στο Autocad και κάνουμε τον απαραίτητο έλεγχο των κριτηρίων σύμφωνα με τον κανονισμό.

A1	65,824
A1 total	79,748

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
Angle of steady heel, Point C < 15 deg	5,97		OK
H intersect. point C < 0.6 MAX GZ	H intersect. point A	0.6 MAX GZ	
	0,226	0,812	OK
$A1 > 0.4 A1\text{ total}$	A1	0.4A1 total	
	65,824	31,899	OK

Βιβλιογραφία

- [5] I. L. G. & R. G. Tucker, «Current Status of Stability and Buoyancy Criteria used by the U.S Navy for Advanced Marine Vehicles,» October, 1975.
- [6] S. W. Surko, «An assesment of Current Warship Damaged Stability Criteria,» May, 1994.
- [7] J. M. Riola και R. Perez, «Warship Damage Stability Criteria Case Study,» August, 2009.
- [16] U. Capt. A.J Brown και D. Lt. F. Deybach, «Towards a Rational Intact Stability Criteria For Naval Ships,» January 1998.
- [17] Α. Δ. Παπανικολάου και Ε. Κ. Μπουλουγούρης, Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [38] USN, «DDS 079-1-b(1),b(2)».
- [40] F. Deybach, «Intact Stability Criteria for Naval Ships,» February, 1997.
- [46] S. Skouras, Stability Calculations for a Bulcarrier, Athens, 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

«Κατακλυσμούς ποτέ δε λογαριάσαμε
μπήκαμε μες στα όλα και περάσαμε
κι έχουμε στο κατάρτι μας βιγλάτορα
παντοτινό τον Ήλιο τον Ηλιάτορα»

Οδυσσέας Ελύτης,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τα κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη του Αμερικανικού Ναυτικού συγκεντρώθηκαν στο DDS 79-1 πριν από 4 περίπου δεκαετίες και στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία που αποκομίσαμε από καταστροφές σε μάχες κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Η είσοδος νερού εντός του κύτους του πλοίου, ως αποτέλεσμα υποβρύχιας βλάβης, μπορεί να προκαλέσει απώλεια της εγκάρσιας ευστάθειας. Αυτό μπορεί να προκληθεί από κάποιο εχθρικό όπλο ή πρόσκρουση. Η απώλεια πλευστότητας και η αλλαγή της διαγωγής μπορεί να οδηγήσει σε βύθιση του πλοίου, ενώ η απώλεια εγκάρσιας ευστάθειας μπορεί να οδηγήσει σε αντροπή (capsizing). Η εσωτερική στεγανή υποδιαίρεση είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο προστασίας ενάντια στη βύθιση ή την ανατροπή του πλοίου λόγω κατάκλυσης. Εγκάρσιες ή/και διαμήκεις στεγανές φρακτές καθώς και η οριζόντια υποδιαίρεση είναι σε θέση να ανακόψουν την έκταση της κατάκλυση από υποθαλάσσιο ρήγμα, όταν αυτό προκληθεί. Έτσι και μείς στην παρούσα μελέτη θέλουμε να ελέγξουμε αν η υπάρχουσα δομή εγκαρσίων φρακτών και καταστρωμάτων είναι σε θέση να ανακόψει αποτελεσματικά το φαινόμενο της κατάκλυσης για την έκταση της βλάβης που ορίζει ο κανονισμός.

Η ευστάθεια πλοίου μετά από βλάβη βασίζεται στην ευστάθεια άθικτου πλοίου. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της «Χαμένης Άντωσης». Η υπολογιστική μέθοδος είναι πραγματική, δηλαδή το πρόγραμμα υπολογίζει την φυσική συμπεριφορά του πλοίου σε κατάσταση βλάβης. Αυτό σημαίνει, επίσης, ότι σε μία περίπτωση βλάβης, όπου υποτίθεται έχουν καταστραφεί μία ή περισσότερες δεξαμενές και έχουν χάσει το περιεχόμενό τους, το οποίο θα αντικατασταθεί από θαλασσινό νερό, το αντίστοιχο βάρος δεν θα λαμβάνεται πλέον υπόψη στο εκτόπισμα του πλοίου. Συνεπώς το εκτόπισμα που θα αντιστοιχεί στην τελική θέση ισορροπίας στην εκάστοτε περίπτωση θα είναι μικρότερο από το αρχικό εκτόπισμα ακριβώς όση η ποσότητα του υγρού βάρους που χάθηκε στην θάλασσα. Ο υπολογισμός της ευστάθειας του πλοίου μετά από βλάβη βασίζεται τον ορισμό της MARGIN LINE που ταυτίζεται με το κατάστρωμα μέχρι το οποίο εκτείνονται οι υδατοστεγείς φρακτές (BULKHEAD DECK) και με το μέγιστο συνεχές κατάστρωμα εξάλων (FREEBOARD DECK) που αντιστοιχούν στο 1st DECK στη συγκεκριμένη σχεδίαση. Τα κριτήρια τα οποία εφαρμόστηκαν για την ευστάθεια σε βεβλαμμένη κατάσταση (damaged stability) προήρθαν από το paper ‘Current status of stability and buoyancy criteria used by the U.S Navy for advanced marine vehicles’ [5]. Ο έλεγχος έγινε για καταπόνηση μόνο από άνεμο (wind heeling arms). Θέλουμε δηλαδή να ελέγξουμε αν μετά τη βλάβη το πλοίο μας είναι σε θέση να καταπλεύσει ασφαλώς σε κοντινό λιμάνι για επισκευή. Ακολουθεί η περιγραφή των κριτηρίων που πρέπει να πληρούνται.

5.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΝΕΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΕΙΣ

Διαστάσεις βλάβης

Νέες σχεδιάσεις χωρίς πλευρικά συστήματα προστασίας πρέπει να πληρούν τα παρακάτω κριτήρια για επαρκή υποδιαίρεση, ώστε να ανταπεξέρχονται σε υποθαλάσσιο πλήγμα.

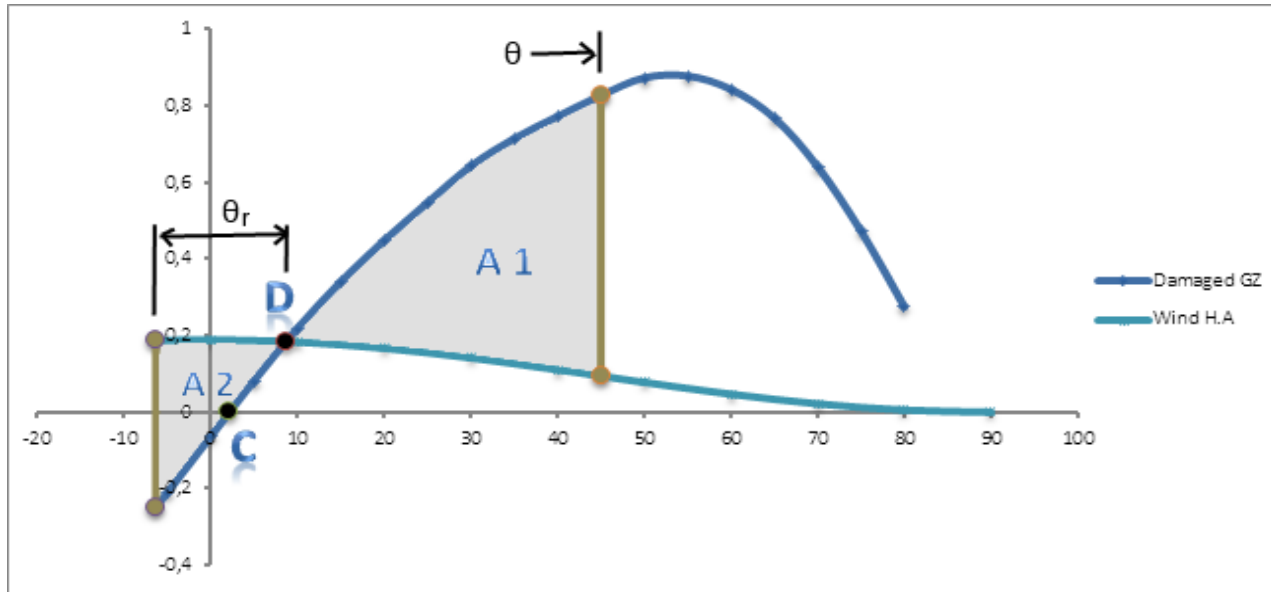
- 1) Πλοία με μήκος μικρότερο από 100 ft πρέπει να είναι σε θέση να επιβιώνουν μετά από κατάκλυση τουλάχιστον ενός κύριου διαμερίσματος.
- 2) Πλοία με μήκος μεταξύ 100 και 300 ft πρέπει να είναι σε θέση να επιβιώνουν μετά από κατάκλυση τουλάχιστον δύο κύριων σε σειρά διαμερισμάτων.
- 3) Πλοία με μήκος μεγαλύτερο από 300 ft διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες : Κατηγορία I – Πολεμικά πλοία και μεταγωγικά πλοία, όπως πλωτά νοσοκομεία και πλοία μεταφοράς προσωπικού και Κατηγορία II – Όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων.
Κατηγορία I : Πλοία μεγαλύτερα από 300 ft πρέπει να ανταπεξέρχονται στα ακόλουθα : α) ταχεία κατάκλυση από ρήγμα του κύτους, ισό με 15% του μήκους του πλοίου, σε οποιοδήποτε σημείο πλώρα ή πρύμα κατά μήκος του πλοίου, ή β) εάν είναι εφικτό ταχεία κατάκλυση από ρήγμα που θα προκαλέσουν εχθρικά πυρά, σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του πλοίου, εάν αυτό το ρήγμα ξεπερνά το 15% του L_{BP} .
Κατηγορία II : Πλοία μεγαλύτερα από 300 ft πρέπει να ανταπεξέρχονται στα ακόλουθα : α) ταχεία κατάκλιση από ρήγμα του κύτους, ισό με 12,5% του μήκους του πλοίου, σε οποιοδήποτε σημείο πλώρα ή πρύμα κατά μήκος του πλοίου.

Η έκταση της βλάβης καθ' ύψος λογίζεται έως το κύριο συνεχές κατάστρωμα (main deck), ενώ κατά το εγκάρσιο (βάθος διείσδυσης) λογίζεται μέχρι εκείνο το βάθος το οποίο προκαλεί τη χειρότερη κατάσταση βλάβης. [6]

Κριτήρια για επαρκή ευστάθεια

Εν γένει δύο είναι οι βασικοί παράγοντες με τους οποίους αξιολογούμε την επαρκή ευστάθεια μετά από βλάβη.

- 1) Γωνία εγκάρσιας κλίσης μετά τη βλάβη : Αναφερόμενοι στο σχήμα 20 , η ευστάθεια είναι επαρκής ,εάν η γωνία (σημείο C) δεν ξεπερνά τις 15° .
- 2) Ροπή λόγω ανέμου : Η διαθέσιμη δυναμική ευστάθεια που απορροφά την ενέργεια που μεταδίδεται στο πλοίο από τον άνεμο είναι ένα μέσο αξιολόγησης της ευστάθειας μετά από βλάβη. Αναφερόμενοι ξανά στο σχήμα, η ευστάθεια θεωρείται ικανοποιητική, εάν η διαθέσιμη δυναμική ευστάθεια πέραν του σημείου D και έως τη γωνία θ (εμβαστό A_1) δεν είναι μικρότερη από $1,4 A_2$, όπου το εμβαστό A_2 εκτείνεται θ_r αριστερά του σημείου C. Η γωνία θ ισούται με 45° , ή με τη γωνία στην οποία συμβαίνει υπερχειλίση λόγω ανοίγματος (downflooding point). Ενώ θ_r είναι η γωνία διατοιχισμού που χρησιμοποιήθηκε και στην ευστάθεια άθικτου πλοίου, ίση με 25° .



Σχήμα 20. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου σε βεβλαμένη κατάσταση και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Για την κατάστρωση των υπολογισμών ελέγχου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία.

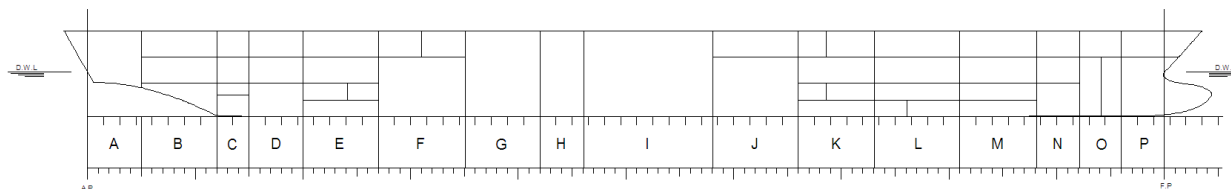
- Σχεδίαση όλων των υδατοστεγών χώρων κάτωθι του main deck. Αυτό γίνεται διότι ο κάθε χώρος σύμφωνα με τη χρήση του έχει και διαφορετική διαχωρητότητα (permability), άρα θα κατακλυστεί από διαφορετικό όγκο νερού. Οι διαχωρητότητες ορίζονται από σχετικό πίνακα που βρέθηκε στη δημοσίευση ‘Warship damage stability criteria case study’ J.M Riola and R. Perez. [7]

Permeability	Watertight void	95%
	Accommodation	95%
	Machinery	85% - 95%
	Stores	60% - 95%

- Δημιουργία βασικών περιπτώσεων βλάβης (damage cases) D_x με κριτήριο το μήκος βλάβης, το οποίο στην περίπτωση μας επιλέγεται ίσο με 15% L_{BP} δηλαδή 15 m (αφού $L_{BP} = 328,084 \text{ ft} > 300 \text{ ft}$). Οι περισσότερες από τις εγκάρσιες φρακτές (με εξαίρεση αυτές του μηχανοστασίου) έχουν τοποθετηθεί έτσι ώστε να έχουμε συνολικό μήκος βεβλαμένων κατά σειρά διαμερισμάτων, ανά περίπτωση, ακριβώς 15 m. Αυτό γίνεται προκειμένου να μην έχουμε περιττό μήκος ελέγχου βλάβης, παραπάνω απ αυτό που απαιτεί ο κανονισμός, για όσες περισσότερες περιπτώσεις γίνεται και βέβαια η πληροφορία αυτή αντλήθηκε από τη διάταξη φρακτών του πατρικού μας πλοίου, η οποία παρούσαζε την ίδια διαρρύθμιση.

- Δημιουργία υποπεριπτώσεων βλάβης $Dx.y$ για κάθε μια ανωτέρω περίπτωση, με κριτήριο το βάθος διείσδυσης, μιας και στα κριτήρια δεν ορίζεται το βάθος της, παρά μόνο ότι επιλέγεται η χειρότερη περίπτωση. Έτσι προκειμένου να διαπιστώσουμε ποιά είναι η χειρότερη περίπτωση, δημιουργούμε τρεις υποπεριπτώσεις : μία με βάθος διείσδυσης το πρώτο compartment από το πλάι, μία με βάθος ως τη centerline και μία με βάθος από το ένα άκρο ως το άλλο (shell to shell). Χειρότερη υποπερίπτωση αναδείχθηκε στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η πρώτη, καθώς το σκάφος εμφάνιζε τη μεγαλύτερη εγκάρσια κλίση.
- Κατασκευή του παραπάνω διαγράμματος για κάθε μια περίπτωση και έλεγχος των κριτηρίων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα 16 διαμερίσματα βλάβης της κορβέτας, που ορίζονται μεταξύ των εγκάρσιων στεγανών φρακτών. Οι στεγανές φρακτές υψώνονται μέχρι το κατάστρωμα στεγανών διαφραγμάτων του πλοίου.



Ακολουθως ορίζονται οι 14 περιπτώσεις βλάβης Dx του πλοίου, που προέκυψαν από τη συνδυασμένη κατάκλιση τριών ή δύο διαμερισμάτων βλάβης σε σειρά, ελέγχοντας πάντα το συνολικό μήκος βλάβης να είναι κατ' ελάχιστο 15 m, όπως απαιτεί ο κανονισμός.

DAMAGE CASE SETS				Damage length [m]
DAMAGE CASE 1	A	B	C	15
DAMAGE CASE 2	B	C	D	15
DAMAGE CASE 3	C	D	E	15
DAMAGE CASE 4	D	E	F	20
DAMAGE CASE 5	E	F		15
DAMAGE CASE 6	F	G		15
DAMAGE CASE 7	G	H	I	23
DAMAGE CASE 8	H	I		16
DAMAGE CASE 9	I	J		20
DAMAGE CASE 10	J	K		15
DAMAGE CASE 11	K	L		15
DAMAGE CASE 12	L	M		15
DAMAGE CASE 13	M	N	O	15
DAMAGE CASE 14	N	O	P	15

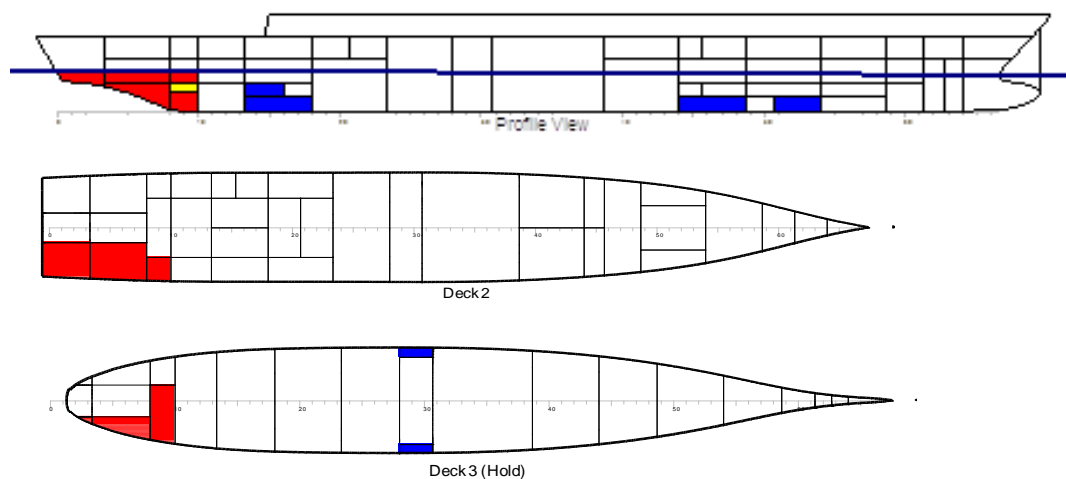
Πίνακας 34. Περιπτώσεις βλάβης και τα αντίστοιχα μήκη κατάκλισης

Η διαδικασία θα γίνει για τις δύο καταστάσεις φόρτωσης Full Loads και Minimum Operation Loads, η οποία στην άθικτη κατάσταση έχει και το μικρότερο GM και αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση. Εάν το πλοίο, συνεπώς, ανταπεξέρχεται στους ελέγχους κατάκλυσης που θα γίνουν σε αυτήν, θα μπορεί να ανταπεξέλθει και σε όλες τις υπόλοιπες. Συνολικά κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν 35 περιπτώσεις βλάβης για τη Full Loads Condition και 35 περιπτώσεις για τη MINOP Condition.

Full Loads Condition

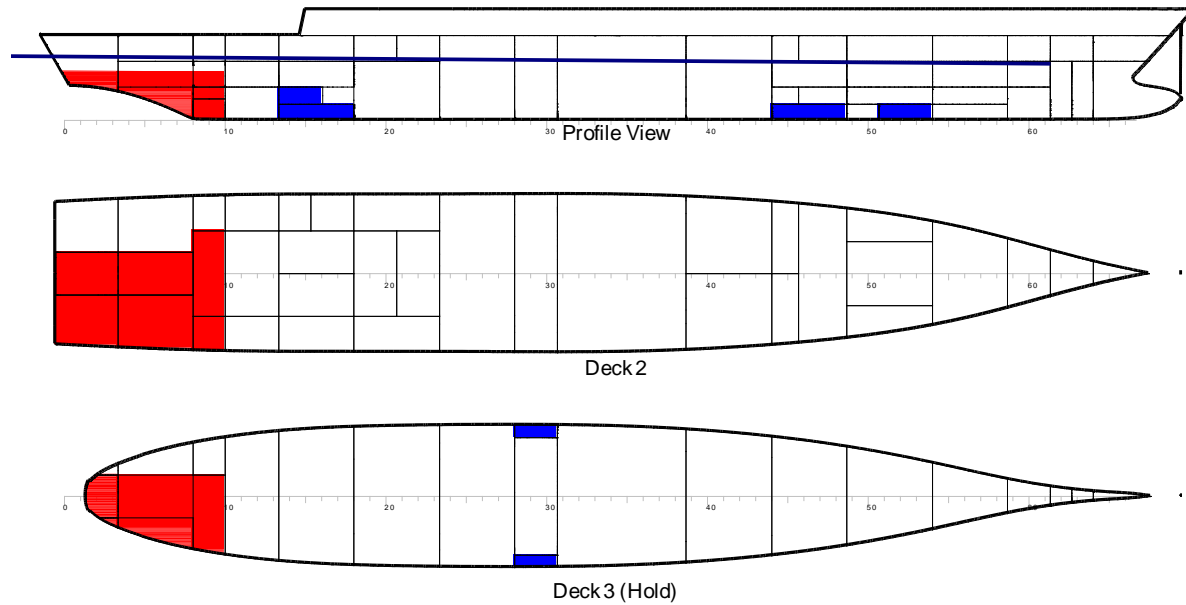
DAMAGE CASE 1

D 1.1



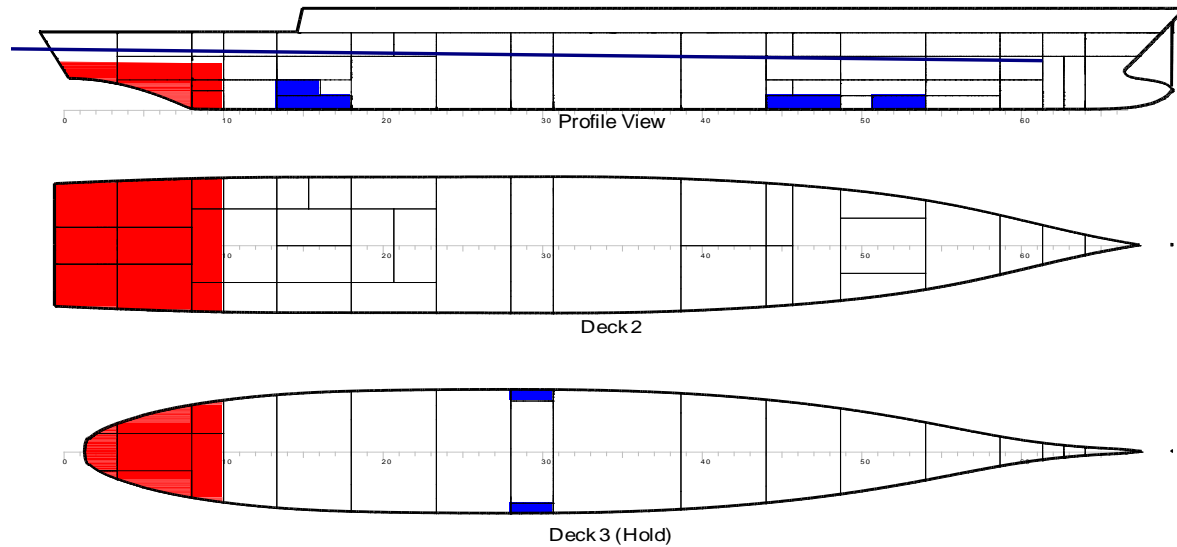
Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight	LCG	TCG	VCG
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2928.9	44.06	0.20	2.63
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
BOSN STORE	-1-3	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	31.5	1.026	-22.1	8.65	3.96	3.89
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
STEERING GEAR RM(S)	-1-3	85.0	38.1	1.026	-16.3	2.66	3.62	4.00
STRM NO2	8-10	60.0	31.8	1.026	-19.8	13.51	2.31	3.79
W.B_1	3-8	95.0	95.0	1.026	-26.6	9.45	0.00	2.58
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97
Total Damaged					-102.1	9.65	2.13	3.23
Total Buoyancy					2826.8	45.31	0.13	2.61

D 1.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2967.6	43.56	0.21	2.66
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
BOSN STORE	-1-3	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	34.7	1.026	-24.3	8.63	4.00	3.95
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FLAMMABLE LIQUIDS	3-8	0.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
STEERING GEAR RM(S)	-1-3	85.0	43.7	1.026	-18.7	2.62	3.68	4.08
STRM NO2	8-10	60.0	34.4	1.026	-21.4	13.50	2.34	3.84
VDS COMP:	-1-8	85.0	13.5	1.026	-24.2	2.66	0.04	3.80
W.B_1	3-8	95.0	95.0	1.026	-26.6	9.45	0.00	2.58
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97
Total Damaged					-140.8	8.57	1.72	3.35
Total Buoyancy					2826.8	45.30	0.14	2.62

D 1.3



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3073.1	42.33	-0.11	2.72
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
BOSN STORE	-1-3	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	35.0	1.026	-24.5	8.61	3.92	3.96
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
ENGINEER STRM:	3-8	95.0	63.3	1.026	-44.3	8.61	-4.02	4.05
FLAMMABLE LIQUIDS	3-8	0.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(P)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	-2.61	2.62
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
JP5 PUMP RM	8-10	95.0	62.5	1.026	-20.8	13.51	-4.24	3.99
LAUNDRY	3-8	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NIXIE ROOM & VDS CON	-1-3	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STEERING GEAR RM(P)	-1-3	85.0	54.0	1.026	-23.1	2.56	-3.75	4.21
STEERING GEAR RM(S)	-1-3	85.0	46.2	1.026	-19.7	2.59	3.62	4.11
STRM NO2	8-10	60.0	36.8	1.026	-22.9	13.50	2.07	3.89
UNA	8-10	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
VDS COMP	-1-8	85.0	16.5	1.026	-29.6	2.59	-0.02	3.96
W.B_1	3-8	95.0	95.0	1.026	-26.6	9.45	0.00	2.58
W.B_1(P)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	-3.56	2.97
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Damaged					-246.3	8.47	-0.56	3.63
Total Buoyancy					2826.8	45.28	-0.07	2.64

DAMAGE CASE 1							
D1.1			D1.2			D1.3	
-30	-0,7789		-30	-0,795		-30	-0,664
-25	-0,6845		-25	-0,7013		-25	-0,5729
-20	-0,5843		-20	-0,6009		-20	-0,4777
-15	-0,4734		-15	-0,4889		-15	-0,38
-10	-0,3484		-10	-0,3614		-10	-0,2731
-5	-0,2098		-5	-0,2197		-5	-0,1555
0	-0,0635		0	-0,07		0	-0,031
5	0,0823		5	0,0796		5	0,0934
10	0,2194		10	0,2207		10	0,2129
15	0,3408		15	0,3462		15	0,3256
20	0,448		20	0,4581		20	0,4297
25	0,5471		25	0,5627		25	0,5328
30	0,6426		30	0,6579		30	0,624
35	0,7146		35	0,7287		35	0,695
40	0,7722		40	0,7854		40	0,7551
45	0,8273		45	0,8392		45	0,8141
50	0,8731		50	0,881		50	0,8557
55	0,8778		55	0,8822		55	0,8571
60	0,8428		60	0,8443		60	0,8191
65	0,7681		65	0,7658		65	0,7363
70	0,6405		70	0,6355		70	0,6051
75	0,4717		75	0,465		75	0,4378
80	0,2744		80	0,2652		80	0,2425
85	0,0593		85	0,0455		85	0,0277
90	-0,1684		90	-0,1871		90	-0,1996
95	-0,4032		95	-0,4264		95	-0,4335
100	-0,6399		100	-0,6673		100	-0,6688

Πίνακας 35. Damaged GZ – φ Damage Cases 1.1 – 1.3

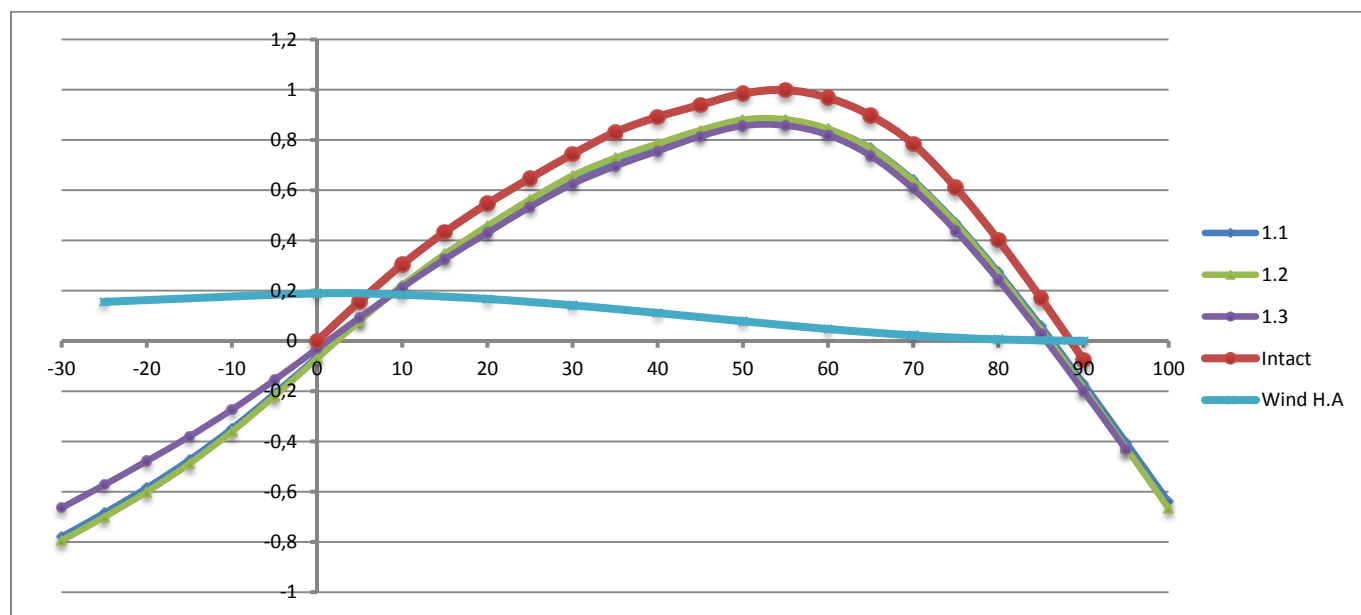
INTACT	
0	-0,0002
5	0,1575
10	0,3041
15	0,4334
20	0,5462
25	0,6473
30	0,7435
35	0,8306

Wind H.A	
-25	0,1553
0	0,189069
10	0,183368
20	0,166952
30	0,141802
40	0,11095
50	0,078119
60	0,047267

40	0,8918
45	0,9393
50	0,9846
55	0,9985
60	0,9679
65	0,8974
70	0,7841
75	0,6099
80	0,4016
85	0,1705
90	-0,0755
95	-0,3303
100	-0,5883

70	0,022117
80	0,005701
90	1,64E-20

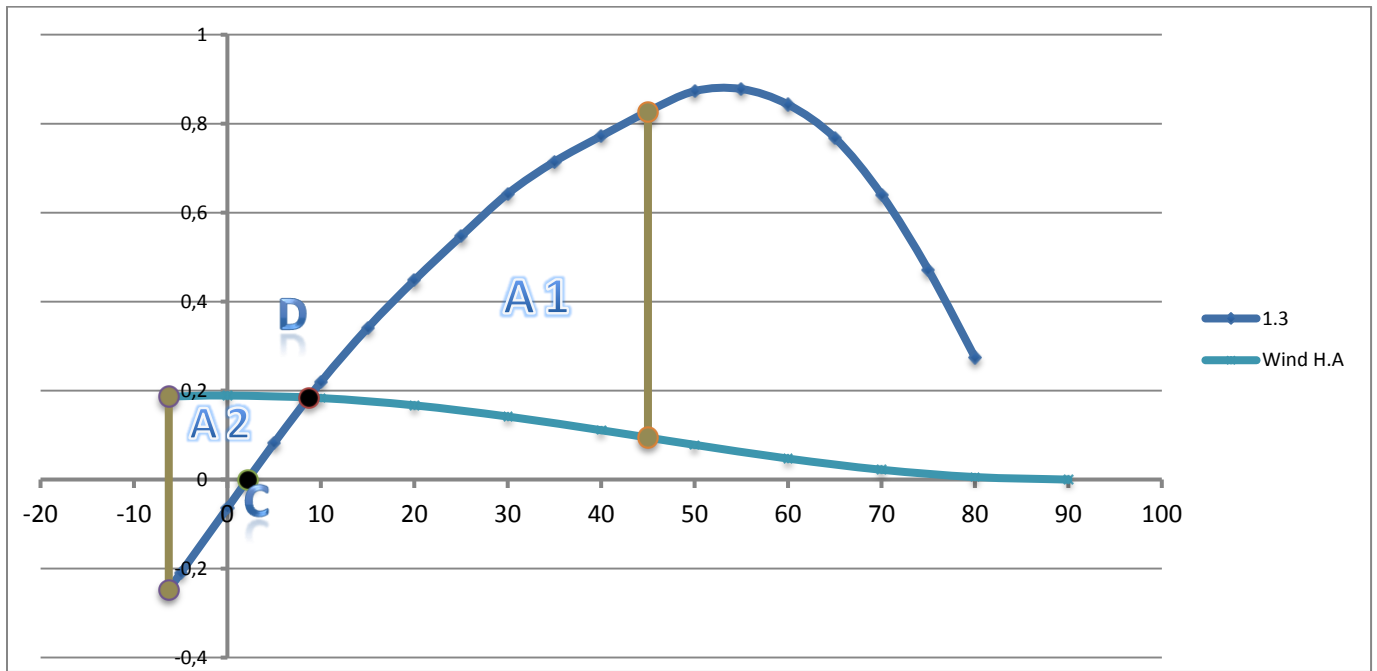
Η intact GZ – φ σχεδιάστηκε μόνο στην πρώτη περίπτωση για να δείξουμε, αυτό που γνωρίζουμε από τη θεωρία, ότι δηλαδή όλες οι damaged GZ θα βρίσκονται κάτω από αυτή και δεν θα ξανασχεδιαστεί στις επόμενες περιπτώσεις, για λόγους απλότητας του σχήματος. Ο βραχίονας Wind H.A είναι ίδιος για όλες τις περιπτώσεις και τα σημεία του στο διάγραμμα δίνονται από τον παραπάνω πίνακα. Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 21. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 1.1 – 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D1.1	D1.2	D1.3
GM	1,67	1,709	1,436

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D1.3. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



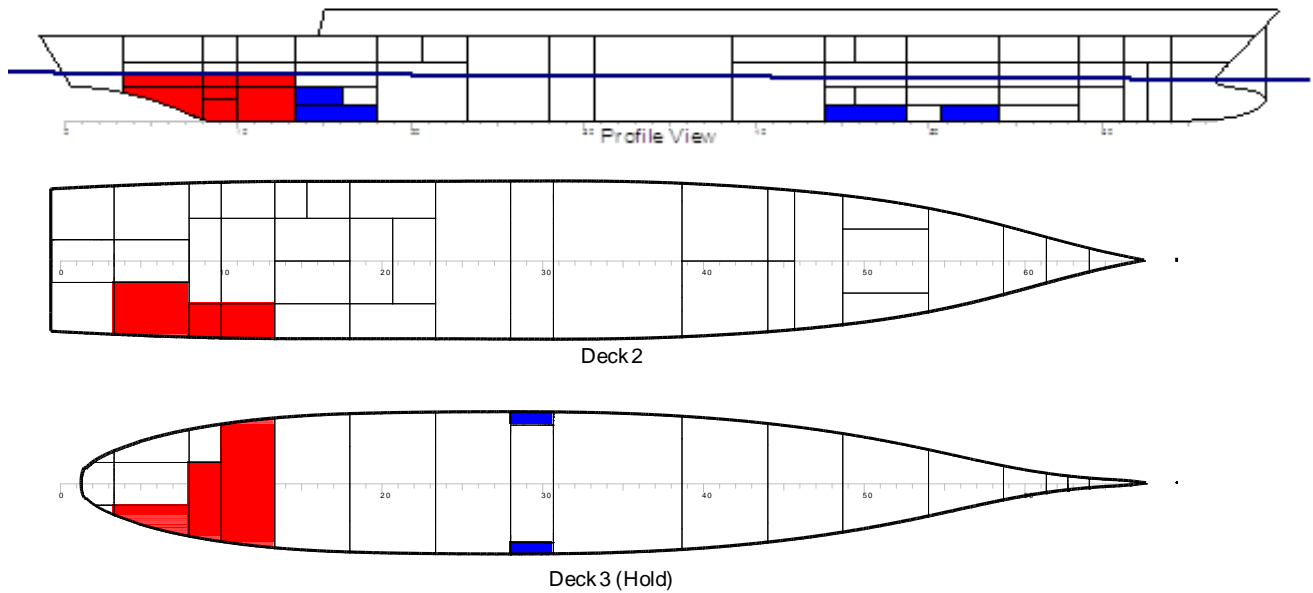
Σχήμα 22. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		8,712678	0,1841	-6,287321	-0,2474	45	0,8273
Intersection Point C		2,15	0	-6,287321	0,186801	45	0,094534
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	8,258	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,243			2,15	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				8,258	4,541	OK	

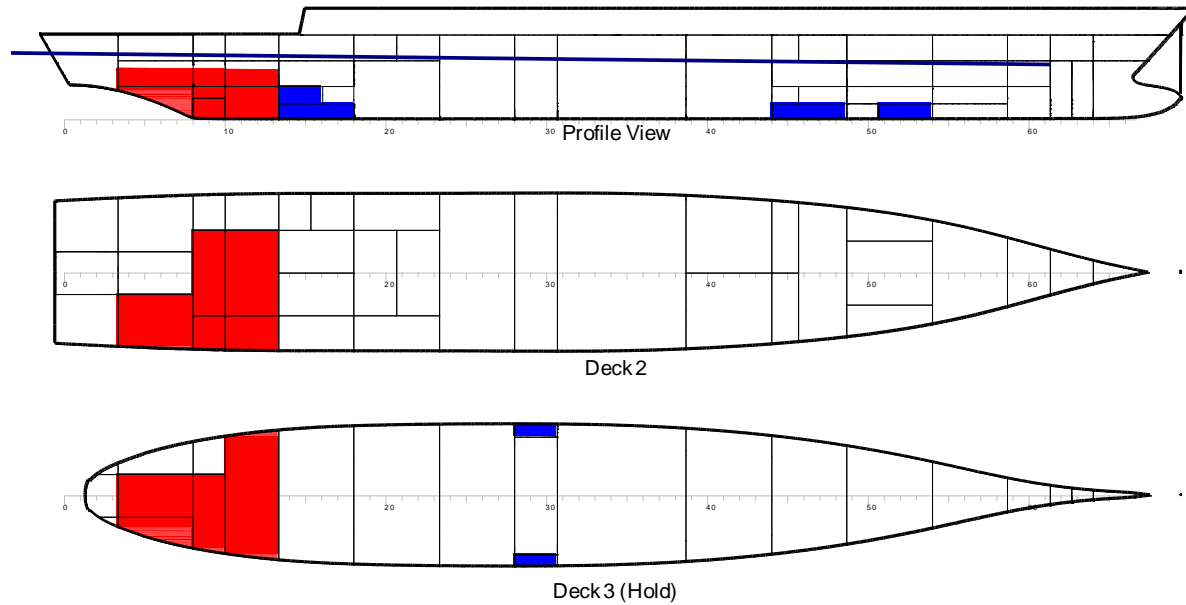
DAMAGE CASE 2

D 2.1



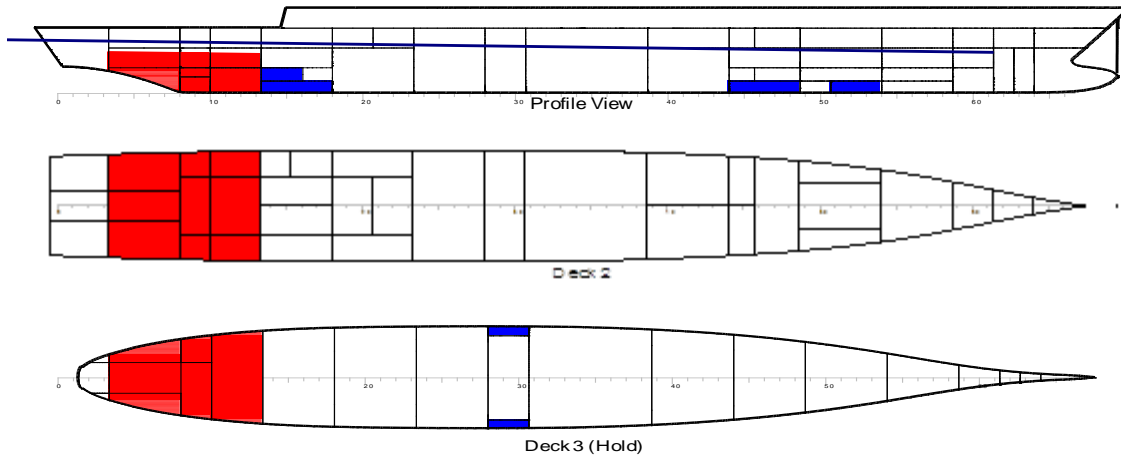
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2969.9	43.85	0.22	2.66
<i>Damaged</i>			<i>% perm</i>					
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	33.8	1.026	-23.6	8.64	3.99	3.93
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	48.3	1.026	-79.5	17.51	0.55	3.77
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
STRM NO2	8-10	60.0	33.6	1.026	-20.9	13.51	2.35	3.83
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97
Total Damaged					-143.1	15.20	1.76	3.66
Total Buoyancy					2826.8	45.30	0.14	2.61

D 2.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3101.1	42.61	0.23	2.74
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	42.1	1.026	-29.5	8.61	4.07	4.09
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	58.0	1.026	-95.5	17.50	0.49	3.89
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FLAMMABLE LIQUIDS	3-8	0.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV.	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
STRM NO2	8-10	60.0	40.5	1.026	-25.2	13.50	2.38	3.96
W.B_1	3-8	95.0	95.0	1.026	-26.6	9.45	0.00	2.58
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95
Total Damaged					-274.3	15.06	1.06	3.15
Total Buoyancy					2826.8	45.29	0.14	2.70

D 2.3



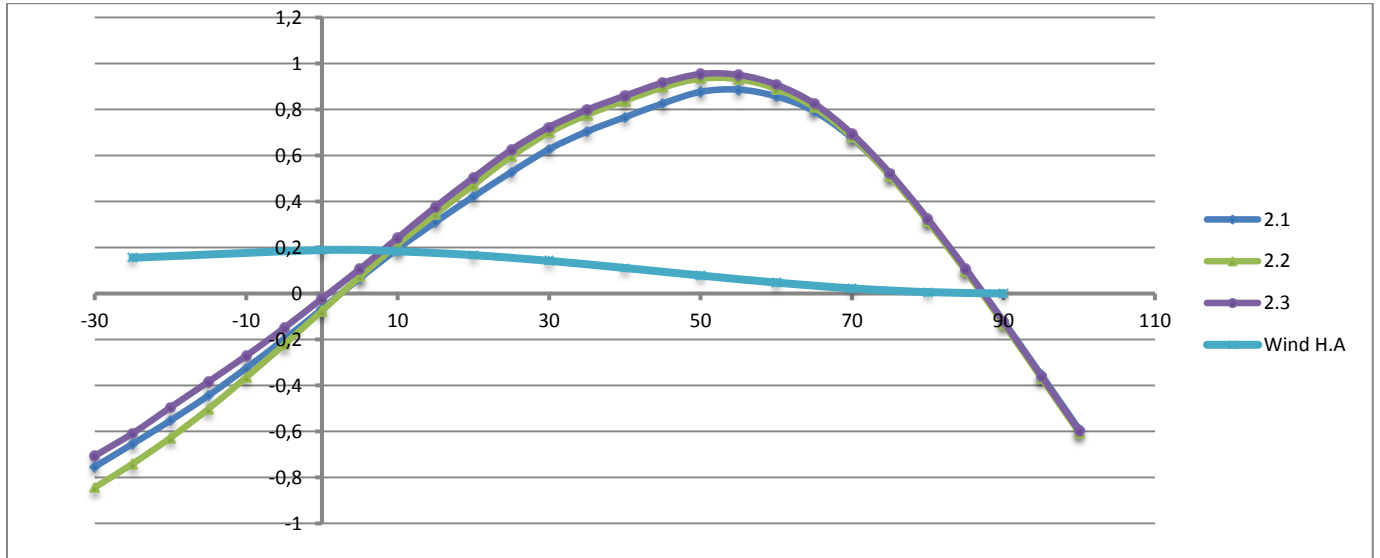
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3210.1	41.56	-0.12	2.80
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
CHEMICAL WARFARE EQP	3-8	60.0	41.0	1.026	-28.7	8.59	3.97	4.07
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	66.4	1.026	-109.3	17.50	-0.25	3.99
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
ENGINEER STRM	3-8	95.0	74.2	1.026	-52.0	8.59	-4.09	4.18
F.O_1(P): ENGINEER STRM	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	-3.99	2.62
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
FAN.ROOM.1(P)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FLAMMABLE LIQUIDS	3-8	0.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.1	3-8	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(P)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	-2.61	2.62
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
JP5 PUMP RM	8-10	95.0	72.2	1.026	-24.0	13.51	-4.28	4.11
LAUNDRY	3-8	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STRM NO2	8-10	60.0	42.1	1.026	-26.2	13.50	2.11	3.99
UNA	8-10	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_1	3-8	95.0	95.0	1.026	-26.6	9.45	0.00	2.58
W.B_1(P)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	-3.56	2.97
W.B_1(S)	3-8	95.0	95.0	1.026	-1.2	10.32	3.56	2.97

Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95
Total Damaged					-383.3	14.20	-0.45	3.38
Total Buoyancy					2826.8	45.27	-0.08	2.73

DAMAGE CASE 2							
D2.1			D2.2			D2.3	
-30	-0,7539		-30	-0,8436		-30	-0,7068
-25	-0,6543		-25	-0,7406		-25	-0,6087
-20	-0,5527		-20	-0,6275		-20	-0,4956
-15	-0,4444		-15	-0,5024		-15	-0,3845
-10	-0,3248		-10	-0,3646		-10	-0,2712
-5	-0,1998		-5	-0,2227		-5	-0,1506
0	-0,0676		0	-0,0757		0	-0,0225
5	0,066		5	0,0728		5	0,1062
10	0,1936		10	0,2144		10	0,2411
15	0,3101		15	0,3457		15	0,3764
20	0,4209		20	0,4718		20	0,5031
25	0,5274		25	0,5959		25	0,6242
30	0,6272		30	0,6997		30	0,7232
35	0,7037		35	0,7765		35	0,7984
40	0,7661		40	0,838		40	0,8592
45	0,8258		45	0,8956		45	0,9161
50	0,8762		50	0,9344		50	0,9539
55	0,8859		55	0,9315		55	0,9502
60	0,8565		60	0,8897		60	0,9076
65	0,7916		65	0,8097		65	0,8254
70	0,6746		70	0,68		70	0,6937
75	0,5125		75	0,5106		75	0,5231
80	0,3194		80	0,3129		80	0,3245
85	0,1054		85	0,0967		85	0,1074
90	-0,1209		90	-0,1323		90	-0,1227
95	-0,3548		95	-0,3682		95	-0,3597
100	-0,5911		100	-0,6061		100	-0,5986

Πίνακας 36. Damaged GZ – φ Damage Cases 2.1 – 2.3

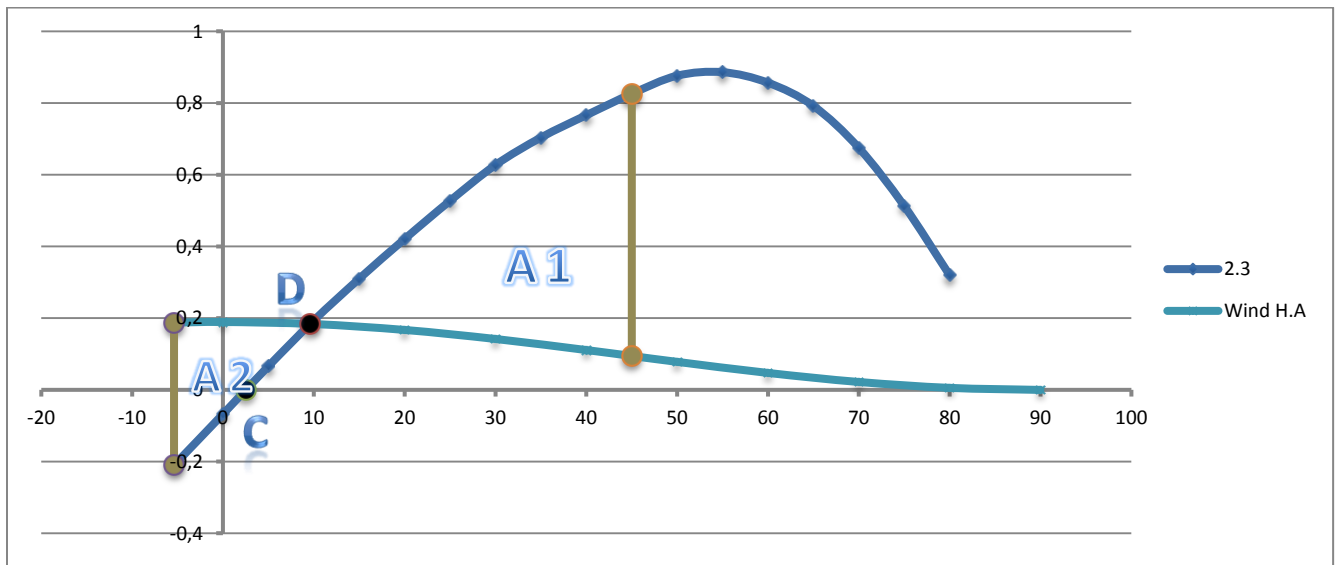
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 23. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 2.1 – 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D2.1	D2.2	D2.3
GM	1,53	1,701	1,482

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D2.3. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



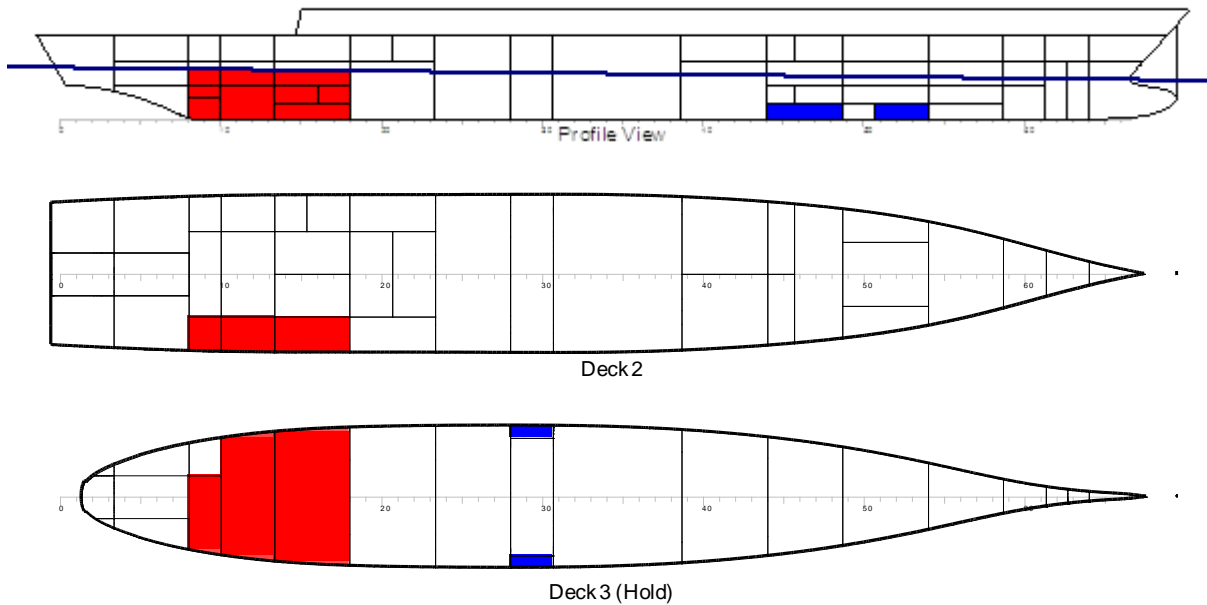
Σχήμα 24. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		9,60781	0,18359	-5,39219	-0,2096	45	0,8258
Intersection Point C		2,51	0	-5,39219	0,187399	45	0,094534
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	10,288	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,983			2,51	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				10,288	4,176	OK	

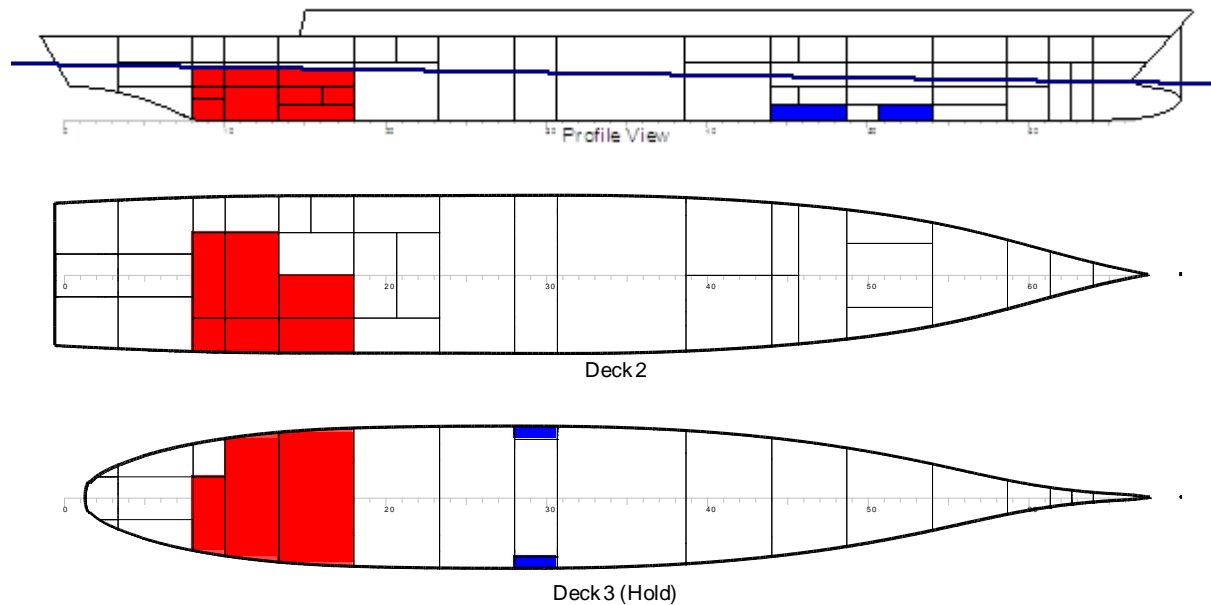
DAMAGE CASE 3

D 3.1



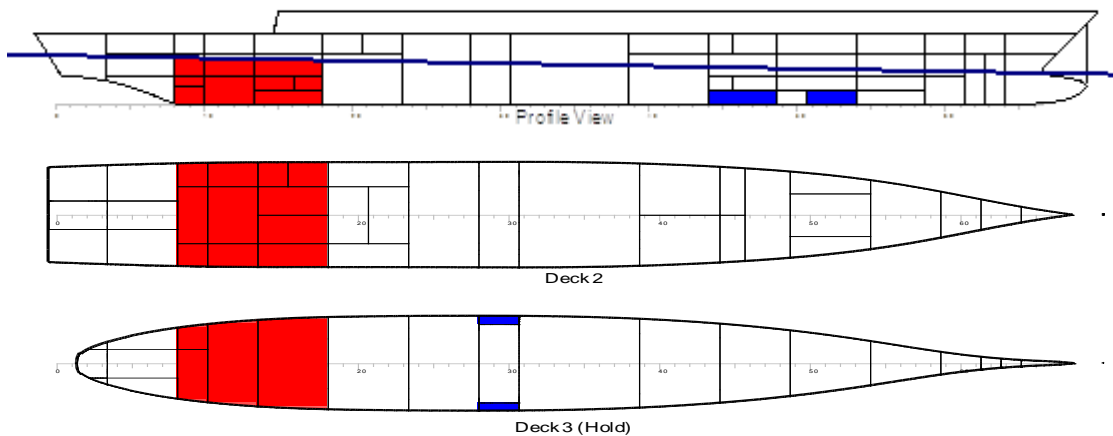
Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight (t/m3)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3179.9	42.56	0.28	2.78
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	60.9	1.026	-100.2	17.50	0.59	3.93
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	58.6	1.026	-138.2	23.48	0.61	3.89
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
STRM NO2	8-10	60.0	43.0	1.026	-26.8	13.50	2.43	4.02
Total Damaged					-353.1	20.70	1.06	3.37
Total Buoyancy					2826.8	45.29	0.18	2.71

D 3.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17	0.0	
Buoyancy					3339.8	41.41	0.24	2.88	17557.2	
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>								
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	71.5	1.026	-117.7	17.50	0.46	4.06	-1183.3	
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	67.8	1.026	-160.0	23.47	0.49	4.00	-1680.8	
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62	0.0	
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30	0.0	
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43	0.0	
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97	0.0	
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36	0.0	
JP-5_SERV.	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55	0.0	
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62	0.0	
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
STRM NO2	8-10	60.0	50.0	1.026	-31.1	13.50	2.43	4.15	-226.1	
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95	0.0	
Total Damaged					-513.0	20.14	0.73	3.19	-3090.2	
Total Buoyancy					2826.8	45.27	0.16	2.82	14467.0	

D 3.3



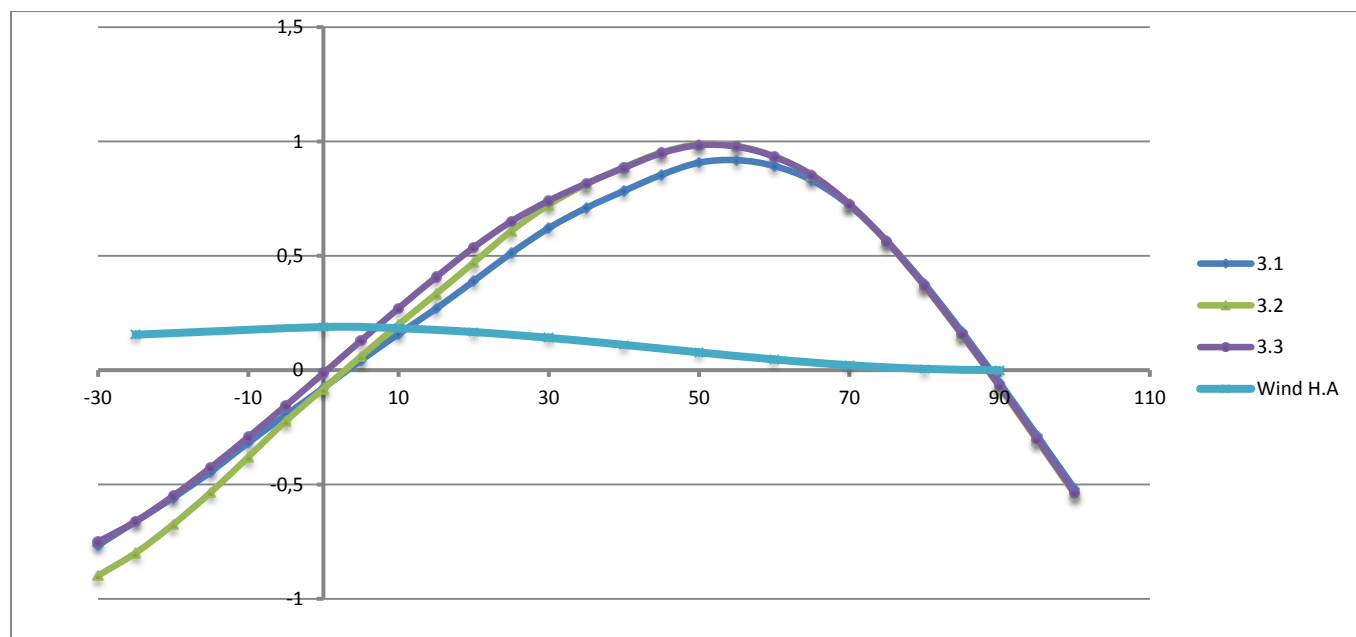
Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight	LCG	TCG	VCG
				(t/m3)	(t)	(m)	(m)	(m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3432.6	40.78	-0.04	2.93
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
AFT BATTLE DRESS ST	13-18	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
ARMORY	13-15	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC1	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	77.7	1.026	-127.9	17.49	-0.08	4.13
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	73.2	1.026	-172.6	23.47	-0.08	4.06
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_1(P)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	-3.99	2.62
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30
F.O_2(P)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	-4.26	2.43
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.1(P)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(P)	15-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
HEL.O.STRM.2	8-10	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
JP-5_CONT.SETT	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.1	13.63	0.00	1.36
JP-5_SERV	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.2	13.50	0.00	2.55
JP-5_STOR.(P)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	-2.61	2.62
JP-5_STOR.(S)	8-10	95.0	95.0	1.026	-8.0	13.64	2.61	2.62
JP5 PUMP RM	8-10	95.0	81.9	1.026	-27.3	13.50	-4.30	4.22
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STRM NO2	8-10	60.0	50.6	1.026	-31.5	13.50	2.24	4.16
UNA	8-10	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95
Total Damaged					-605.8	19.89	-0.12	3.25
Total Buoyancy					2826.8	45.26	-0.03	2.86

DAMAGE CASE 3							
D3.1		D3.2		D3.3			
-30	-0,7655	-30	-0,8986	-30	-0,7508		
-25	-0,6624	-25	-0,7996	-25	-0,6613		
-20	-0,5582	-20	-0,6746	-20	-0,5498		
-15	-0,4445	-15	-0,5342	-15	-0,4253		
-10	-0,3173	-10	-0,3796	-10	-0,2927		
-5	-0,1961	-5	-0,2222	-5	-0,1546		
0	-0,0774	0	-0,0813	0	-0,013		
5	0,0424	5	0,0606	5	0,1294		
10	0,1584	10	0,1998	10	0,2709		
15	0,2692	15	0,3336	15	0,4073		
20	0,3896	20	0,4706	20	0,5369		

25	0,5118		25	0,6086		25	0,6503
30	0,6214		30	0,7231		30	0,7409
35	0,7097		35	0,814		35	0,8164
40	0,7837		40	0,8874		40	0,8846
45	0,8542		45	0,9522		45	0,9489
50	0,9072		50	0,9875		50	0,9838
55	0,9181		55	0,9802		55	0,9772
60	0,8925		60	0,9352		60	0,9332
65	0,8299		65	0,8541		65	0,8525
70	0,7202		70	0,7269		70	0,726
75	0,5644		75	0,5614		75	0,5618
80	0,377		80	0,3669		80	0,3688
85	0,1678		85	0,1528		85	0,1561
90	-0,0553		90	-0,0741		90	-0,0695
95	-0,2861		95	-0,3081		95	-0,3021
100	-0,5195		100	-0,544		100	-0,5368

Πίνακας 37. Damaged GZ – φ Damage Cases 3.1 – 3.3

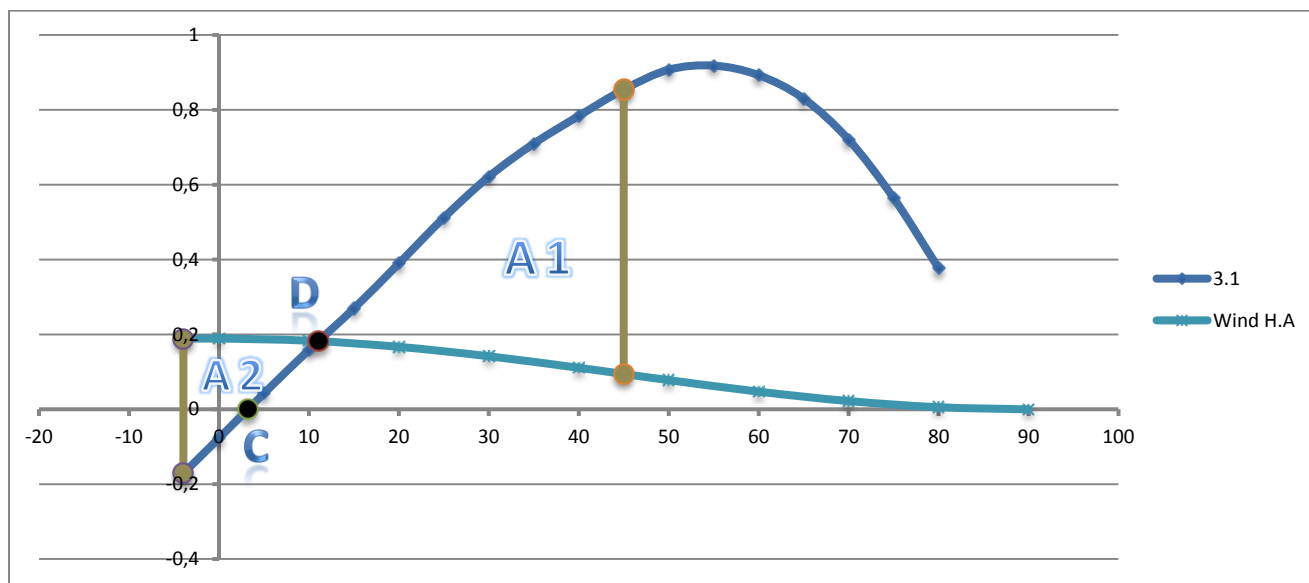
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 25. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 3.1 – 3.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D3.1	D3.2	D3.3
GM	1,372	1,627	1,632

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D3.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



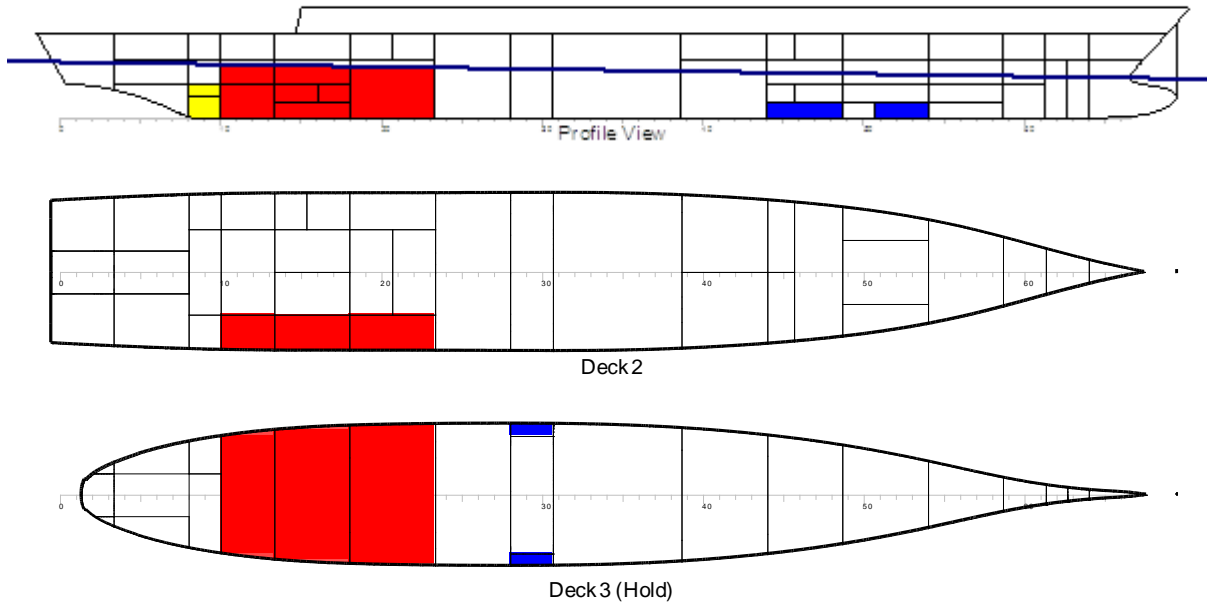
Σχήμα 26. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 3.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		11,049	0,181646	-3,95101	-0,1712	45	0,8542
Intersection Point C		3,22	0	-3,95101	0,18817	45	0,094534
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	13,59	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,697			3,22	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				13,59	3,776	OK	

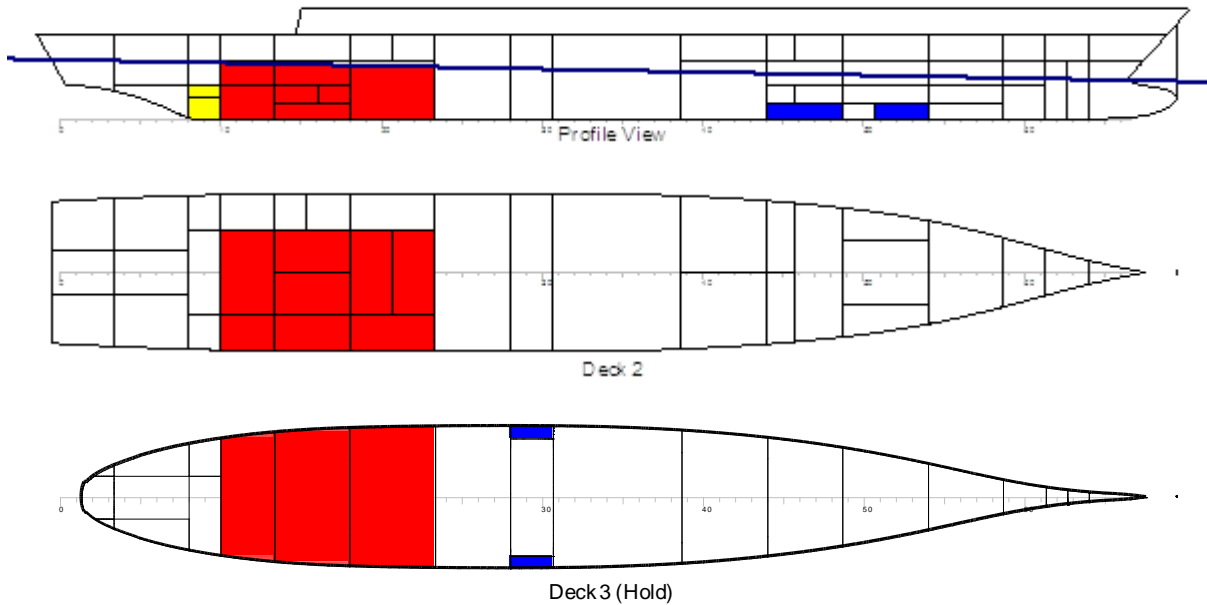
DAMAGE CASE 4

D 4.1



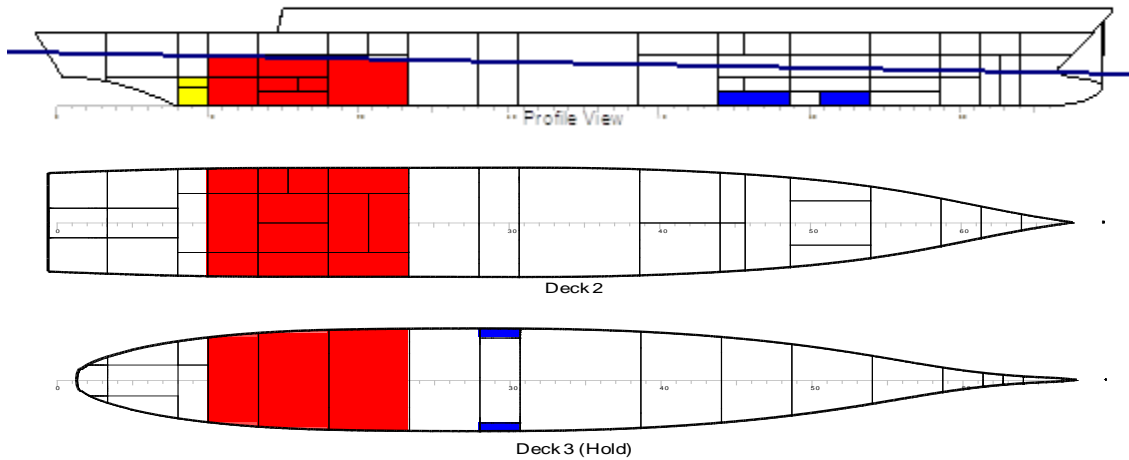
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3431.4	41.74	0.36	2.92
<i>Damaged</i>			<i>% perm</i>					
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	48.2	1.026	-206.8	30.99	0.41	2.94
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	73.1	1.026	-120.3	17.50	0.69	4.10
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	69.8	1.026	-164.5	23.48	0.71	4.04
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	-0.0	15.12	9.28	5.65
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-604.5	25.22	0.96	3.26
Total Buoyancy					2826.8	45.28	0.23	2.85

D 4.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3576.8	40.87	0.31	3.01
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	50.8	1.026	-218.2	30.98	0.34	3.04
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	81.8	1.026	-134.6	17.50	0.51	4.19
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	77.7	1.026	-183.3	23.47	0.56	4.13
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	2.1	1.026	-0.8	16.98	6.51	5.55
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.2	1.026	-0.1	21.25	6.98	5.52
MACH.CONTR.&DC.CENTR	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RM1	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95
Total Damaged					-750.0	24.31	0.73	3.20
Total Buoyancy					2826.8	45.27	0.19	2.96

D 4.3

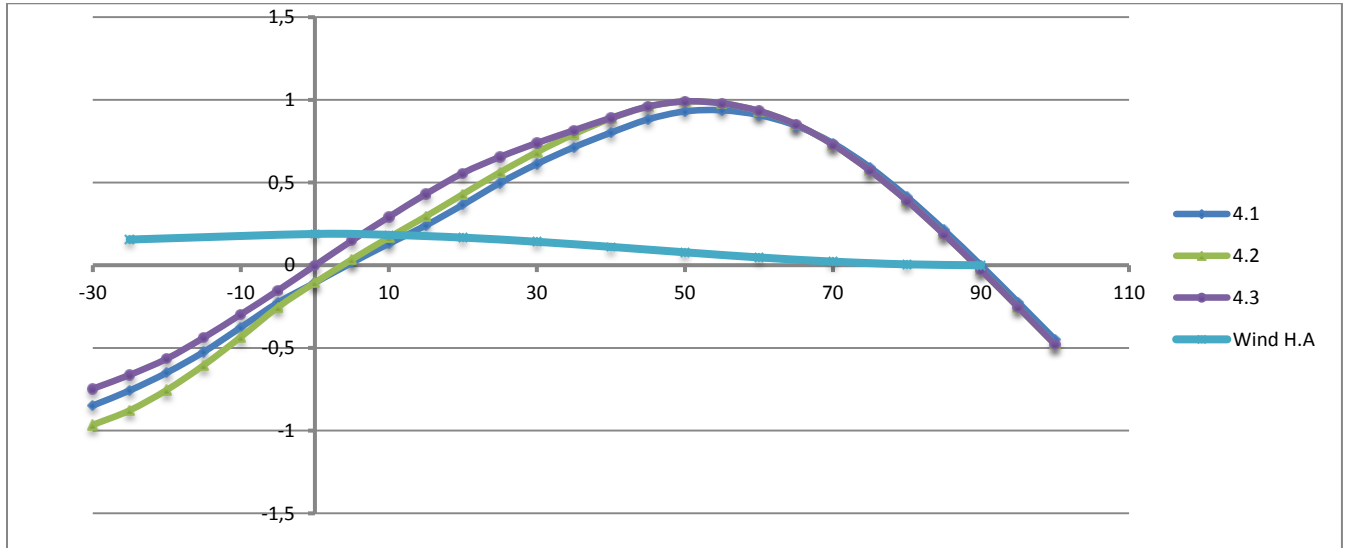


Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight	LCG	TCG	VCG
				(t/m3)	(t)	(m)	(m)	(m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3671.1	40.48	0.00	3.05
<i>Damaged</i>			<i>% perm</i>					
AFT BATTLE DRESS ST	13-18	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
ARMORY	13-15	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	52.5	1.026	-225.2	30.98	0.00	3.09
CREW LIVING SPACE 1	10-13	95.0	87.6	1.026	-144.2	17.49	0.00	4.25
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	82.5	1.026	-194.6	23.47	0.00	4.17
CREW LIVING SPACE 4	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_1(P)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	-3.99	2.62
F.O_1(S)	10-13	95.0	95.0	1.026	-9.8	17.84	3.99	2.62
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30
F.O_2(P)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	-4.26	2.43
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(P)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	-4.64	2.25
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.1(P)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.1(S)	10-13	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(P)	15-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
MACH.CONTR.&DC.CENTR	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RMI	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
OFFICE	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_2	10-13	95.0	95.0	1.026	-62.3	17.61	0.00	1.95
Total Damaged					-844.3	24.46	0.00	3.19
Total Buoyancy					2826.8	45.26	0.00	3.01

DAMAGE CASE 4							
D4.1			D4.2			D4.3	
-30	-0,8479		-30	-0,9656		-30	-0,7468
-25	-0,7567		-25	-0,8774		-25	-0,663
-20	-0,6493		-20	-0,7541		-20	-0,565
-15	-0,5234		-15	-0,6042		-15	-0,4374
-10	-0,3754		-10	-0,4338		-10	-0,2973
-5	-0,2262		-5	-0,2544		-5	-0,1528
0	-0,1054		0	-0,1054		0	-0,0017
5	0,0155		5	0,0347		5	0,1489
10	0,1307		10	0,1676		10	0,2919
15	0,241		15	0,2956		15	0,4306
20	0,3661		20	0,4294		20	0,5571
25	0,4975		25	0,5616		25	0,6547
30	0,6128		30	0,6838		30	0,739
35	0,7137		35	0,7925		35	0,8157
40	0,8019		40	0,8875		40	0,8909
45	0,8818		45	0,9585		45	0,9597
50	0,9303		50	0,9905		50	0,9905
55	0,937		55	0,9787		55	0,9787
60	0,9081		60	0,9324		60	0,9324
65	0,8439		65	0,8512		65	0,8512
70	0,7379		70	0,7287		70	0,7287
75	0,5917		75	0,5719		75	0,5719
80	0,4134		80	0,3895		80	0,3895
85	0,2133		85	0,1864		85	0,1864
90	-0,001		90	-0,0299		90	-0,0299
95	-0,2235		95	-0,2535		95	-0,2535
100	-0,4489		100	-0,4794		100	-0,4794

Πίνακας 38. Damaged GZ – φ Damage Cases 4.1 – 4.3

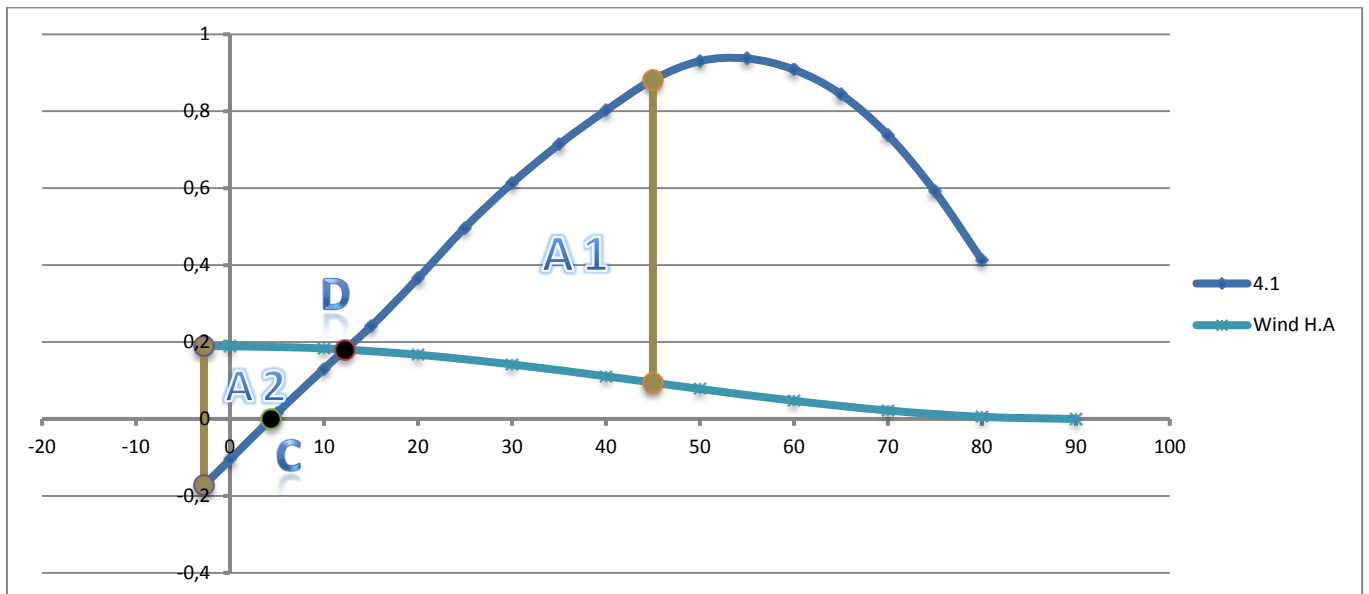
Έτσι κατασκευάζεται το επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα 27. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 4.1 – 4.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D4.1	D4.2	D4.3
GM	1,381	1,598	1,741

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D4.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



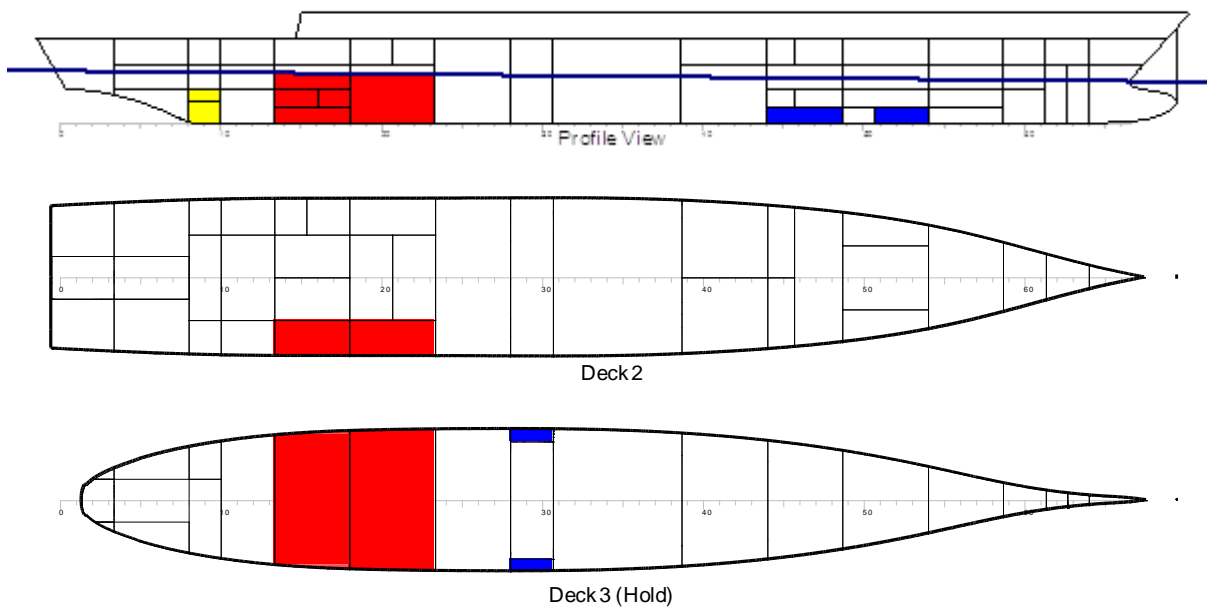
Σχήμα 28. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 4.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		12,222	0,17972	-2,77788	-0,17251	45	0,8818
Intersection Point C		4,36	0	-2,77788	0,188625	45	0,094534
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	13,682	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,691			4,36	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				13,682	3,767	OK	

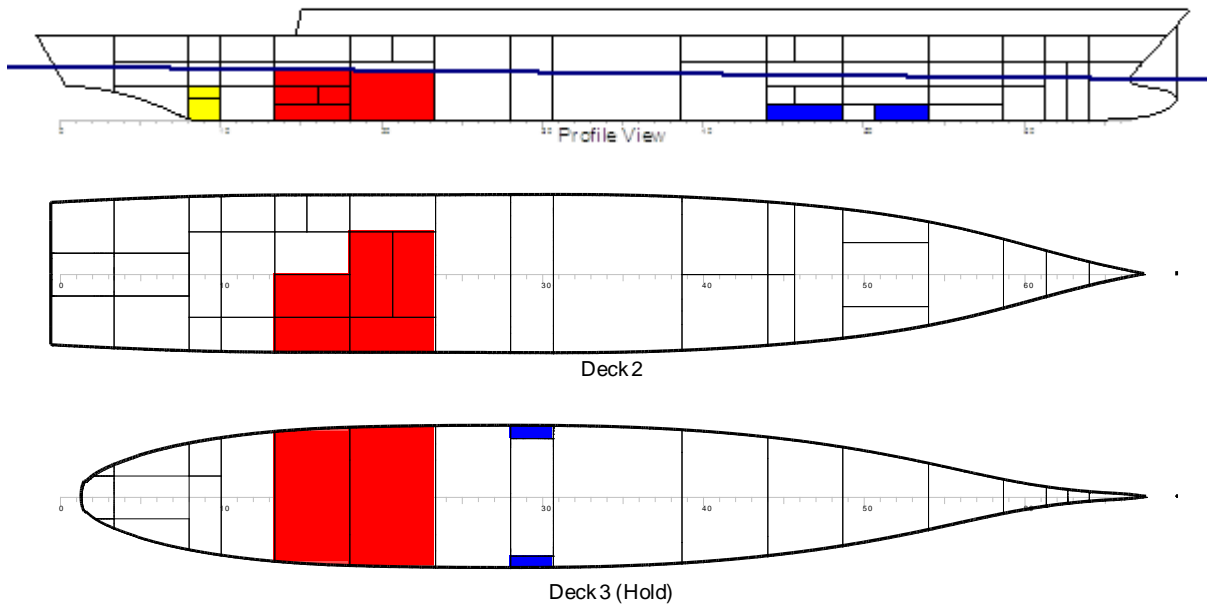
DAMAGE CASE 5

D 5.1



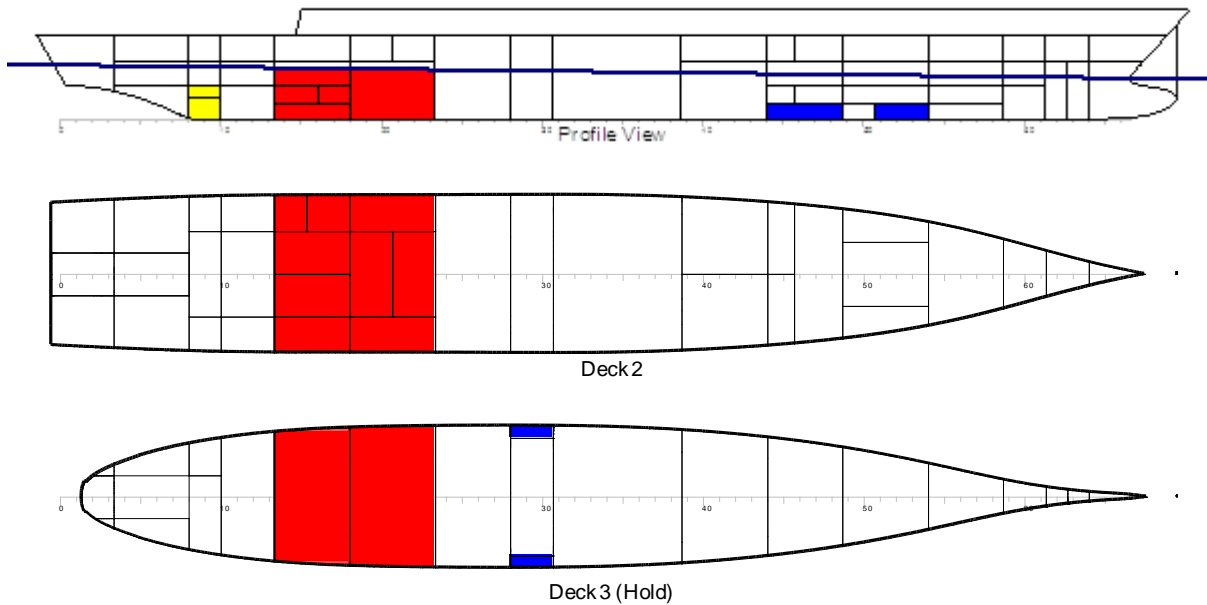
Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight (t/m3)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3265.8	42.89	0.28	2.82
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	45.1	1.026	-193.5	31.00	0.32	2.81
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	60.4	1.026	-142.3	23.49	0.61	3.91
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-439.0	27.42	0.93	2.91
Total Buoyancy					2826.8	45.29	0.18	2.81

D 5.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3313.1	42.60	0.26	2.85
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	45.9	1.026	-197.2	31.00	0.31	2.85
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	62.9	1.026	-148.4	23.48	0.56	3.94
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
MACH.CONTR.&DC.CENTR	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RM1	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-486.3	26.98	0.83	2.90
Total Buoyancy					2826.8	45.29	0.17	2.84

D 5.3



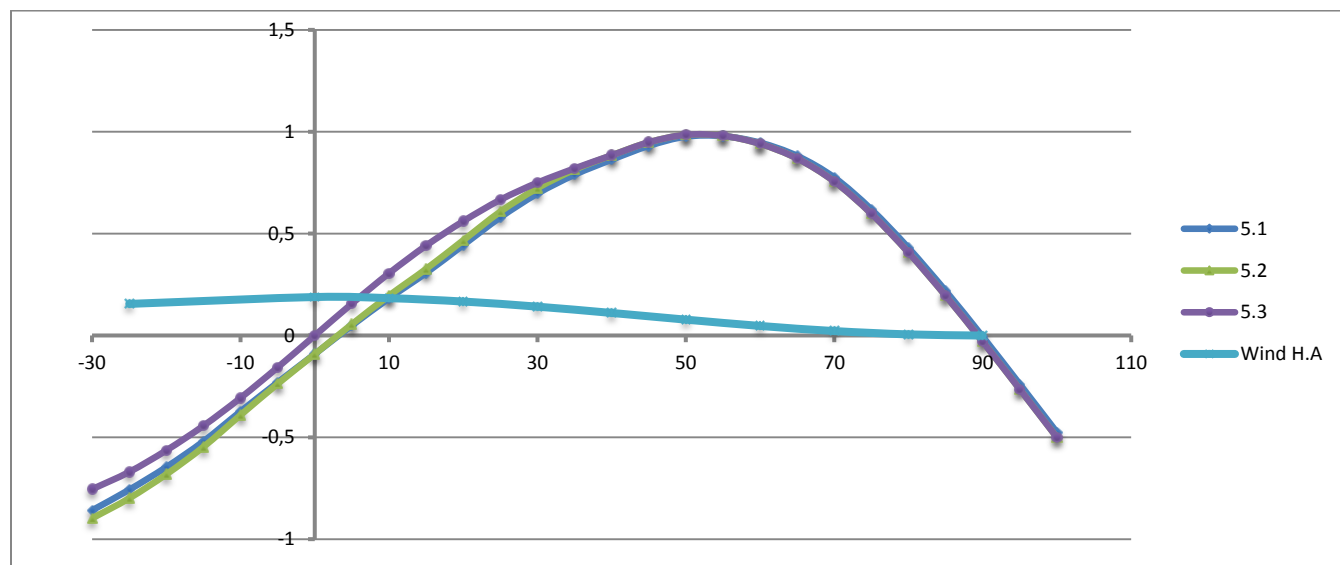
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3384.3	42.28	0.00	2.88
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
AFT BATTLE DRESS ST	13-18	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
ARMORY	13-15	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	47.1	1.026	-202.4	31.00	0.00	2.89
CREW LIVING SPACE 2	13-18	95.0	66.4	1.026	-156.7	23.48	0.00	3.97
F.O_2	13-16	95.0	95.0	1.026	-37.6	22.05	0.00	2.30
F.O_2(P)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	-4.26	2.43
F.O_2(S)	13-18	95.0	95.0	1.026	-24.6	23.71	4.26	2.43
F.O_3(P)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	-4.64	2.25
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_6	13-18	95.0	95.0	1.026	-45.5	23.78	0.00	0.97
FAN.ROOM.2(P)	15-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FAN.ROOM.2(S)	13-18	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
MACH.CONTR.&DC.CENTR	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RMI	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
OFFICE	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STORAGE	13-18	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-557.5	27.07	0.00	2.88
Total Buoyancy					2826.8	45.29	0.00	2.88

DAMAGE CASE 5							
D5.1			D5.2			D5.3	
-30	-0,8588		-30	-0,8978		-30	-0,7546
-25	-0,7578		-25	-0,7994		-25	-0,67
-20	-0,6464		-20	-0,6817		-20	-0,564
-15	-0,5203		-15	-0,5472		-15	-0,4434
-10	-0,3735		-10	-0,3908		-10	-0,3064
-5	-0,2308		-5	-0,2377		-5	-0,1567
0	-0,0916		0	-0,0916		0	-0,0002
5	0,0484		5	0,0552		5	0,1562
10	0,1819		10	0,1956		10	0,3053
15	0,3066		15	0,3266		15	0,4413
20	0,4433		20	0,4672		20	0,5609
25	0,5795		25	0,6078		25	0,6661
30	0,6961		30	0,7233		30	0,7501
35	0,7888		35	0,8141		35	0,8201
40	0,8628		40	0,8846		40	0,8846
45	0,9305		45	0,9485		45	0,9485
50	0,976		50	0,9854		50	0,9854
55	0,9783		55	0,9807		55	0,9807
60	0,9461		60	0,9409		60	0,9409
65	0,8811		65	0,8689		65	0,8689

70	0,7751		70	0,7561		70	0,7561
75	0,6183		75	0,5976		75	0,5976
80	0,4292		80	0,4069		80	0,4069
85	0,2184		85	0,195		85	0,195
90	-0,0066		90	-0,0309		90	-0,0309
95	-0,2399		95	-0,2645		95	-0,2645
100	-0,4762		100	-0,5009		100	-0,5009

Πίνακας 39. Damaged GZ – φ Damage Cases 5.1 – 5.3

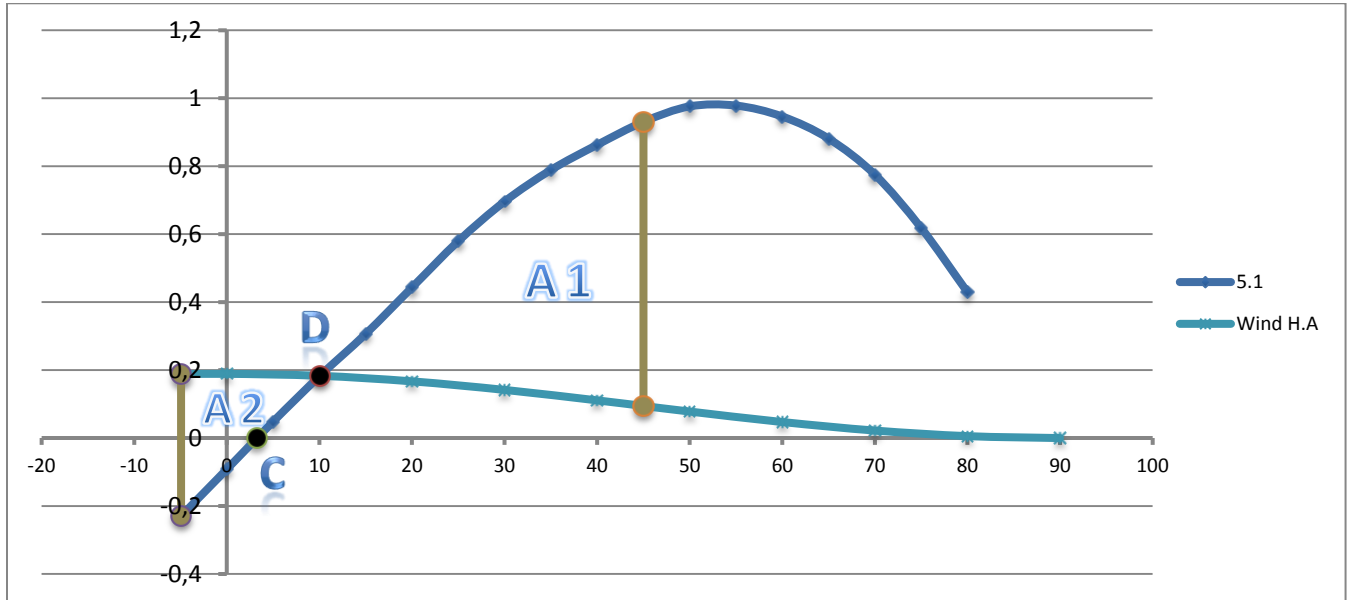
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 29. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 5.1 – 5.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D5.1	D5.2	D5.3
GM	1,601	1,681	1,803

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D5.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



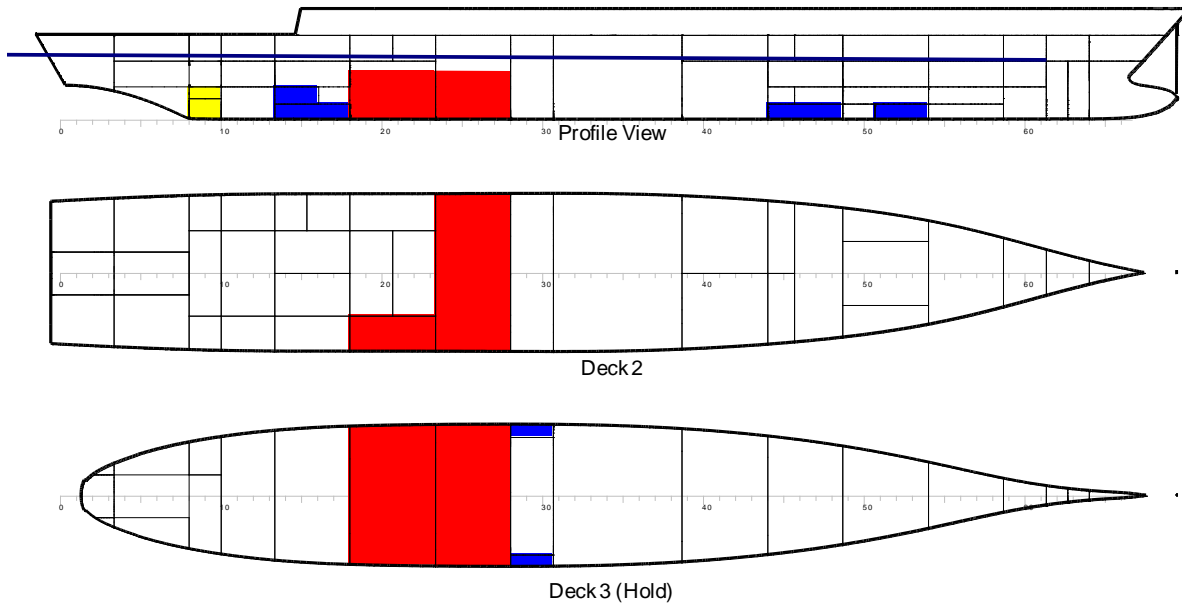
Σχήμα 30. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 5.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		10,0552	0,18328	-4,9448	-0,22926	45	0,9305
Intersection Point C		3,26	0	-4,9448	0,18766	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	16,182	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,119			3,26	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				16,182	4,367	OK	

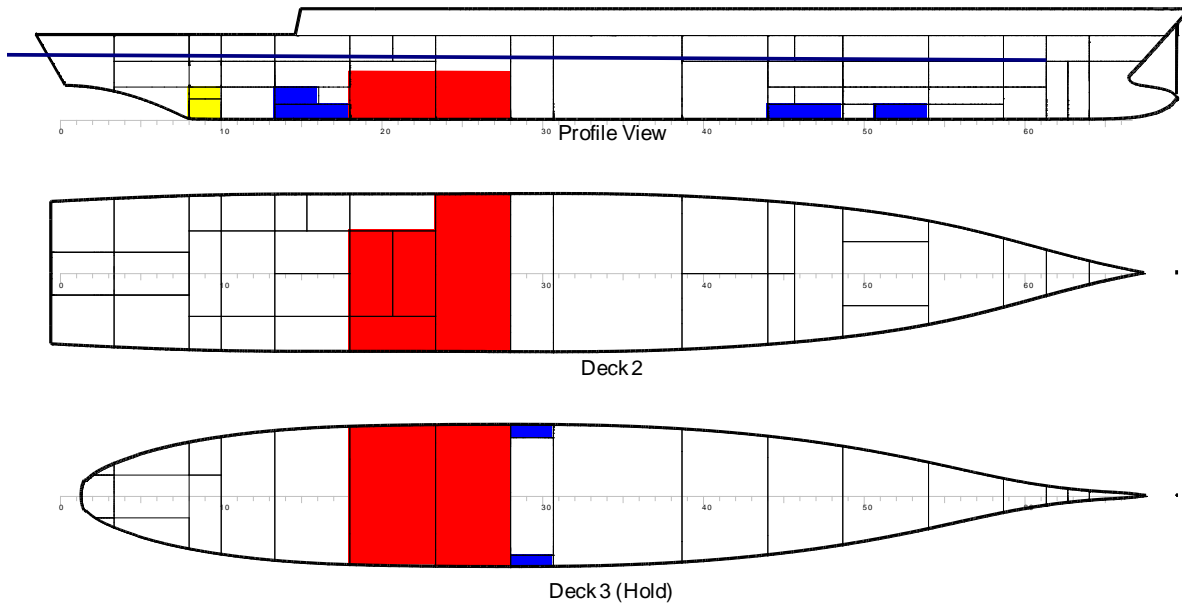
DAMAGE CASE 6

D 6.1



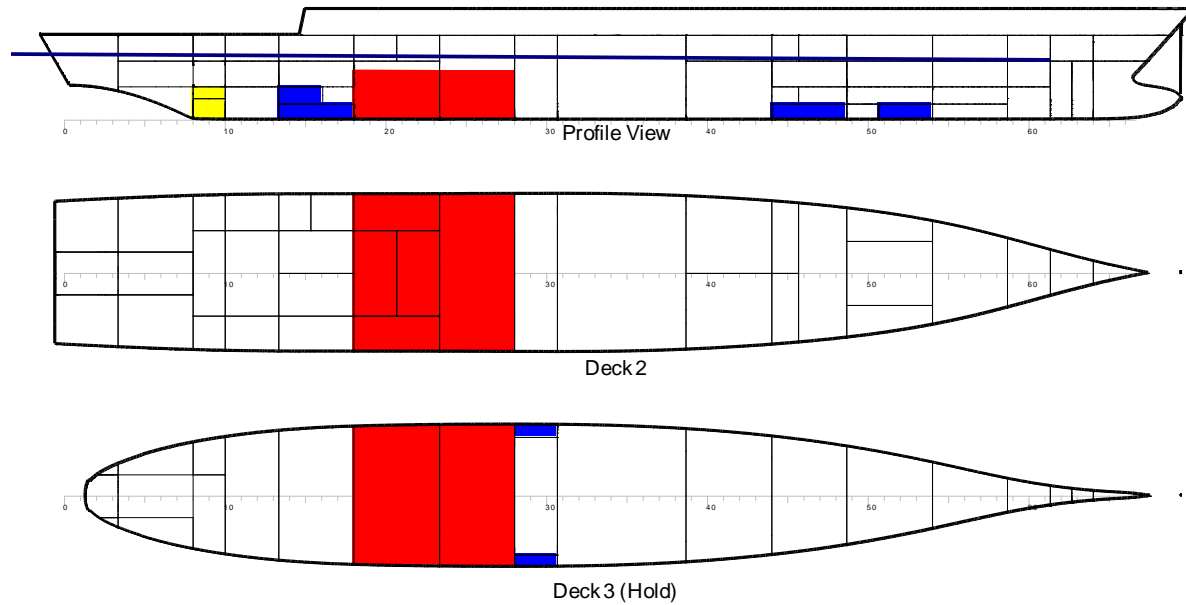
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3252.1	43.91	0.21	2.80
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AFT.ENG.ROOM	23-28	60.0	28.3	1.026	-192.0	38.49	0.21	2.63
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	44.1	1.026	-189.3	31.01	0.25	2.77
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_SERV_1(S)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	5.59	2.49
L.O(S)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	5.60	2.49
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-425.3	34.59	0.71	2.66
Total Buoyancy					2826.8	45.31	0.13	2.83

D 6.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3264.5	43.89	0.15	2.81
<i>Damaged</i>			<i>% perm</i>					
AFT.ENG.ROOM: AFT BATTLE DRESS ST	23-28	60.0	28.4	1.026	-192.7	38.49	0.15	2.64
AUX.MACH.ROOM.NO1: ARMORY	18-23	60.0	44.3	1.026	-190.1	31.01	0.17	2.77
F.O_3(S): F.O	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_SERV_1(P): F.O	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	-5.59	2.49
F.O_SERV_1(S): F.O	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	5.59	2.49
L.O(P): JP5 PUMP RM	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	-5.60	2.49
L.O(S): L.O	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	5.60	2.49
MACH.CONTR.&DC.CENTR: LAUNDRY	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RM1: NIXIE ROOM & VDS CON	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM: REPAIR ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-437.7	34.69	0.49	2.66
Total Buoyancy					2826.8	45.31	0.09	2.83

D 6.3

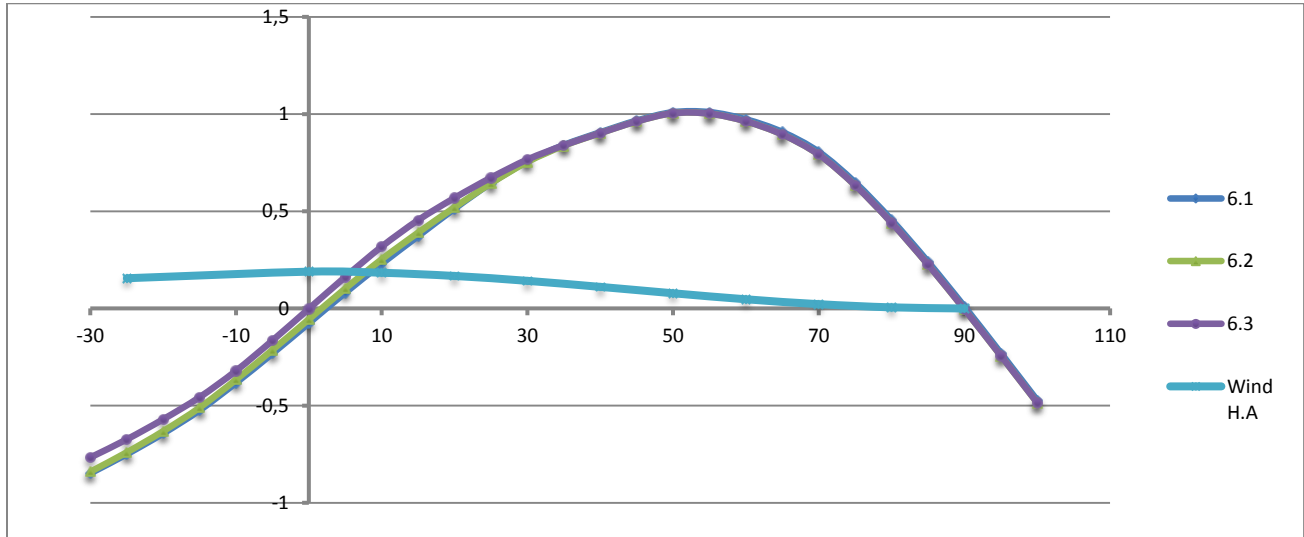


Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3302.3	43.74	0.00	2.83
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
AFT.ENG.ROOM	23-28	60.0	28.7	1.026	-194.8	38.49	0.00	2.66
AUX.MACH.ROOM.NO1	18-23	60.0	44.9	1.026	-192.7	31.01	0.00	2.80
F.O_3(P)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	-4.64	2.25
F.O_3(S)	18-23	95.0	95.0	1.026	-33.0	31.15	4.64	2.25
F.O_SERV_1(P)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	-5.59	2.49
F.O_SERV_1(S)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	5.59	2.49
L.O(P)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	-5.60	2.49
L.O(S)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	5.60	2.49
MACH.CONTR.&DC.CENTR	21-23	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
NTAS EQPMT RM1	18-21	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
OFFICE	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SHIP STORE ROOM	18-23	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-475.5	34.44	0.00	2.65
Total Buoyancy					2826.8	45.31	0.00	2.86

DAMAGE CASE 6							
D6.1			D6.2			D6.3	
-30	-0,8484		-30	-0,8401		-30	-0,7672
-25	-0,7503		-25	-0,7404		-25	-0,674
-20	-0,6434		-20	-0,6316		-20	-0,5705
-15	-0,5242		-15	-0,5102		-15	-0,4569
-10	-0,3829		-10	-0,3664		-10	-0,321
-5	-0,2322		-5	-0,2135		-5	-0,1652
0	-0,0762		0	-0,0558		0	-0,0016
5	0,0804		5	0,1024		5	0,1621
10	0,2296		10	0,253		10	0,3179
15	0,3717		15	0,3901		15	0,4542
20	0,513		20	0,5204		20	0,5687
25	0,6443		25	0,6439		25	0,6728
30	0,7565		30	0,754		30	0,7662
35	0,8406		35	0,8374		35	0,8395
40	0,906		40	0,9022		40	0,9022
45	0,9664		45	0,9623		45	0,9623
50	1,0095		50	1,0047		50	1,0047
55	1,0099		55	1,0023		55	1,0023
60	0,9727		60	0,9626		60	0,9626
65	0,9076		65	0,895		65	0,895
70	0,8055		70	0,7915		70	0,7915
75	0,6476		75	0,6331		75	0,6331
80	0,4552		80	0,4404		80	0,4404
85	0,2399		85	0,2251		85	0,2251
90	0,0095		90	-0,005		90	-0,005
95	-0,2299		95	-0,2438		95	-0,2438
100	-0,4729		100	-0,486		100	-0,486

Πίνακας 40. Damaged GZ – φ Damage Cases 6.1 – 6.3

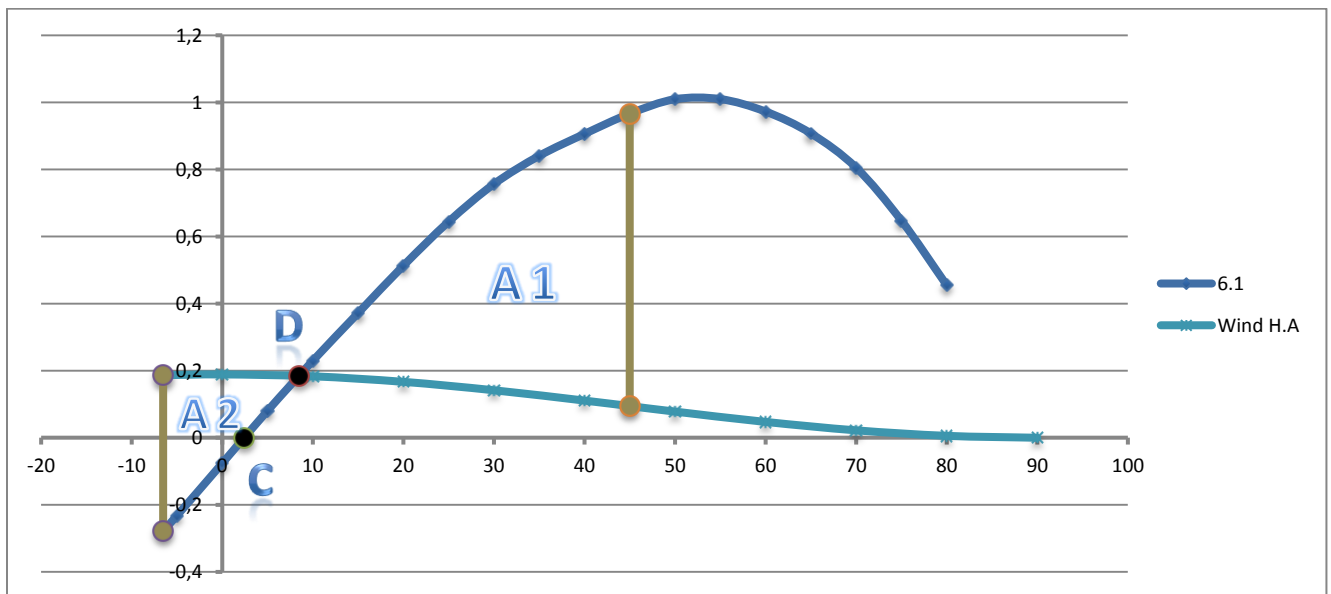
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 31. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 6.1 – 6.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D6.1	D6.2	D6.3
GM	1,798	1,819	1,888

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D6.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



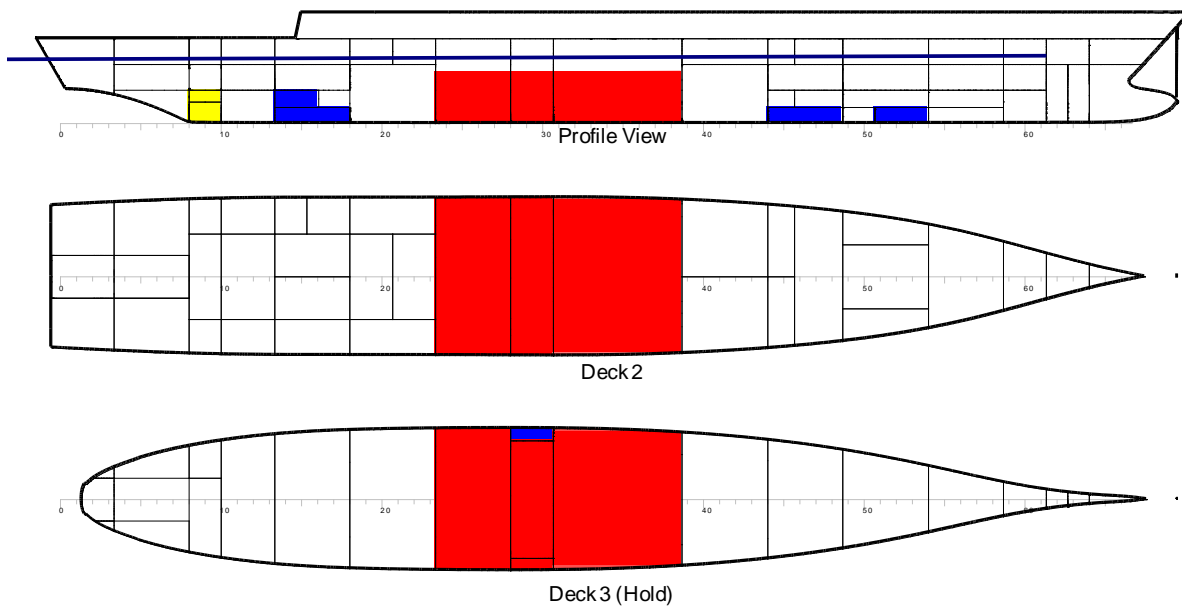
Σχήμα 32. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 6.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		8,4797	0,18423	-6,5203	-0,07802	45	0,9664
Intersection Point C		2,42	0	-6,5203	0,186631	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	16,182	Angle of heel after damage < 15 deg			X intersect. point C	Θ crit	
A2	3,119				2,42	15,00	OK
		A1 > 1.4 A2			A1	1.4 A2	
					18,113	4,367	OK

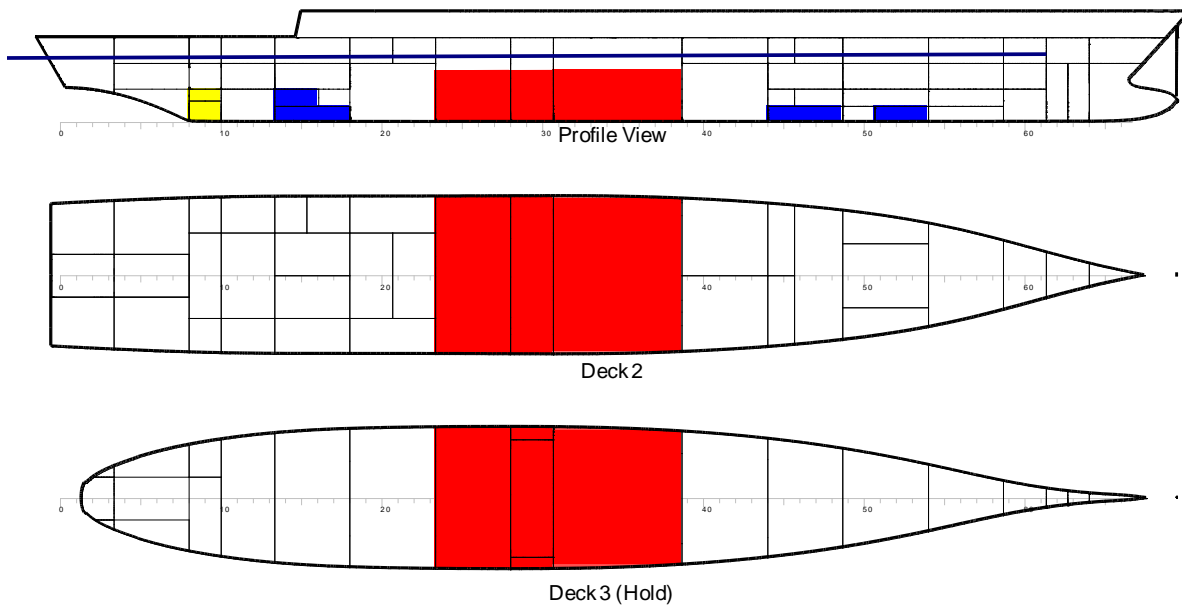
DAMAGE CASE 7

D 7.1



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3577.2	45.52	0.22	2.97
<i>Damaged</i>				<i>% perm</i>				
AFT.ENG.ROOM	23-28	60.0	30.4	1.026	-206.5	38.50	0.23	2.77
F.O_SERV_1(S)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	5.59	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
F.W(S)	28-31	95.0	77.4	1.026	-14.7	44.00	6.21	3.80
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	30.4	1.026	-344.0	51.85	0.23	2.85
L.O(S)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	5.60	2.49
REDUCT.GEAR.ROOM	28-31	85.0	43.0	1.026	-155.7	44.00	0.11	2.65
Total Damaged					-750.4	46.23	0.52	2.79
Total Buoyancy					2826.8	45.34	0.14	3.01

D 7.2



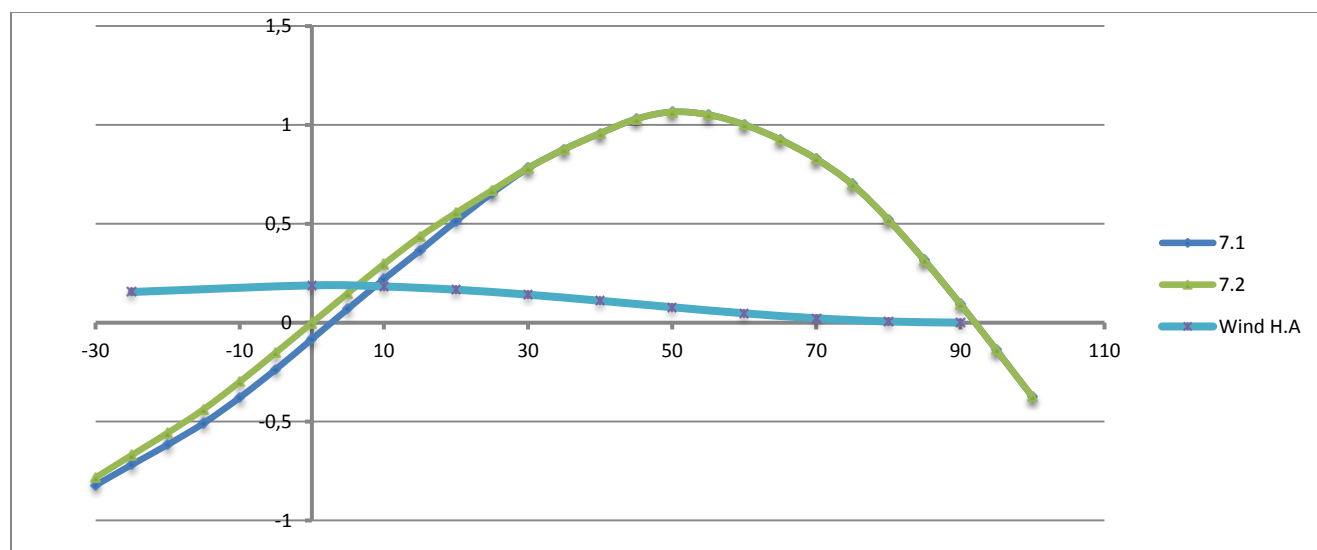
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3626.5	45.54	0.00	2.99
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AFT.ENG.ROOM	23-28	60.0	30.8	1.026	-209.0	38.51	0.00	2.79
F.O_SERV_1(P)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	-5.59	2.49
F.O_SERV_1(S)	23-25	95.0	95.0	1.026	-4.6	36.51	5.59	2.49
F.O_SERV_2(P)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.3	53.07	-5.22	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
F.W(P)	28-31	95.0	68.6	1.026	-13.1	44.00	-6.18	3.65
F.W(S)	28-31	95.0	68.7	1.026	-13.1	44.00	6.18	3.66
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	30.8	1.026	-348.6	51.85	-0.00	2.87
L.O(P)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	-5.60	2.49
L.O(S)	25-28	95.0	95.0	1.026	-6.3	40.00	5.60	2.49
REDUCT.GEAR.ROOM	28-31	85.0	43.5	1.026	-157.4	44.00	0.00	2.67
Total Damaged					-799.7	46.25	0.00	2.81
Total Buoyancy					2826.8	45.34	0.00	3.04

DAMAGE CASE 7				
D7.1		D7.2		
-30	-0,8221		-30	-0,7832
-25	-0,7187		-25	-0,6701
-20	-0,617		-20	-0,5575
-15	-0,5081		-15	-0,4379
-10	-0,3789		-10	-0,2992
-5	-0,2362		-5	-0,1519
0	-0,0837		0	-0,0017
5	0,0695		5	0,1486
10	0,2197		10	0,2959
15	0,364		15	0,4348
20	0,5134		20	0,5552
25	0,6544		25	0,6687
30	0,7809		30	0,7821
35	0,8767		35	0,8767
40	0,9573		40	0,9573
45	1,0301		45	1,0301
50	1,0659		50	1,0659
55	1,052		55	1,052
60	1,002		60	1,002
65	0,9258		65	0,9258
70	0,8286		70	0,8286
75	0,7001		75	0,7001
80	0,5217		80	0,5217
85	0,3166		85	0,3166

90	0,0946		90	0,0946
95	-0,1376		95	-0,1376
100	-0,3744		100	-0,3744

Πίνακας 41. Damaged GZ – φ Damage Cases 7.1 – 7.2

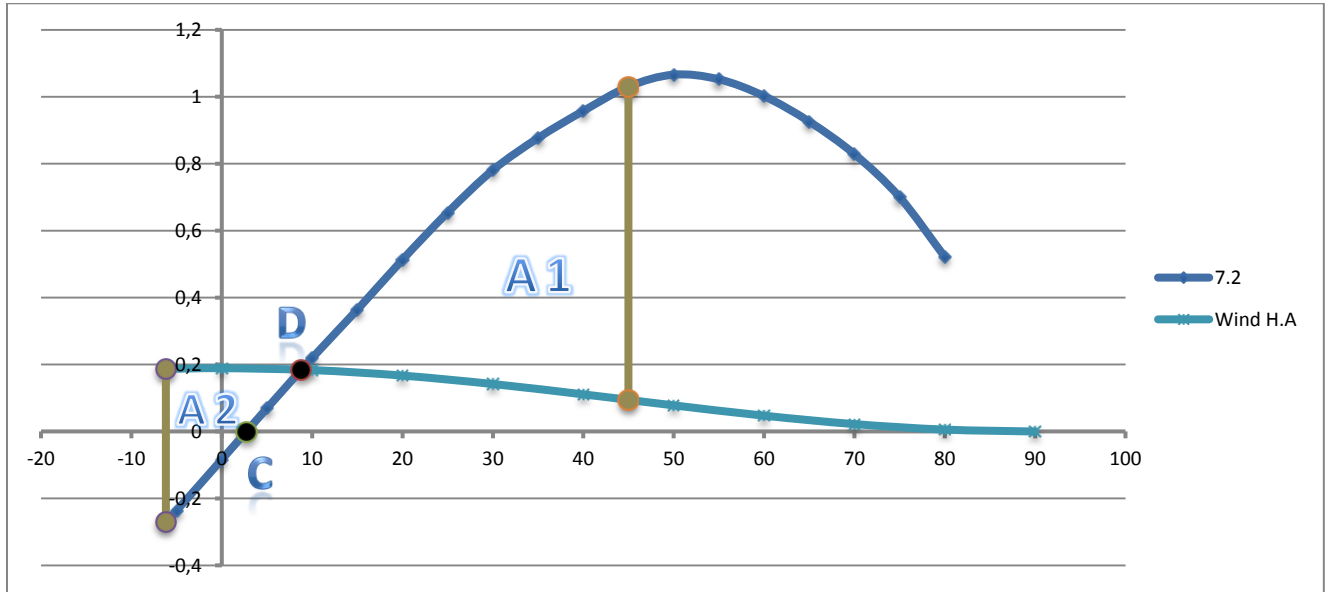
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 33. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 7.1 – 7.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D7.1	D7.2
GM	1,757	1,728

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D7.2. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



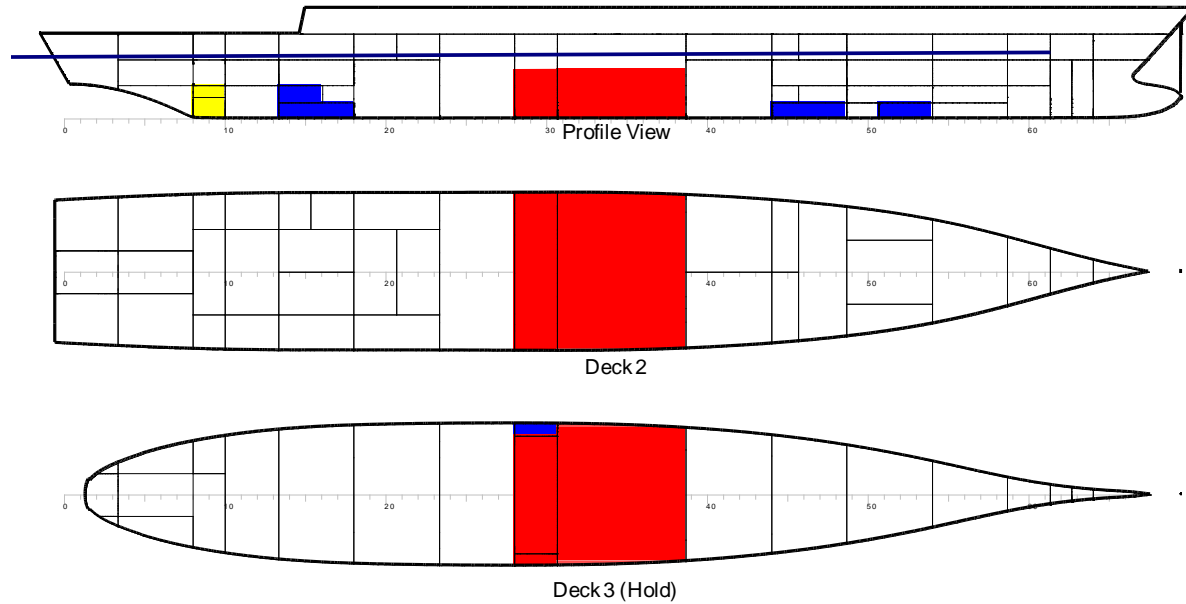
Σχήμα 34. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 7.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
	θ	z	θ	z	θ	z	
Intersection Point D		8,81306	0,18404	-6,5203	-6,18694	45	1,0301
Intersection Point C		2,73	0	-6,5203	-6,18694	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	18,807	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,459			2,73	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				18,807	4,843	OK	

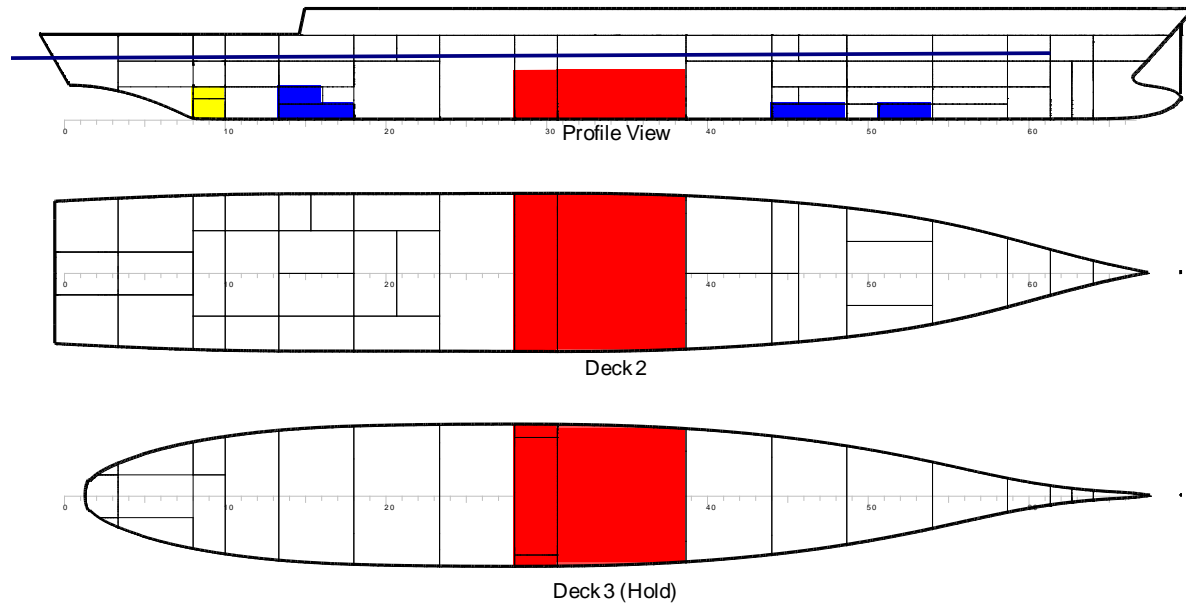
DAMAGE CASE 8

D 8.1



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3329.6	45.95	0.16	2.84
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
F.W(S)	28-31	95.0	66.9	1.026	-12.7	44.00	6.18	3.63
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	28.5	1.026	-323.5	51.85	0.17	2.73
REDUCT.GEAR.ROOM:	28-31	85.0	40.9	1.026	-148.1	44.00	0.08	2.54
Total Damaged					-502.7	49.38	0.48	2.69
Total Buoyancy					2826.8	45.34	0.10	2.87

D 8.2



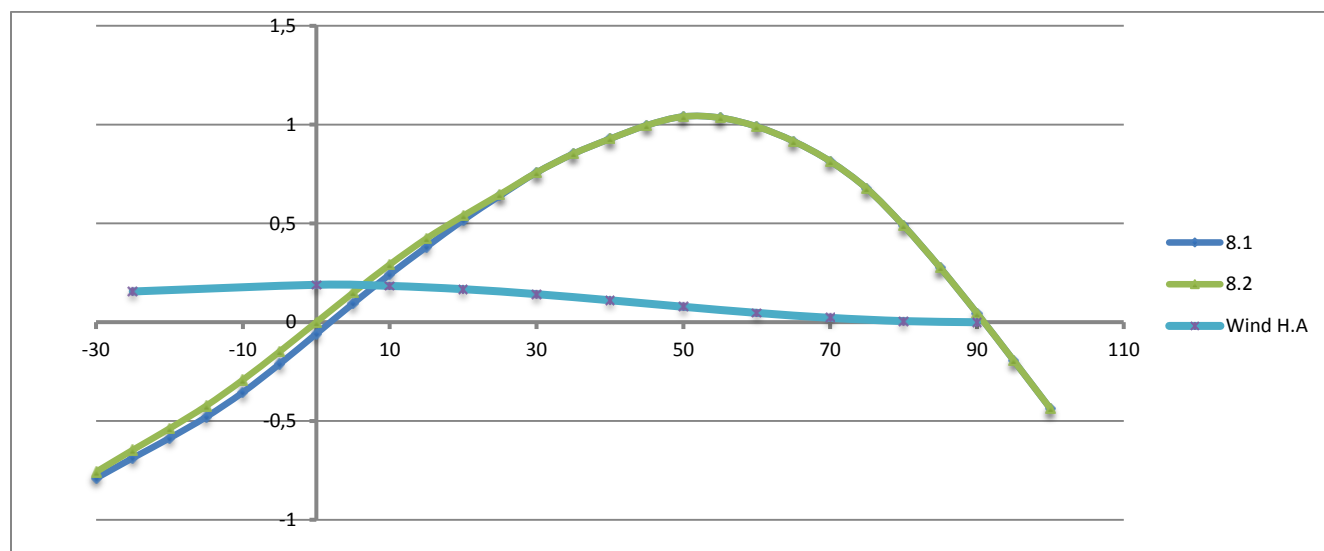
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3362.6	45.99	0.00	2.86
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
F.O_SERV_2(P)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.3	53.07	-5.22	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
F.W(P)	28-31	95.0	61.0	1.026	-11.6	44.00	-6.15	3.53
F.W(S)	28-31	95.0	61.0	1.026	-11.6	44.00	6.15	3.53
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	28.8	1.026	-326.7	51.85	-0.00	2.75
REDUCT.GEAR.ROOM	28-31	85.0	41.2	1.026	-149.2	44.00	0.00	2.56
Total Damaged					-535.8	49.41	0.00	2.71
Total Buoyancy					2826.8	45.34	0.00	2.88

DAMAGE CASE 8				
D8.1		D8.2		
-30	-0,7903		-30	-0,758
-25	-0,6877		-25	-0,6471
-20	-0,5873		-20	-0,5387
-15	-0,4798		-15	-0,4237
-10	-0,3553		-10	-0,2923
-5	-0,2116		-5	-0,1491
0	-0,059		0	-0,0003
5	0,0942		5	0,1484

10	0,2415		10	0,2916
15	0,3805		15	0,4231
20	0,5161		20	0,5381
25	0,6396		25	0,6465
30	0,7573		30	0,7575
35	0,852		35	0,852
40	0,9279		40	0,9279
45	0,9963		45	0,9963
50	1,0409		50	1,0409
55	1,035		55	1,035
60	0,9901		60	0,9901
65	0,9159		65	0,9159
70	0,8144		70	0,8144
75	0,676		75	0,676
80	0,4884		80	0,4884
85	0,2751		85	0,2751
90	0,0454		90	0,0454
95	-0,1941		95	-0,1941
100	-0,4378		100	-0,4378

Πίνακας 42. Damaged GZ – φ Damage Cases 8.1 – 8.2

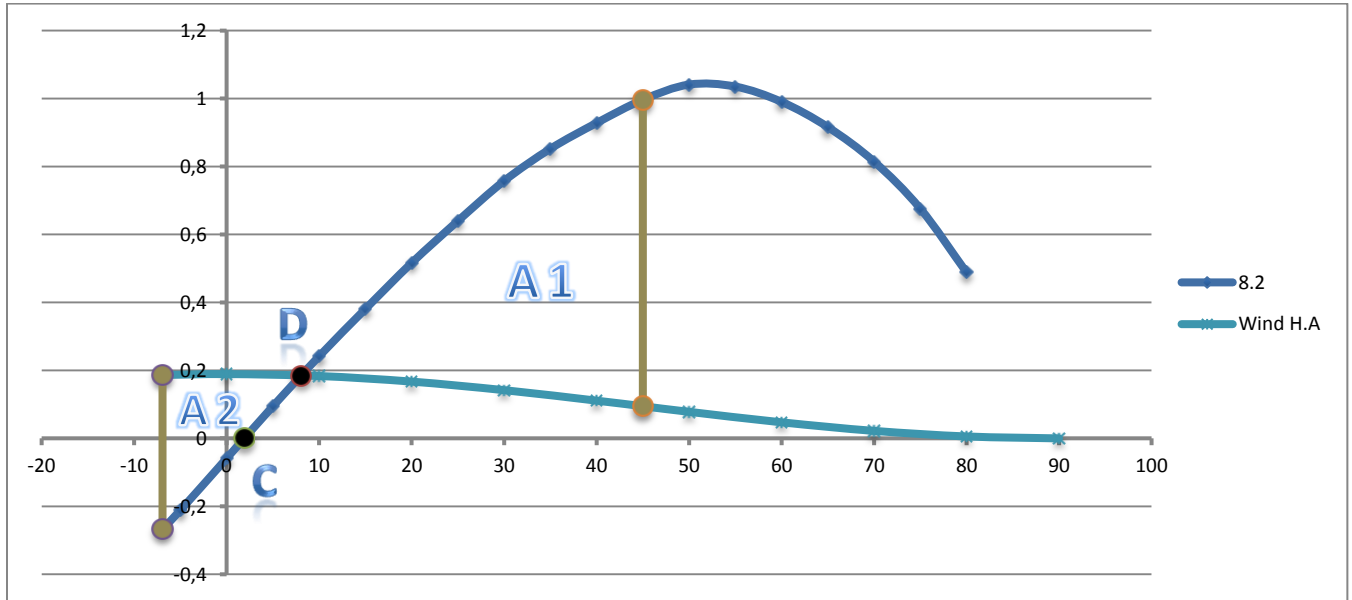
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 35. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 8.1 – 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D8.1	D8.2
GM	1,761	1,717

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D8.2. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



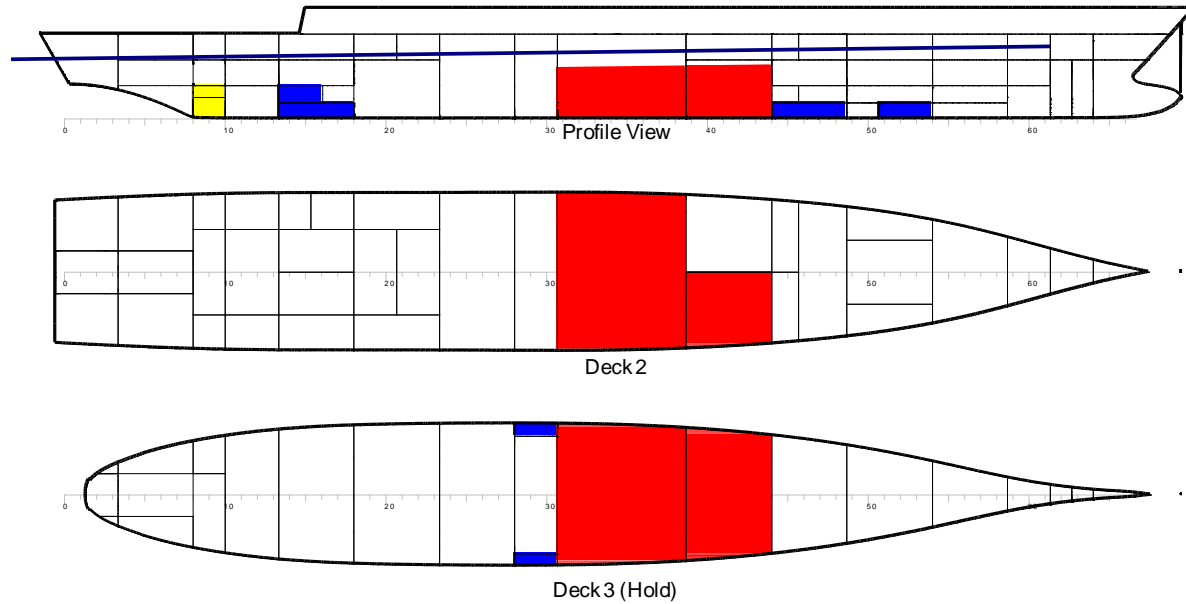
Σχήμα 36. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		8,0642	0,18447	-6,9358	-0,26723	45	0,9963
Intersection Point C		1,92	0	-6,9358	0,18631	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	18,445	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,433			1,92	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				18,445	4,806	OK	

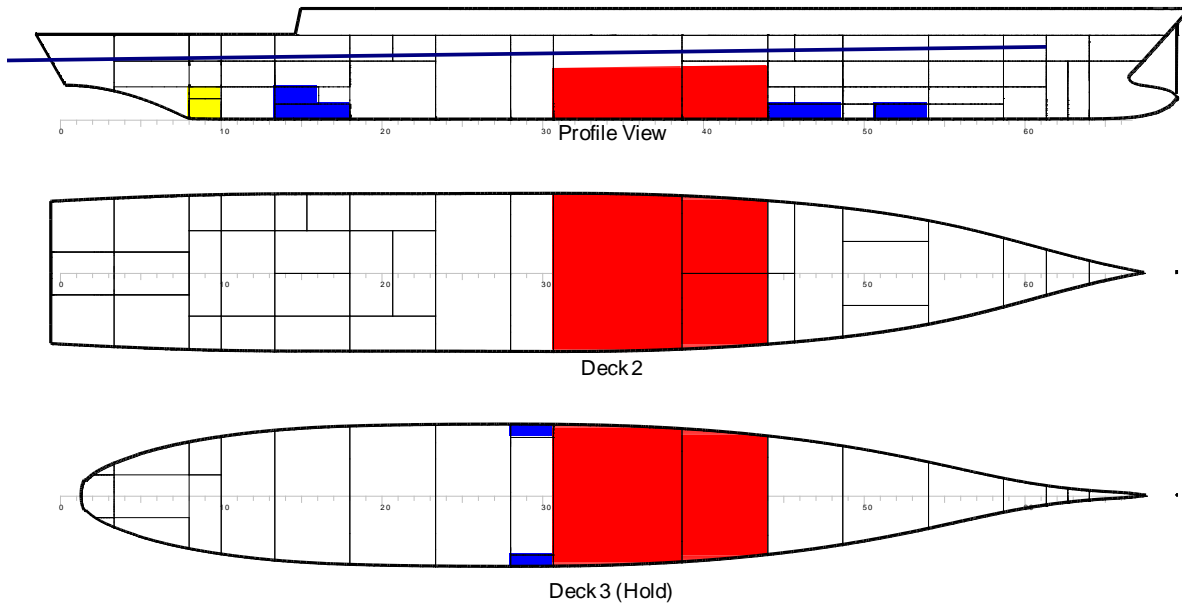
DAMAGE CASE 9

D 9.1



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3501.3	47.52	0.16	2.94
<i>Damaged</i>				<i>% perm</i>				
AUX.MACH.ROOM.NO2	39-44	85.0	71.7	1.026	-296.9	61.93	0.16	3.01
F.O_4(S)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	4.67	2.53
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	30.5	1.026	-345.6	51.88	0.17	2.86
GALLEY	39-44	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-674.5	56.54	0.39	2.91
Total Buoyancy					2826.8	45.37	0.10	2.95

D 9.2



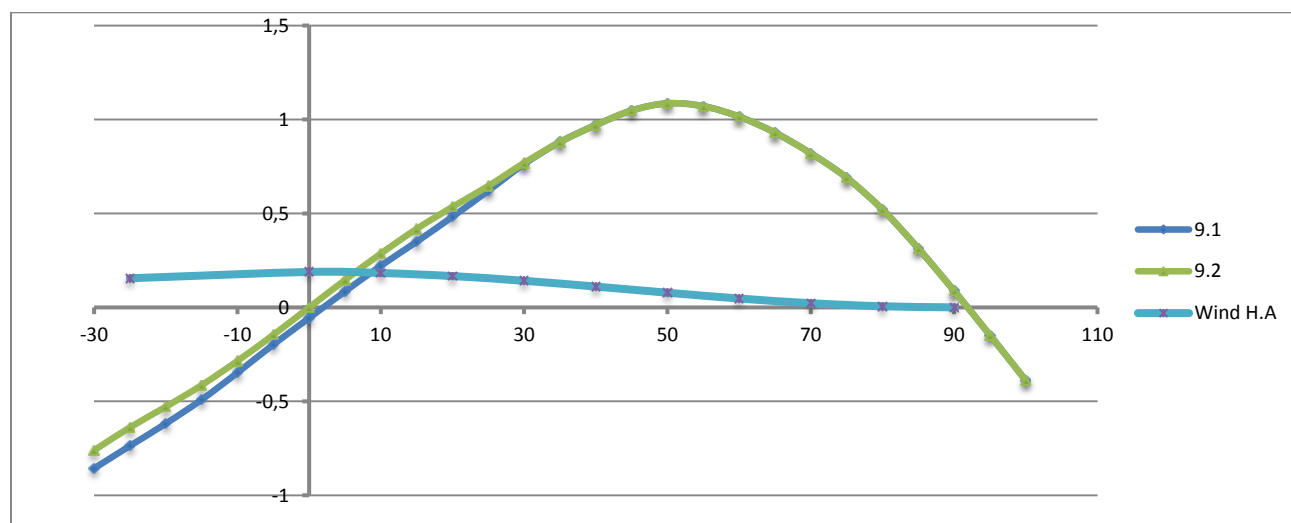
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3541.6	47.63	0.00	2.96
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AUX.MACH.ROOM.NO2	39-44	85.0	72.7	1.026	-301.2	61.93	0.00	3.04
CREW MESSRM.&LOUNGE	39-44	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_4(P)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	-4.67	2.53
F.O_4(S)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	4.67	2.53
F.O_SERV_2(P)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.3	53.07	-5.22	2.49
F.O_SERV_2(S)	32-39	95.0	95.0	1.026	-18.4	53.06	5.21	2.48
FWD.ENG.ROOM	31-39	60.0	30.9	1.026	-349.8	51.89	-0.00	2.88
GALLEY	39-44	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-714.7	56.56	0.00	2.91
Total Buoyancy					2826.8	45.37	0.00	2.98

DAMAGE CASE 9				
D9.1			D9.2	
-30	-0,8565		-30	-0,7606
-25	-0,7366		-25	-0,6384
-20	-0,618		-20	-0,5289
-15	-0,4909		-15	-0,414

-10	-0,3473		-10	-0,285
-5	-0,1976		-5	-0,1462
0	-0,0564		0	-0,0003
5	0,0851		5	0,1456
10	0,2216		10	0,2863
15	0,3495		15	0,4177
20	0,4825		20	0,5348
25	0,6207		25	0,6461
30	0,7629		30	0,7687
35	0,88		35	0,8801
40	0,9704		40	0,9704
45	1,0478		45	1,0478
50	1,0859		50	1,0859
55	1,0708		55	1,0708
60	1,0152		60	1,0152
65	0,9301		65	0,9301
70	0,8201		70	0,8201
75	0,6904		75	0,6904
80	0,521		80	0,521
85	0,3138		85	0,3138
90	0,0884		90	0,0884
95	-0,1477		95	-0,1477
100	-0,3886		100	-0,3886

Πίνακας 43. Damaged GZ – φ Damage Cases 9.1 – 9.2

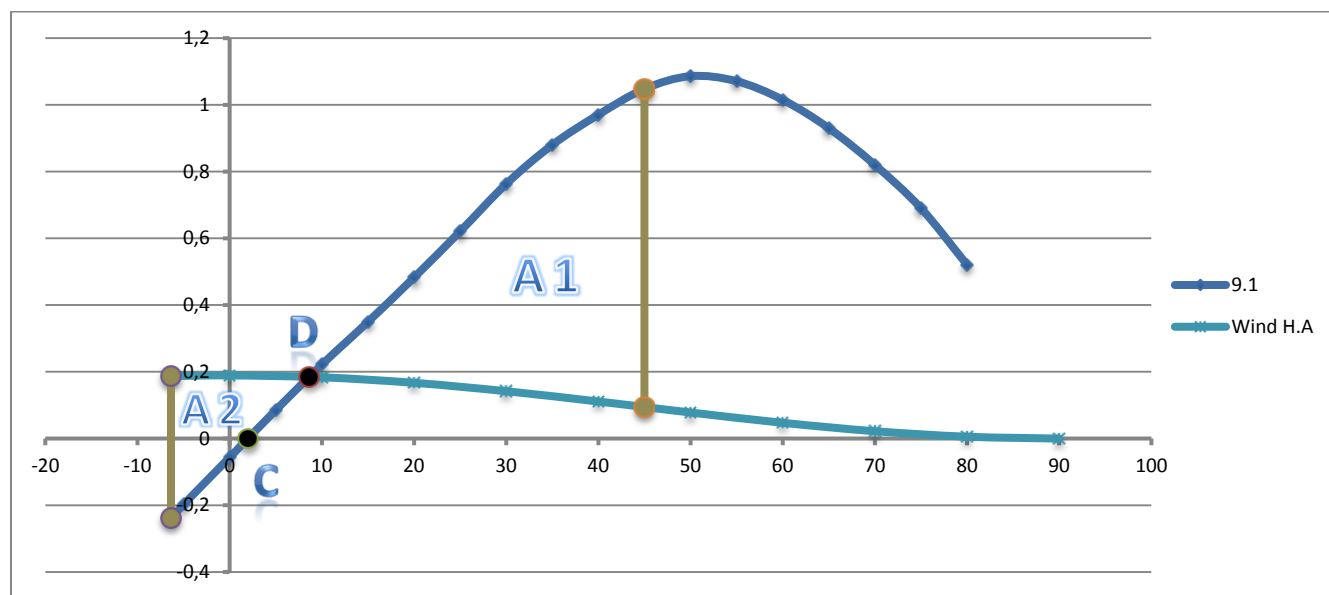
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 37. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 9.1 – 9.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D9.1	D9.2
GM	1,626	1,684

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D9.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



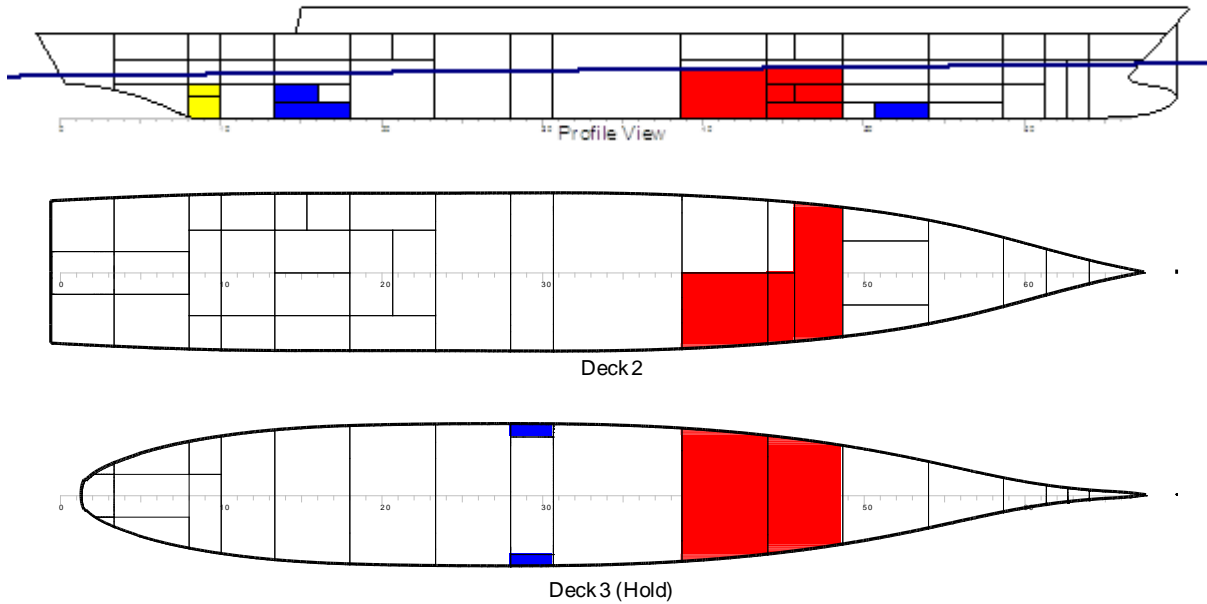
Σχήμα 38. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 9.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		8,6282	0,18415	-6,3718	-0,23867	45	1,0478
Intersection Point C		1,99	0	-6,3718	0,18674	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	18,457	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,181			1,99	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				18,457	4,454	OK	

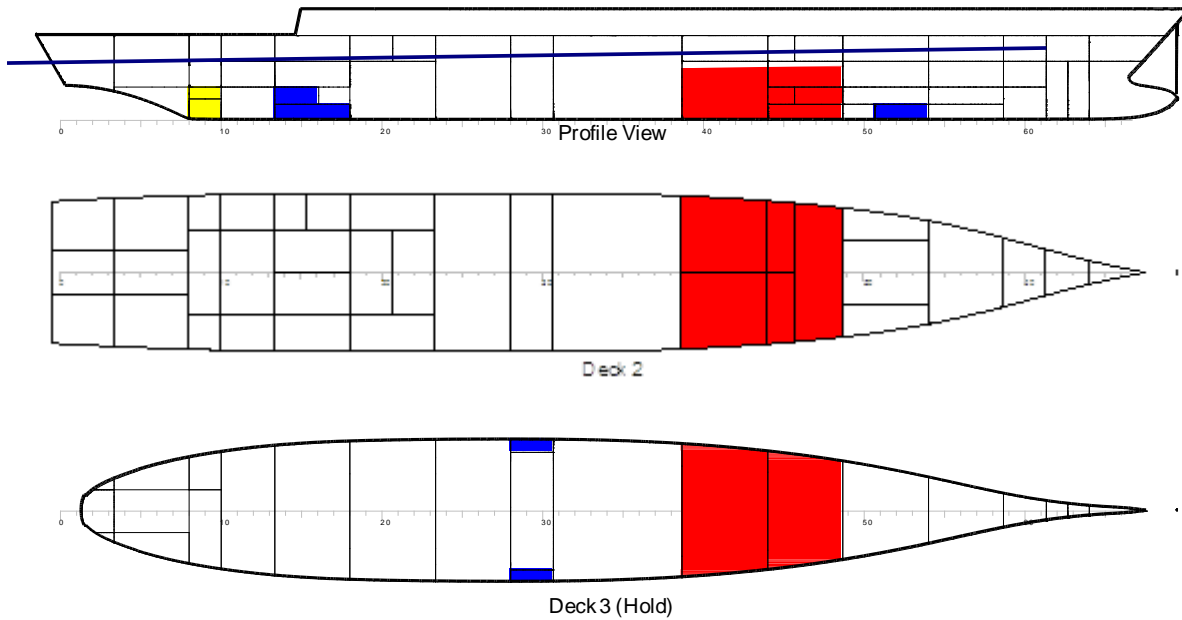
DAMAGE CASE 10

D 10.1



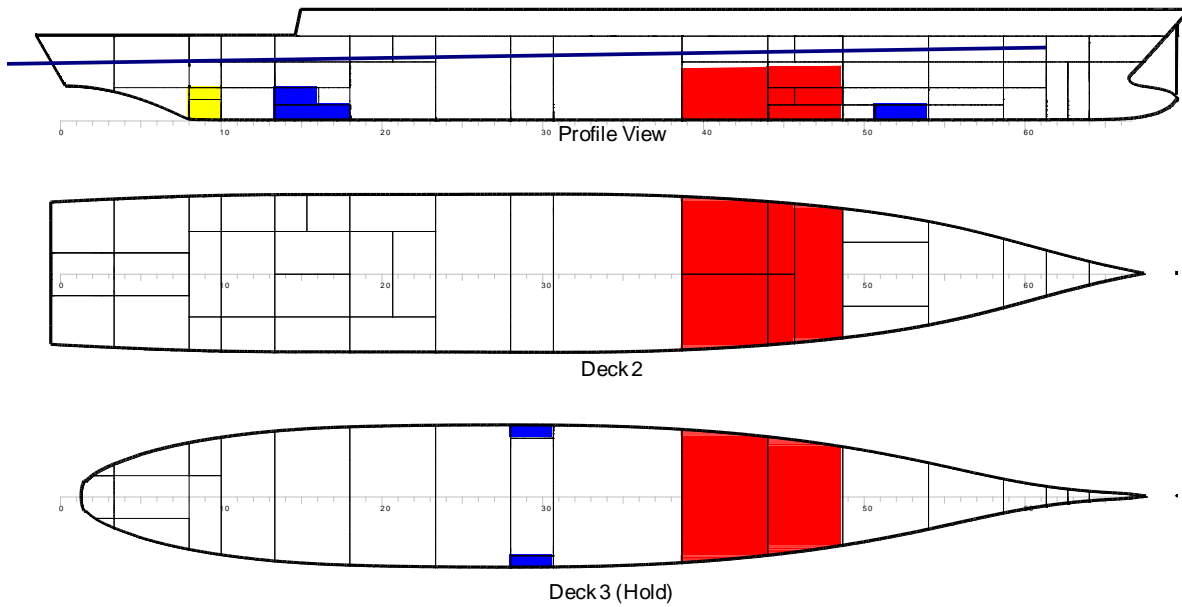
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3200.4	47.51	0.12	2.79
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
AUX.MACH.ROOM.NO2: Title	39-44	85.0	65.3	1.026	-270.7	61.93	0.12	2.84
CDHM: C.I.C EQPT RM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC: CHEMICAL WARFARE EQP	44-49	60.0	39.1	1.026	-77.6	69.44	0.19	3.93
CPO LIVING SPACE: CIC	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_4(S): F.O	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	4.67	2.53
F.O_5(S): F.O	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54
GALLEY: FLOOD.COMP9	39-44	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-373.6	63.73	0.41	3.05
Total Buoyancy					2826.8	45.36	0.08	2.75

D 10.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3313.6	48.20	0.06	2.85
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
AUX.MACH.ROOM.NO2	39-44	85.0	69.0	1.026	-285.9	61.93	0.06	2.94
C.I.C EQPT RM	44-46	60.0	60.0	1.026	-16.7	67.23	0.00	2.30
CDHM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC	44-49	60.0	44.1	1.026	-87.5	69.45	0.10	4.03
CPO LIVING SPACE	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW MESSRM.&LOUNGE	39-44	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
F.O_4(P)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	-4.67	2.53
F.O_4(S)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	4.67	2.53
F.O_5(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54
F.O_7(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	1.11	0.97
GALLEY	39-44	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
GYRO RM	46-49	95.0	95.0	1.026	-40.4	70.66	0.00	2.30
Total Damaged					-486.7	64.64	0.19	2.96
Total Buoyancy					2826.8	45.38	0.04	2.83

D 10.3

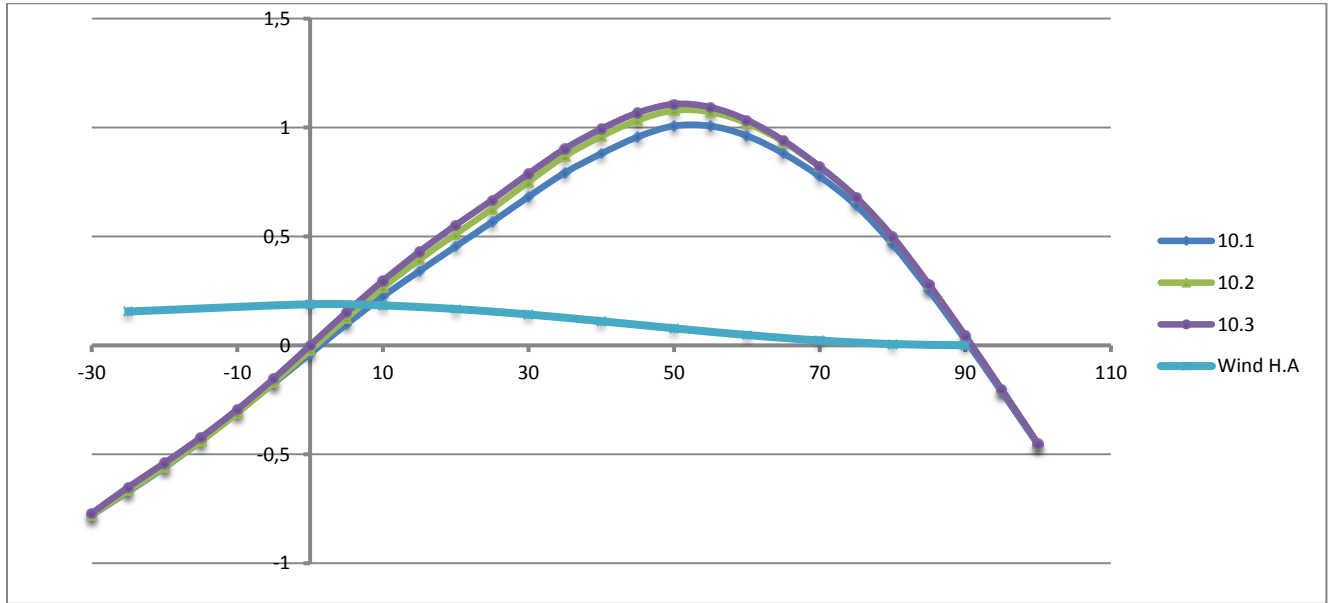


Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t-m)	S M
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17	0.0	
Buoyancy					3351.1	48.43	0.00	2.88	16797.9	
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>									
AUX.MACH.ROOM.NO2	39-44	85.0	70.2	1.026	-290.9	61.94	0.00	2.97	-1449.9	
C.I.C EQPT RM	44-46	60.0	60.0	1.026	-16.7	67.23	0.00	2.30	0.0	
CDHM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
CIC	44-49	60.0	45.8	1.026	-90.9	69.45	0.00	4.06	-681.1	
CPO LIVING SPACE	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
CREW MESSRM.&LOUNGE	39-44	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
F.O_4(P)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	-4.67	2.53	0.0	
F.O_4(S)	39-44	95.0	95.0	1.026	-13.5	61.85	4.67	2.53	0.0	
F.O_5(P)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	-3.82	2.54	0.0	
F.O_5(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54	0.0	
F.O_7(P)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	-1.11	0.97	0.0	
F.O_7(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	1.11	0.97	0.0	
GALLEY	39-44	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
GYRO RM	46-49	95.0	95.0	1.026	-40.4	70.66	0.00	2.30	0.0	
RADIO RM	44-46	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	
Total Damaged					-524.3	64.91	0.00	2.91	-2130.9	
Total Buoyancy					2826.8	45.38	0.00	2.87	14666.9	

DAMAGE CASE 10							
D10.1			D10.2			D10.3	
-30	-0,7806		-30	-0,7817		-30	-0,7709
-25	-0,6714		-25	-0,6676		-25	-0,6508
-20	-0,5607		-20	-0,5583		-20	-0,5397
-15	-0,4397		-15	-0,4405		-15	-0,422
-10	-0,3067		-10	-0,3114		-10	-0,2937
-5	-0,1739		-5	-0,1705		-5	-0,1523
0	-0,0385		0	-0,023		0	-0,0002
5	0,0972		5	0,1247		5	0,1518
10	0,225		10	0,2649		10	0,2964
15	0,3406		15	0,3933		15	0,4294
20	0,4542		20	0,5113		20	0,5517
25	0,5663		25	0,6266		25	0,6667
30	0,6822		30	0,7511		30	0,7879
35	0,7923		35	0,8685		35	0,9024
40	0,8801		40	0,9595		40	0,9935
45	0,9568		45	1,0334		45	1,0671
50	1,0074		50	1,0785		50	1,1073
55	1,0068		55	1,0711		55	1,0927
60	0,9619		60	1,0202		60	1,0339
65	0,8811		65	0,9339		65	0,9402
70	0,7748		70	0,8199		70	0,8201
75	0,642		75	0,6791		75	0,6791
80	0,4645		80	0,4982		80	0,4982
85	0,2533		85	0,2794		85	0,2794
90	0,0246		90	0,0433		90	0,0433
95	-0,2143		95	-0,2026		95	-0,2026
100	-0,4578		100	-0,4524		100	-0,4524

Πίνακας 44. Damaged GZ – φ Damage Cases 10.1 – 10.3

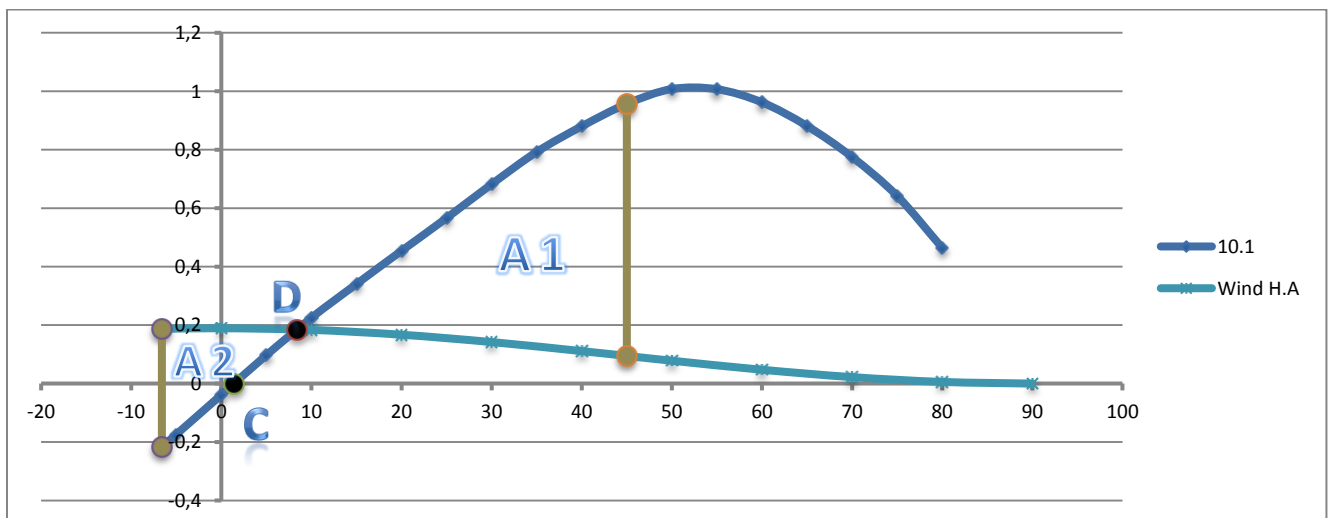
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 39. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 10.1 – 10.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D10.1	D10.2
GM	1,567	1,707

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D10.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



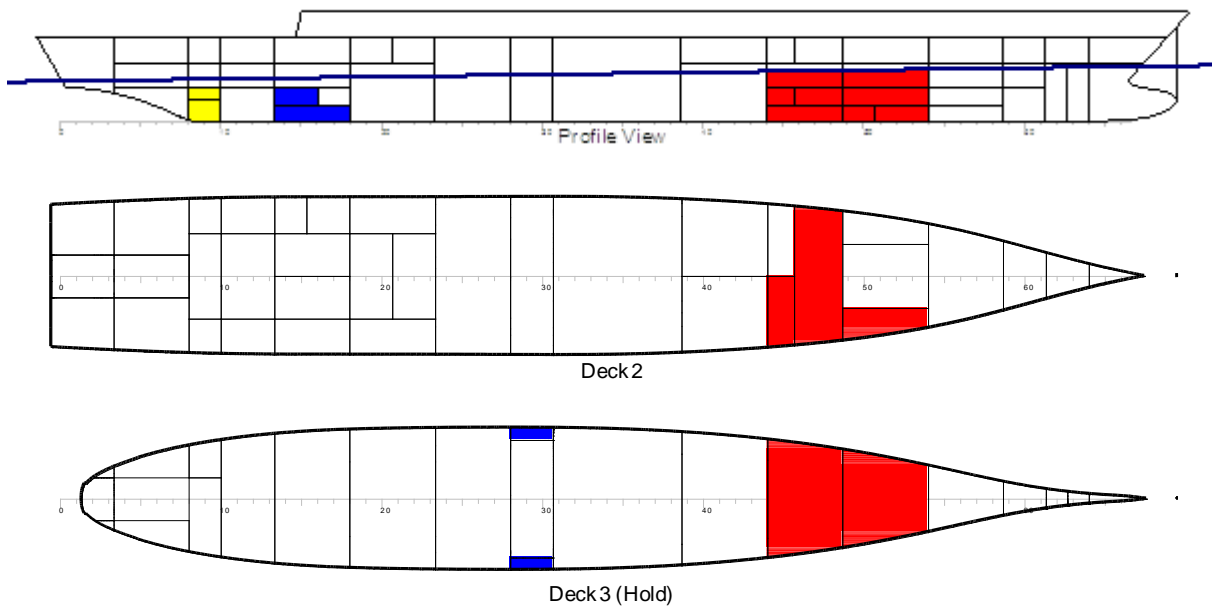
Σχήμα 40. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 10.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		8,40673	0,18428	-6,5933	-0,21622	45	0,9568
Intersection Point C		1,4	0	-6,5933	0,18658	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	18,457	Angle of heel after damage < 15 deg			X intersect. point C	Θ crit	
A2	3,181				1,4	15,00	OK
		A1 > 1.4 A2			A1	1.4 A2	
					16,493	4,232	OK

DAMAGE CASE 11

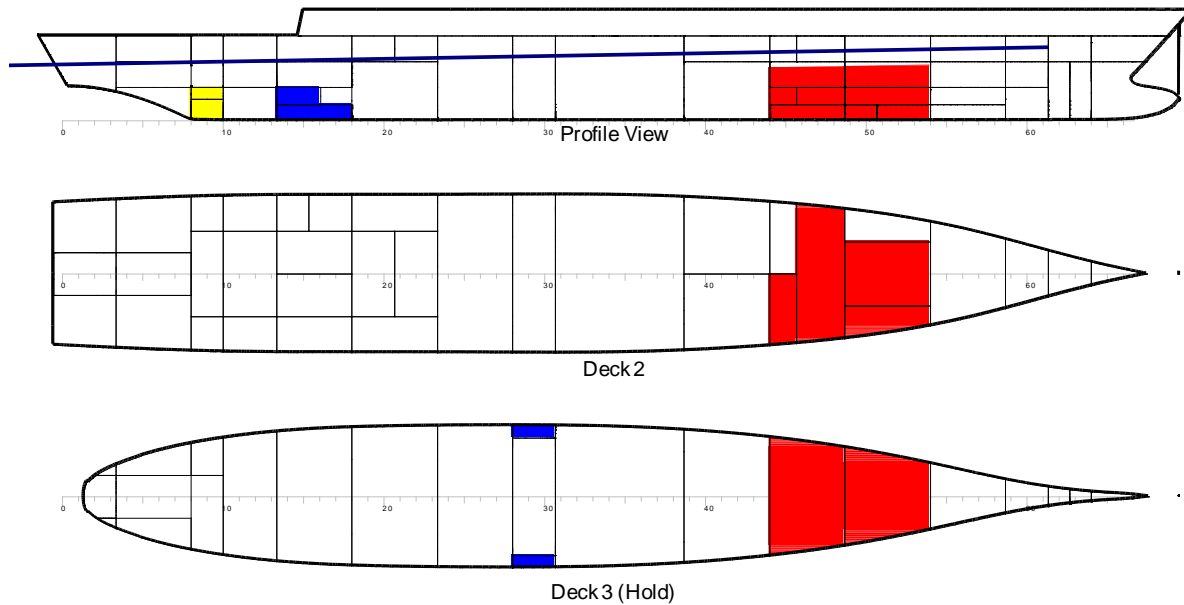
D 11.1



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
-------	--------	-------	--------	--------------	---------------	------------	------------	------------

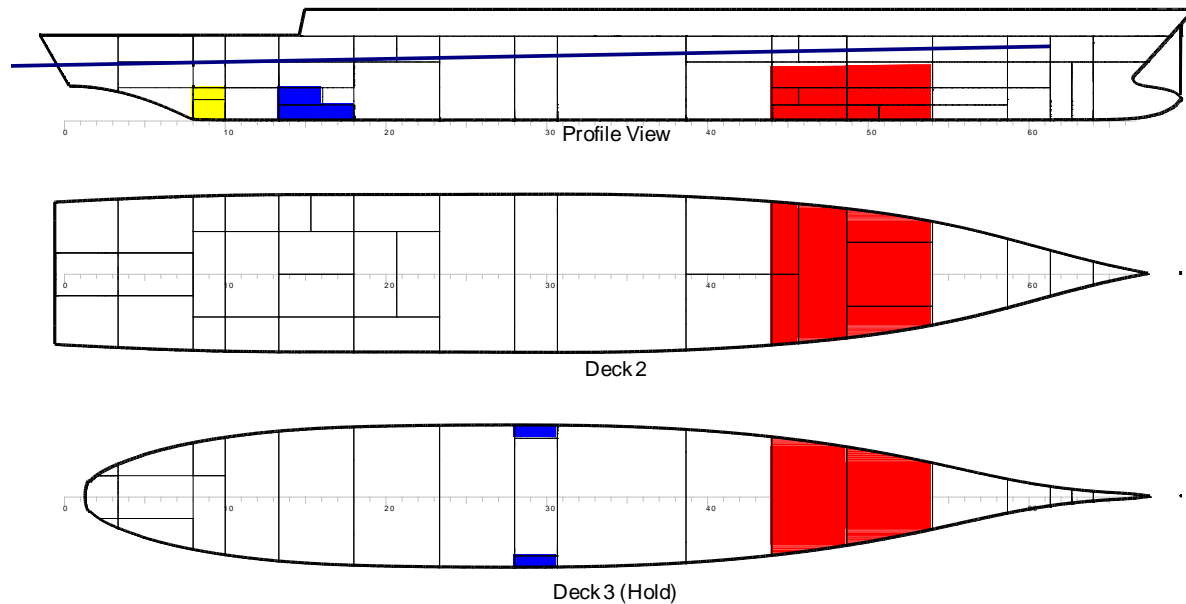
Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight (t/m3)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3134.7	48.25	0.05	2.76
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
CDHM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC	44-49	60.0	39.6	1.026	-78.5	69.45	0.08	3.94
CPO LIVING SPACE	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 3	49-54	95.0	65.8	1.026	-122.0	76.84	0.05	4.01
F.O_5(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54
F.O_8	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FWD BATTLE DRESS ST	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SONAR DOME ACCESS	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
Total Damaged					-307.9	74.65	0.19	3.34
Total Buoyancy					2826.8	45.37	0.03	2.70

D 11.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3235.4	48.96	0.06	2.82
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
C.I.C EQPT RM	44-46	60.0	60.0	1.026	-16.7	67.23	0.00	2.30
CDHM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC	44-49	60.0	44.3	1.026	-88.0	69.46	0.09	4.04
CPO LIVING SPACE	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 3	49-54	95.0	74.8	1.026	-138.7	76.85	0.07	4.12
F.O_5(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54
F.O_7(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	1.11	0.97
F.O_8	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FWD BATTLE DRESS ST	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
GYRO RM	46-49	95.0	95.0	1.026	-40.4	70.66	0.00	2.30
SONAR DOME ACCESS	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
VLS LAUNCHER	49-54	30.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-408.5	73.70	0.20	3.19
Total Buoyancy					2826.8	45.39	0.04	2.77

D 11.3



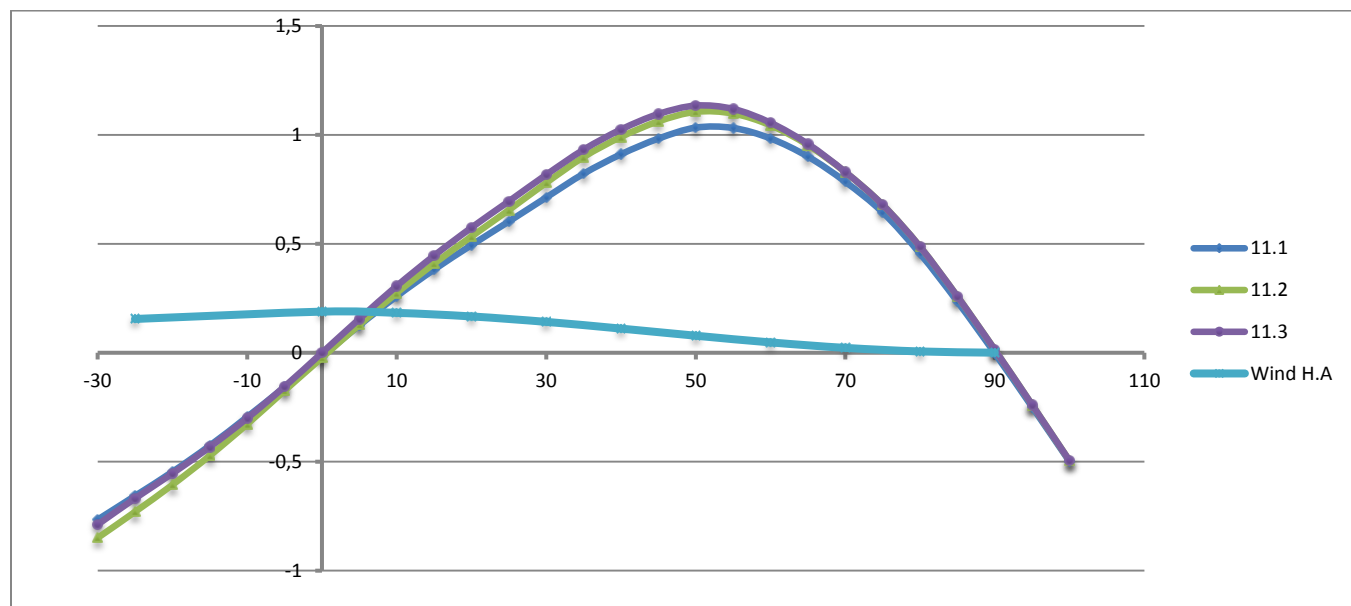
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3274.6	49.23	0.00	2.85
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
C.I.C EQPT RM	44-46	60.0	60.0	1.026	-16.7	67.23	0.00	2.30
CDHM	44-46	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CIC	44-49	60.0	46.1	1.026	-91.6	69.46	0.00	4.07
CPO LIVING SPACE	46-49	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
CREW LIVING SPACE 3	49-54	95.0	78.3	1.026	-145.1	76.86	0.00	4.16
F.O_5(P)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	-3.82	2.54
F.O_5(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-11.8	69.56	3.82	2.54
F.O_7(P)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	-1.11	0.97
F.O_7(S)	44-49	95.0	95.0	1.026	-17.4	69.28	1.11	0.97
F.O_8	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FAN.ROOM.3	49-54	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FWD BATTLE DRESS ST	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
GYRO RM	46-49	95.0	95.0	1.026	-40.4	70.66	0.00	2.30
RADIO RM	44-46	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SONAR DOME ACCESS	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
VLS LAUNCHER	49-54	30.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-447.8	73.43	0.00	3.13
Total Buoyancy					2826.8	45.39	0.00	2.80

DAMAGE CASE 11							
D11.1			D11.2			D11.3	
-30	-0,7663		-30	-0,8496		-30	-0,7889
-25	-0,6573		-25	-0,7302		-25	-0,6687
-20	-0,5469		-20	-0,6061		-20	-0,5542
-15	-0,4265		-15	-0,4724		-15	-0,4327
-10	-0,2947		-10	-0,3278		-10	-0,3005
-5	-0,1577		-5	-0,1741		-5	-0,1553
0	-0,0162		0	-0,023		0	-0,0002
5	0,1255		5	0,1281		5	0,1552
10	0,2593		10	0,2743		10	0,3064
15	0,3817		15	0,4089		15	0,4456
20	0,4942		20	0,5335		20	0,5744
25	0,6025		25	0,6548		25	0,6952
30	0,7128		30	0,78		30	0,8171
35	0,8219		35	0,8981		35	0,9322
40	0,911		40	0,9906		40	1,0248
45	0,983		45	1,0617		45	1,0957
50	1,0333		50	1,1056		50	1,1344
55	1,0316		55	1,0975		55	1,119
60	0,9835		60	1,0435		60	1,0554
65	0,9003		65	0,9525		65	0,9582

70	0,7847		70	0,8287		70	0,8296
75	0,6443		75	0,6787		75	0,6787
80	0,4546		80	0,4863		80	0,4863
85	0,234		85	0,258		85	0,258
90	-0,003		90	0,0135		90	0,0135
95	-0,2497		95	-0,2399		95	-0,2399
100	-0,5007		100	-0,4965		100	-0,4965

Πίνακας 45. Damaged GZ – φ Damage Cases 4.1 – 4.3

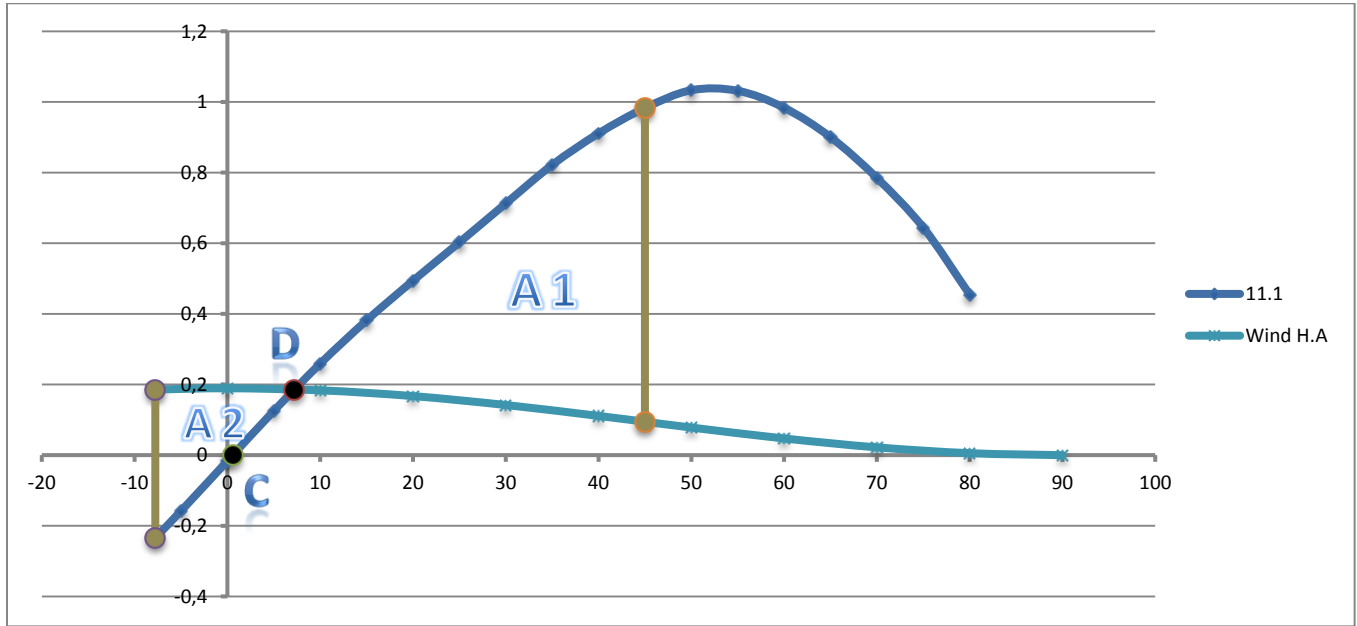
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 41. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 11.1 – 11.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D11.1	D11.2	D11.3
GM	1,643	1,745	1,797

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D11.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



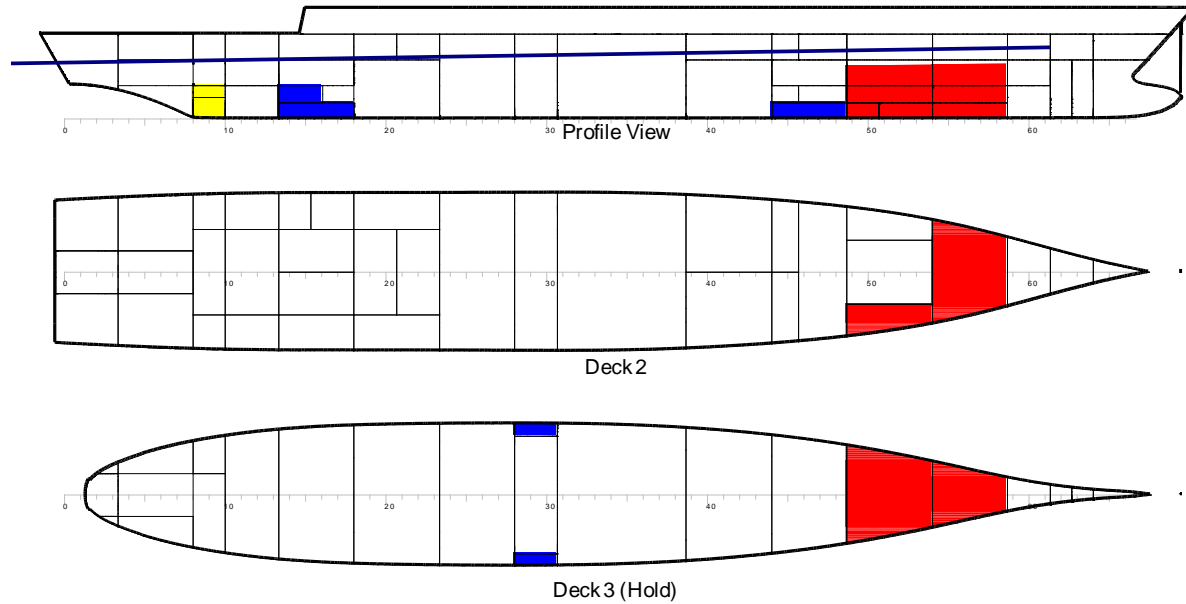
Σχήμα 42. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 11.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		7,22166	0,184952	-7,77834	-0,23383	45	0,983
Intersection Point C		0,56	0	-7,77834	0,185606	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	17,759	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,168			0,56	15,00		OK
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				17,759	4,435		OK

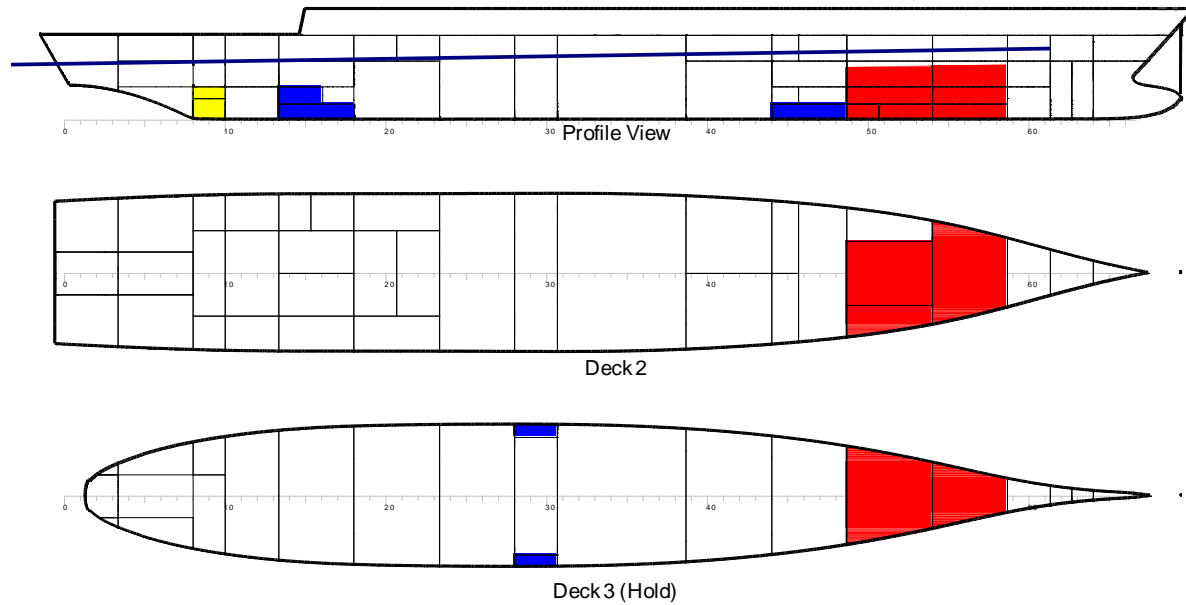
DAMAGE CASE 12

D 12.1



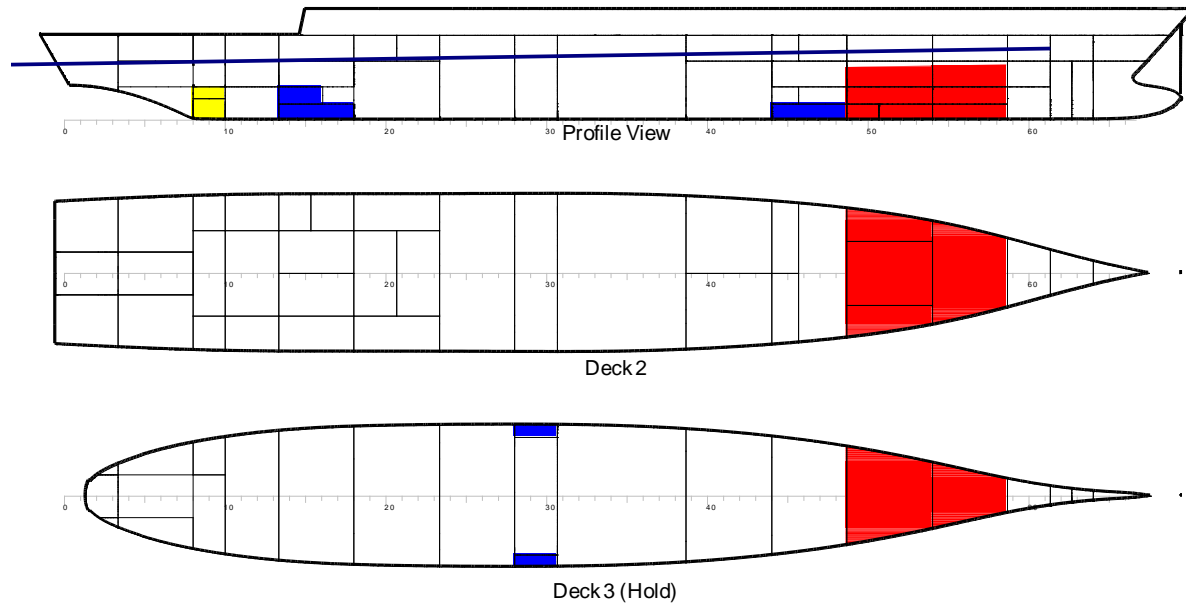
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3135.0	48.67	0.00	2.76
<i>Damaged</i>	<i>% perm</i>							
54CAL DRUM ROOM:	54-59	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
54CAL PJCTL STR: 54CAL PJCTL STR	54-59	60.0	45.3	1.026	-49.9	84.23	0.00	4.13
54CAL POWDER MGZ: STRM NO2	54-59	60.0	60.0	1.026	-23.8	84.13	0.00	2.39
CREW LIVING SPACE 3: CREW LIVING SPACE 2	49-54	95.0	68.4	1.026	-126.8	76.85	0.00	4.04
F.O_8: F.O	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FWD BATTLE DRESS ST: FLAMMABLE LIQUIDS	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SONAR DOME ACCESS: SHIP STORE ROOM	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT: SONAR DOME ACCESS	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
W.B_3: W.B	54-59	95.0	95.0	1.026	-12.0	84.17	0.00	0.99
Total Damaged					-308.3	78.87	0.00	3.20
Total Buoyancy					2826.8	45.38	0.00	2.72

D 12.2



Title	Frames	Cargo	% full	SG	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3135.0	48.67	0.00	2.76
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
54CAL DRUM ROOM	54-59	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
54CAL PICTL STR	54-59	60.0	45.3	1.026	-49.9	84.23	0.00	4.13
54CAL POWDER MGZ	54-59	60.0	60.0	1.026	-23.8	84.13	0.00	2.39
CREW LIVING SPACE 3	49-54	95.0	68.4	1.026	-126.8	76.85	0.00	4.04
F.O_8	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FWD BATTLE DRESS ST	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SONAR DOME ACCESS	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
VLS LAUNCHER	49-54	30.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_3	54-59	95.0	95.0	1.026	-12.0	84.17	0.00	0.99
Total Damaged					-308.3	78.87	0.00	3.20
Total Buoyancy					2826.8	45.38	0.00	2.72

D 12.3



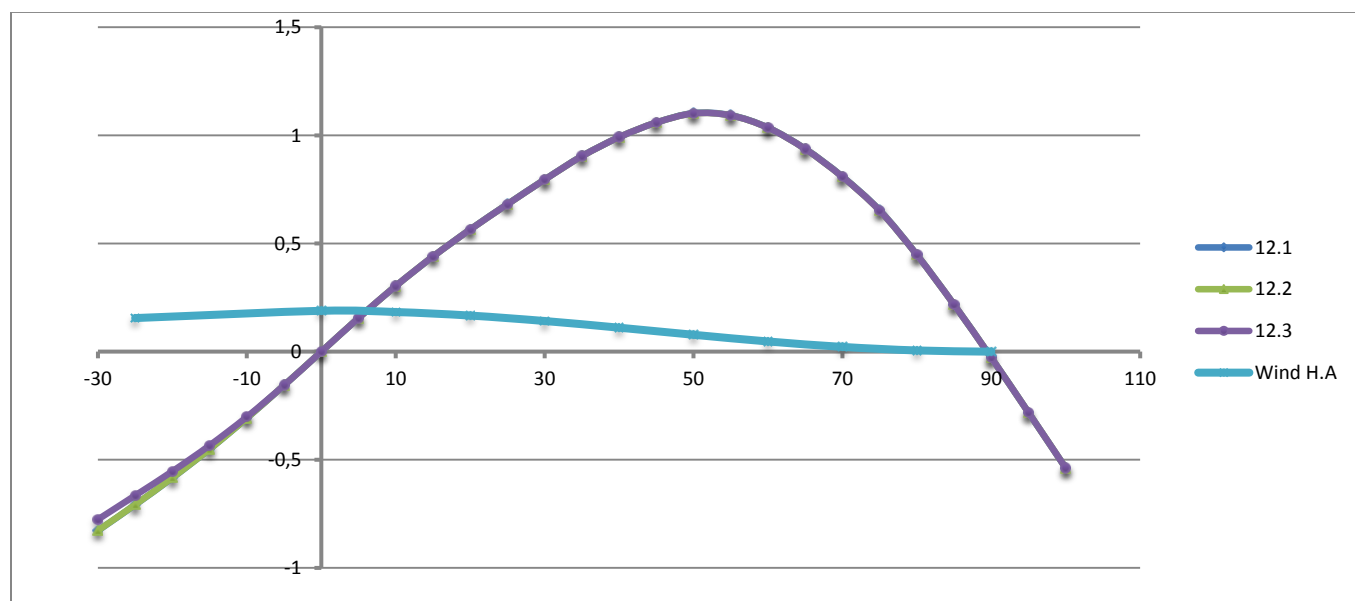
Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					3135.0	48.67	0.00	2.76
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
54CAL DRUM ROOM	54-59	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
54CAL PICTL STR	54-59	60.0	45.3	1.026	-49.9	84.23	0.00	4.13
54CAL POWDER MGZ	54-59	60.0	60.0	1.026	-23.8	84.13	0.00	2.39
CREW LIVING SPACE 3	49-54	95.0	68.4	1.026	-126.8	76.85	0.00	4.04
F.O_8	51-54	95.0	95.0	1.026	-13.8	78.34	0.00	1.00
FAN.ROOM.3	49-54	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
FWD BATTLE DRESS ST	49-54	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
SONAR DOME ACCESS	49-51	60.0	60.0	1.026	-7.0	74.45	0.00	0.99
SONAR EQPT	49-54	95.0	95.0	1.026	-74.8	76.70	0.00	2.38
VLS LAUNCHER	49-54	30.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
W.B_	54-59	95.0	95.0	1.026	-12.0	84.17	0.00	0.99
Total Damaged					-308.3	78.87	0.00	3.20
Total Buoyancy					2826.8	45.38	0.00	2.72

DAMAGE CASE 12							
D12.1			D12.2			D12.3	
-30	-0,8278		-30	-0,8272		-30	-0,7761
-25	-0,7083		-25	-0,7078		-25	-0,6654
-20	-0,5836		-20	-0,5832		-20	-0,5535
-15	-0,4509		-15	-0,4508		-15	-0,4336
-10	-0,3074		-10	-0,3074		-10	-0,3018
-5	-0,1558		-5	-0,1558		-5	-0,1558

0	-0,0002		0	-0,0002		0	-0,0002
5	0,1554		5	0,1554		5	0,1554
10	0,3034		10	0,3034		10	0,3034
15	0,4398		15	0,4397		15	0,4397
20	0,565		20	0,5646		20	0,5646
25	0,6821		25	0,6814		25	0,6814
30	0,7959		30	0,7952		30	0,7952
35	0,9041		35	0,9035		35	0,9035
40	0,9919		40	0,9915		40	0,9915
45	1,0593		45	1,0591		45	1,0591
50	1,103		50	1,1015		50	1,1015
55	1,0933		55	1,0921		55	1,0921
60	1,0359		60	1,0351		60	1,0351
65	0,9378		65	0,9368		65	0,9368
70	0,8096		70	0,8081		70	0,8081
75	0,6538		75	0,6522		75	0,6522
80	0,4479		80	0,4472		80	0,4472
85	0,2172		85	0,2167		85	0,2167
90	-0,0282		90	-0,0284		90	-0,0284
95	-0,2821		95	-0,2821		95	-0,2821
100	-0,539		100	-0,5388		100	-0,5388

Πίνακας 46. Damaged GZ – φ Damage Cases 12.1 – 12.3

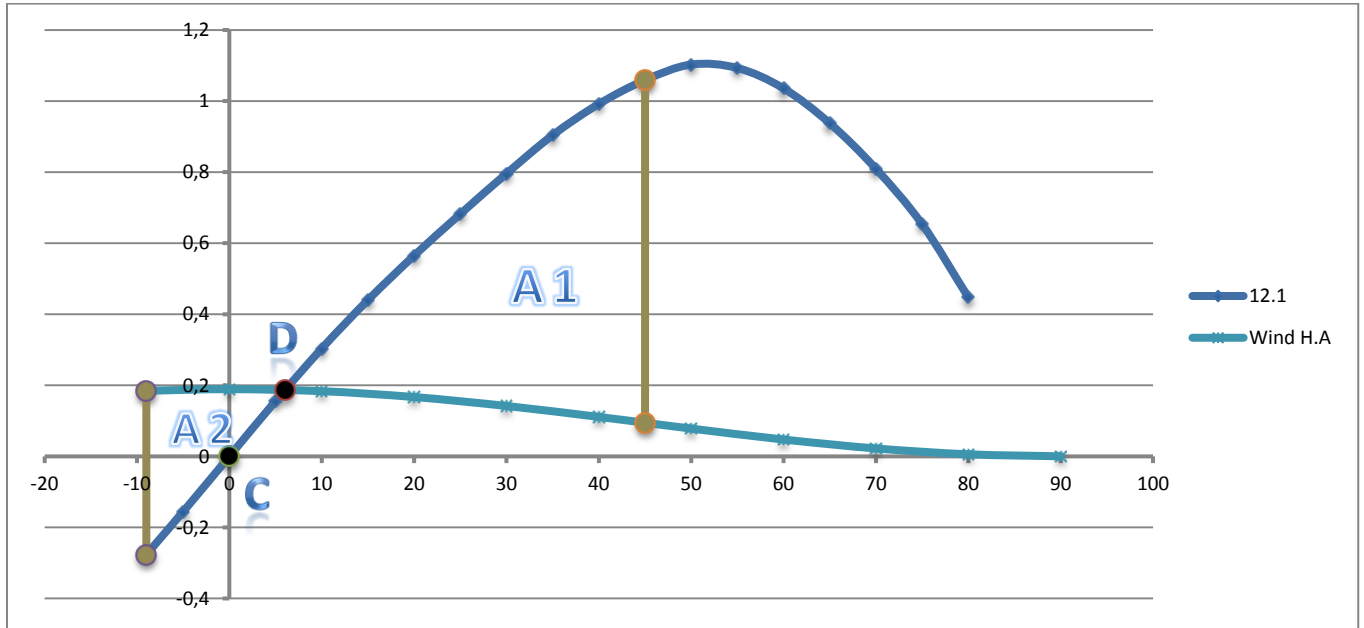
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 43. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 12.1 – 12.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D12.1	D12.2	D12.3
GM	1,806	1,806	1,806

Και οι τρεις περιπτώσεις εμφανίζουν ίδιο GM. Έτσι απομονώνουμε ένα από τα τρία διαγράμματα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.

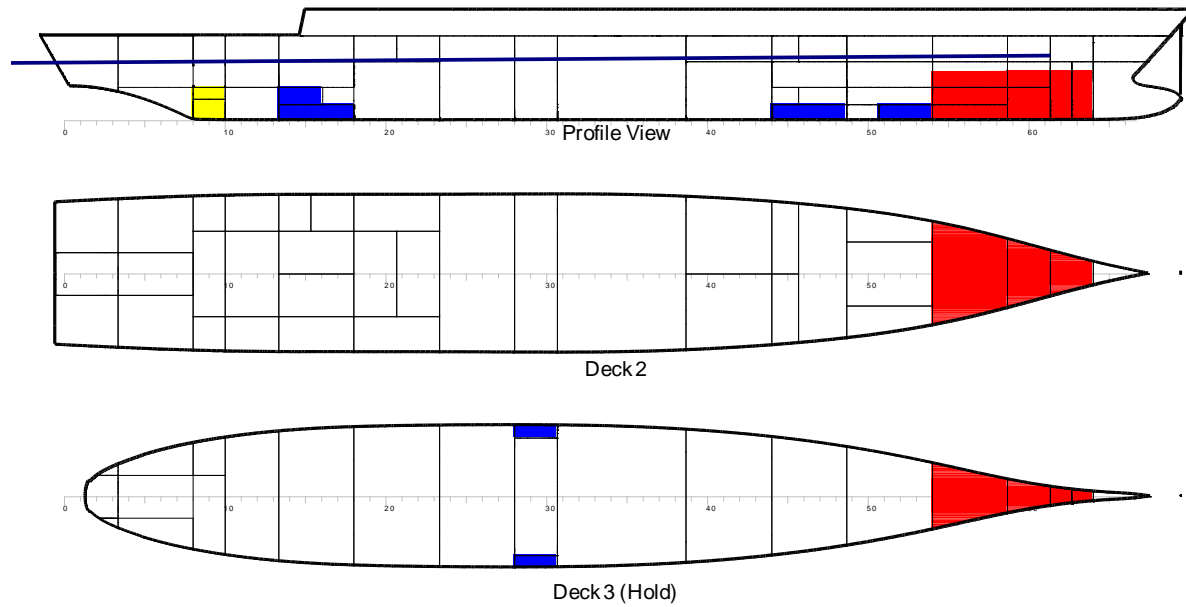


Σχήμα 44. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 12.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
	θ	z	θ	z	θ	z	
Intersection Point D		6,0215	0,185636	-8,97852	-0,27643	45	1,0593
Intersection Point C		0,01	0	-8,97852	0,184464	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	20,467	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,493			0,01	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				20,467	4,89	OK	

DAMAGE CASE 13

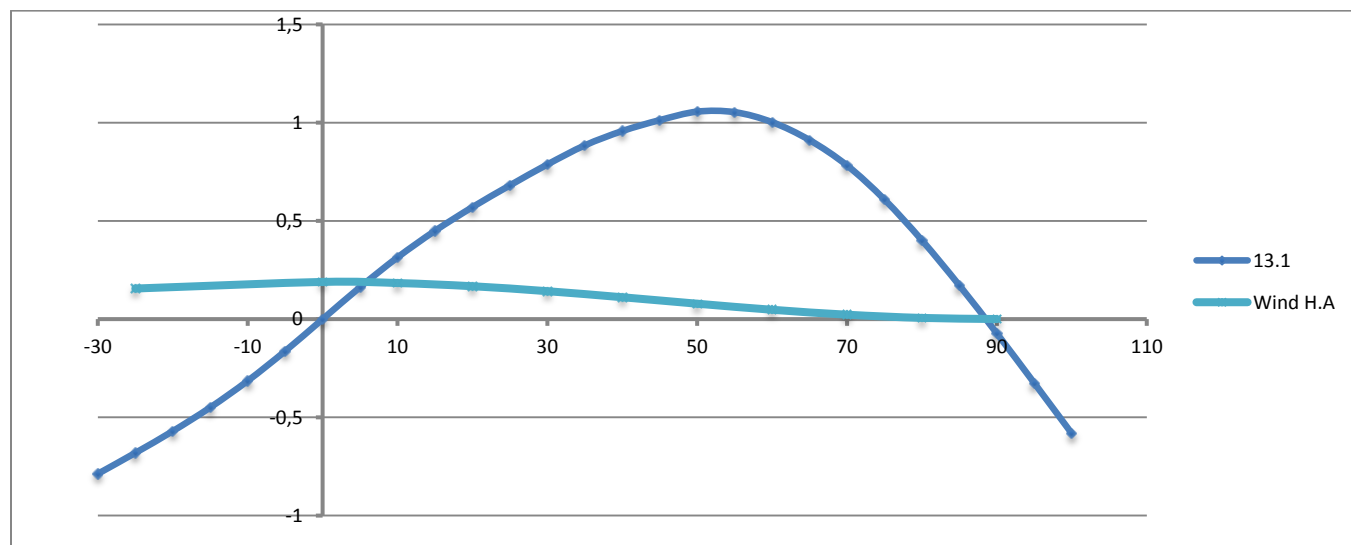


Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2941.4	46.97	0.00	2.64
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
54CAL DRUM ROOM	54-59	95.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
54CAL PJCTL STR	54-59	60.0	31.2	1.026	-34.3	84.19	0.00	3.84
54CAL POWDER MGZ	54-59	60.0	60.0	1.026	-23.8	84.13	0.00	2.39
CHAIN LOCKER	63-64	60.0	41.3	1.026	-5.4	94.95	0.00	2.72
REPAIR ROOM	59-61	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STRM.NO1	59-61	60.0	30.3	1.026	-11.2	89.82	0.00	3.88
W.B_3	54-59	95.0	95.0	1.026	-12.0	84.17	0.00	0.99
W.B_4	59-61	95.0	95.0	1.026	-16.4	89.86	0.00	2.00
W.B_5	61-63	95.0	63.6	1.026	-11.4	92.95	0.00	2.88
WINDLASS ROOM	61-64	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-114.6	86.91	0.00	2.83
Total Buoyancy					2826.8	45.35	0.00	2.63

DAMAGE CASE 13				
D13.1			30	0,7871
-30	-0,7875		35	0,8842
-25	-0,6811		40	0,9573
-20	-0,5704		45	1,0128
-15	-0,4497		50	1,056
-10	-0,3144		55	1,0532
-5	-0,163		60	1,0024
0	-0,0002		65	0,9109
5	0,1625		70	0,7819
10	0,314		75	0,6082
15	0,4493		80	0,4006
20	0,5699		85	0,1709
25	0,6806		90	-0,0735
			95	-0,3265
			100	-0,5825

Πίνακας 47. Damaged GZ – φ Damage Case 13

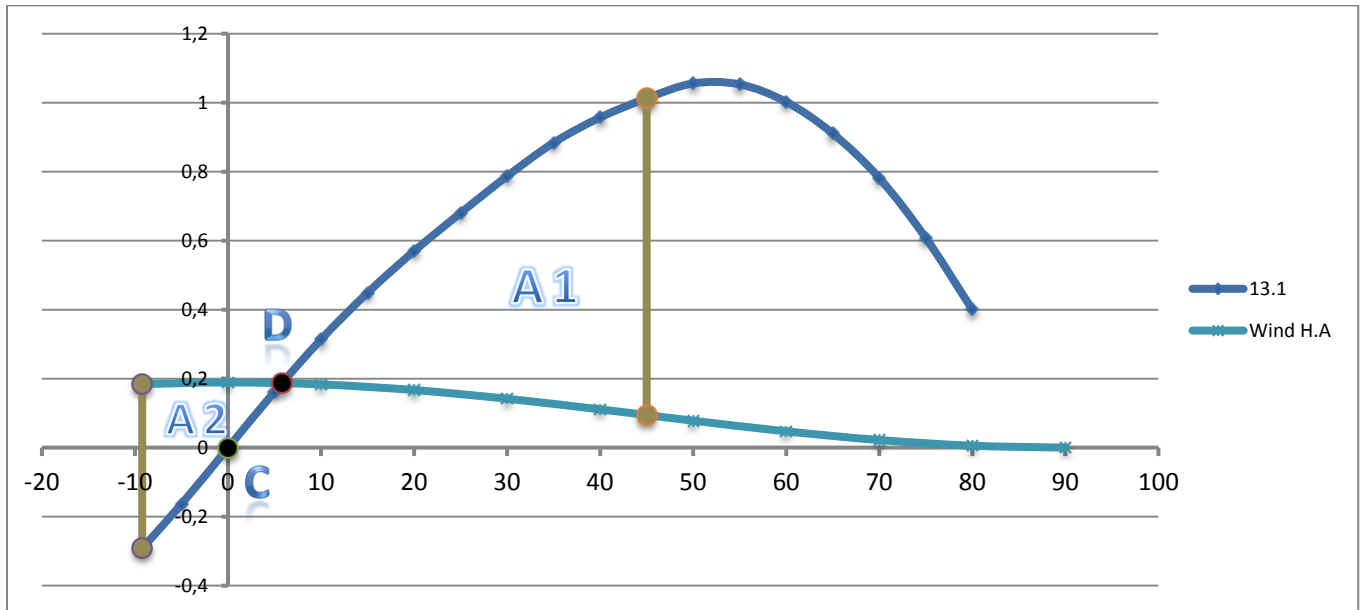
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 45. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμμένη κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D13.1
GM	1,887

Διαμορφώνουμε το διάγραμμα όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.

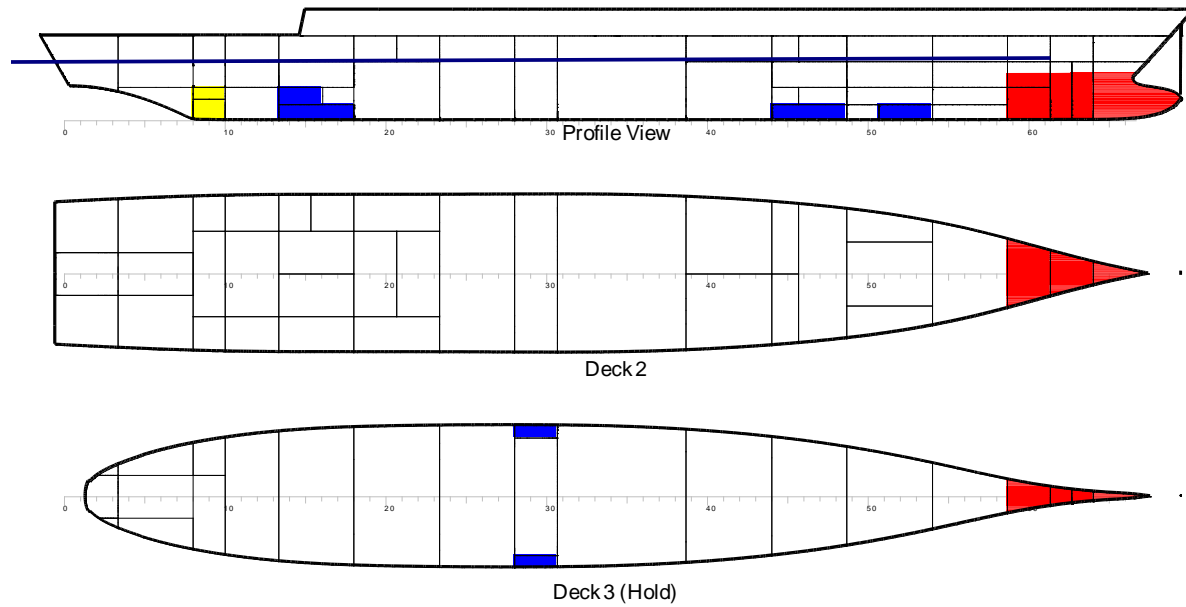


Σχήμα 46. Μογλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		5,7683	0,18578	-9,23167	-0,29114	45	1,0128
Intersection Point C		0,01	0	-9,23167	0,1842	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	20,163	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,633			0,01	15,00	OK	
		$A1 > 1.4 A2$		A1	1.4 A2		
				20,163	5,087	OK	

DAMAGE CASE 14

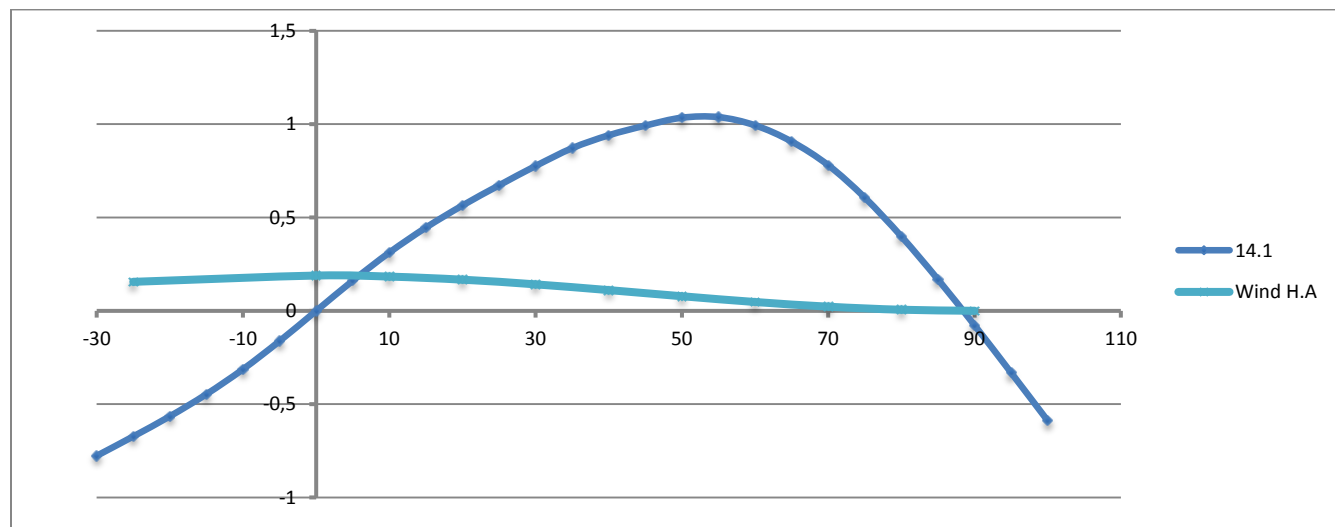


Title	Frames	Cargo	% full	SG (t/m3)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Total Displacement					2826.8	45.33	0.00	6.17
Buoyancy					2883.1	46.27	0.00	2.61
<i>Damaged</i>		<i>% perm</i>						
CHAIN LOCKER	63-64	60.0	38.0	1.026	-4.9	94.95	0.00	2.58
F.P.T	64-69	95.0	75.5	1.026	-14.9	98.98	0.00	2.09
FWD BOSN STORE	64-69	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
REPAIR ROOM	59-61	85.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
STRM.NO1	59-61	60.0	25.1	1.026	-9.3	89.82	0.00	3.76
W.B_4	59-61	95.0	95.0	1.026	-16.4	89.86	0.00	2.00
W.B_5	61-63	95.0	57.9	1.026	-10.4	92.95	0.00	2.72
WINDLASS ROOM	61-64	60.0	0.0	1.026	0.0	0.00	0.00	0.00
Total Damaged					-55.9	93.31	0.00	2.50
Total Buoyancy					2827.1	45.34	0.00	2.61

DAMAGE CASE 14				
D14.1				
-30	-0,7767		30	0,7762
-25	-0,6729		35	0,8717
-20	-0,565		40	0,9408
-15	-0,4465		45	0,9925
-10	-0,3127		50	1,0348
-5	-0,162		55	1,038
0	-0,0002		60	0,994
5	0,1615		65	0,907
10	0,3122		70	0,7802
15	0,446		75	0,6063
20	0,5645		80	0,3986
25	0,6724		85	0,1682
			90	-0,0773
			95	-0,3314
			100	-0,5887

Πίνακας 48. Damaged GZ – φ Damage Cases 14

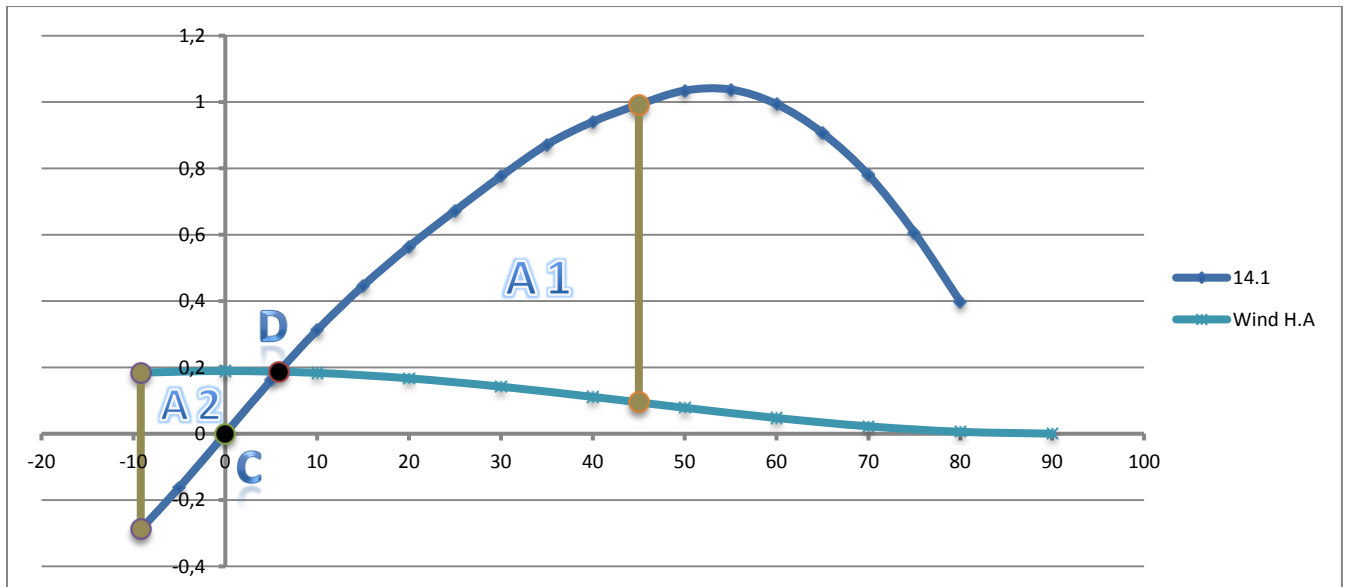
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 47. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμμένη κατάσταση 14.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D14.1
GM	1,88

Διαμορφώνουμε το διάγραμμα όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 48. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 14.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		5,80489	0,185759	-9,19511	-0,28844	45	0,9925
Intersection Point C		0,01	0	-9,19511	0,184241	45	0,09453
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	19,817	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,612			0,01	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				19,817	5,056	OK	

Minimum Operation Loads (MINOP) Condition

DAMAGE CASE 1

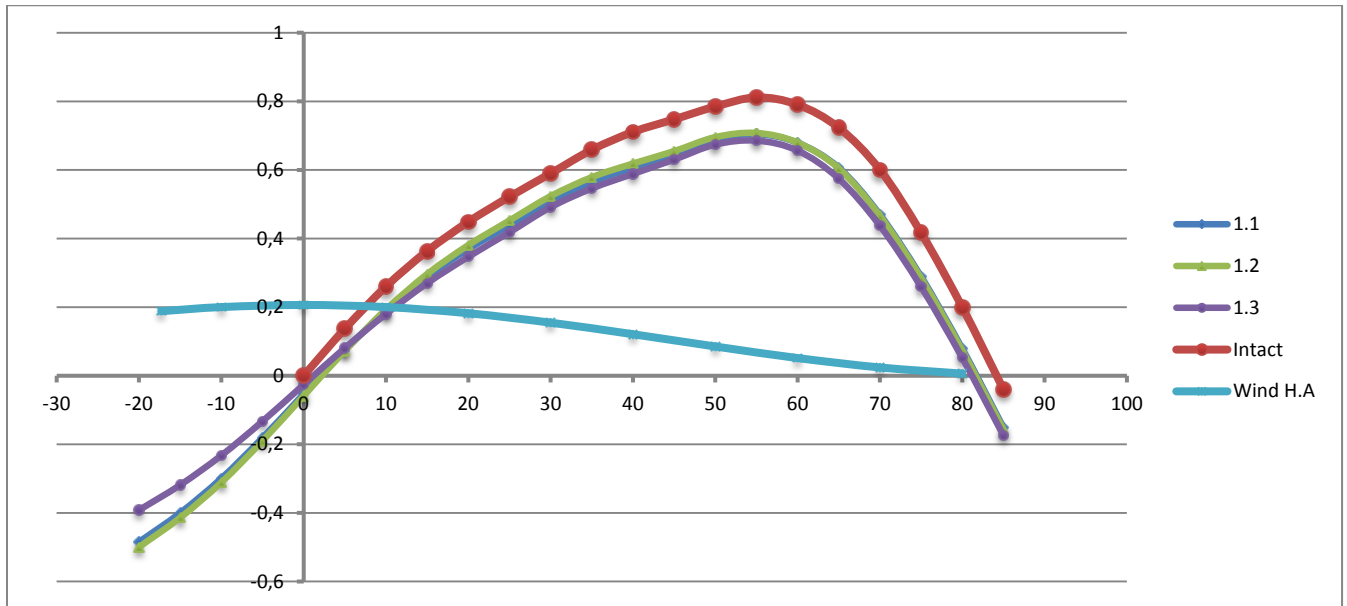
DAMAGE CASE 1							
D1.1		D1.2		D1.3			
-20	-0,4848	-20	-0,4999	-20	-0,3919		
-15	-0,4001	-15	-0,4144	-15	-0,3187		
-10	-0,2995	-10	-0,3116	-10	-0,2326		
-5	-0,1813	-5	-0,1904	-5	-0,133		
0	-0,0535	0	-0,0591	0	-0,0261		
5	0,0736	5	0,072	5	0,0807		
10	0,1899	10	0,1928	10	0,18		
15	0,2891	15	0,296	15	0,2695		
20	0,3692	20	0,3804	20	0,3467		
25	0,438	25	0,4523	25	0,418		
30	0,5071	30	0,5233	30	0,4913		
35	0,5646	35	0,5786	35	0,546		
40	0,6066	40	0,6183	40	0,5885		
45	0,6452	45	0,6545	45	0,6302		
50	0,6891	50	0,6954	50	0,674		
55	0,7044	55	0,7076	55	0,6856		
60	0,6791	60	0,6796	60	0,6564		
65	0,6067	65	0,6043	65	0,5746		
70	0,4698	70	0,4659	70	0,4375		
75	0,2892	75	0,2844	75	0,2592		
80	0,0792	80	0,0737	80	0,0523		
85	-0,1506	85	-0,1567	85	-0,1738		
90	-0,3919	90	-0,3992	90	-0,4115		
95	-0,6362	95	-0,648	95	-0,6551		
100	-0,881	100	-0,8973	100	-0,8991		

Πίνακας 49. Damaged GZ – φ Damage Cases 1.1 – 1.3

INTACT			
0	0		
5	0,1367	55	0,8113
10	0,2601	60	0,7901
15	0,3632	65	0,7229
20	0,4485	70	0,6001
25	0,5216	75	0,4165
30	0,5897	80	0,1995
35	0,6587	85	-0,0400
40	0,7105	90	-0,2939
45	0,7475	95	-0,5558
50	0,7846	100	-0,8201

Η intact GZ – φ σχεδιάστηκε μόνο στην πρώτη περίπτωση για να δείξουμε, αυτό που γνωρίζουμε από τη θεωρία, ότι δηλαδή όλες οι damaged GZ θα βρίσκονται κάτω από αυτή και δεν θα ξανασχεδιαστεί στις επόμενες περιπτώσεις, για λόγους απλότητας του σχήματος.

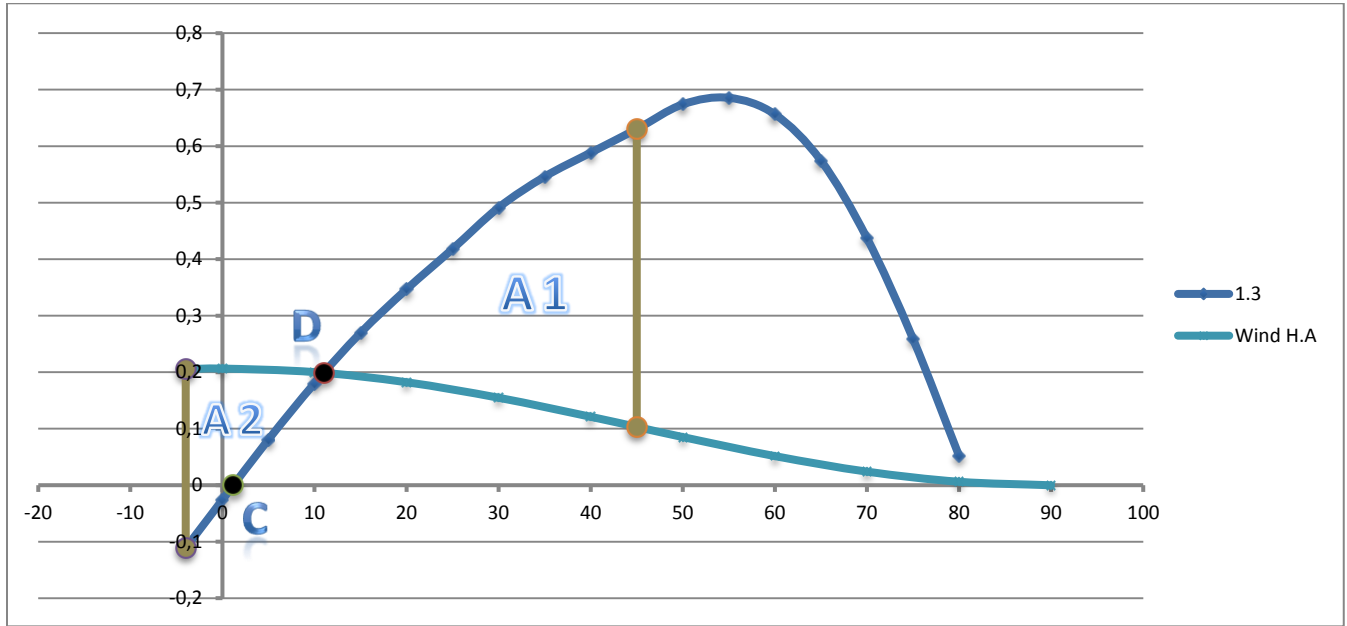
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 49. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 1.1 – 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D1.1	D1.2	D1.3
GM	1,461	1,503	1,237

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D1.3. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 50. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 1.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

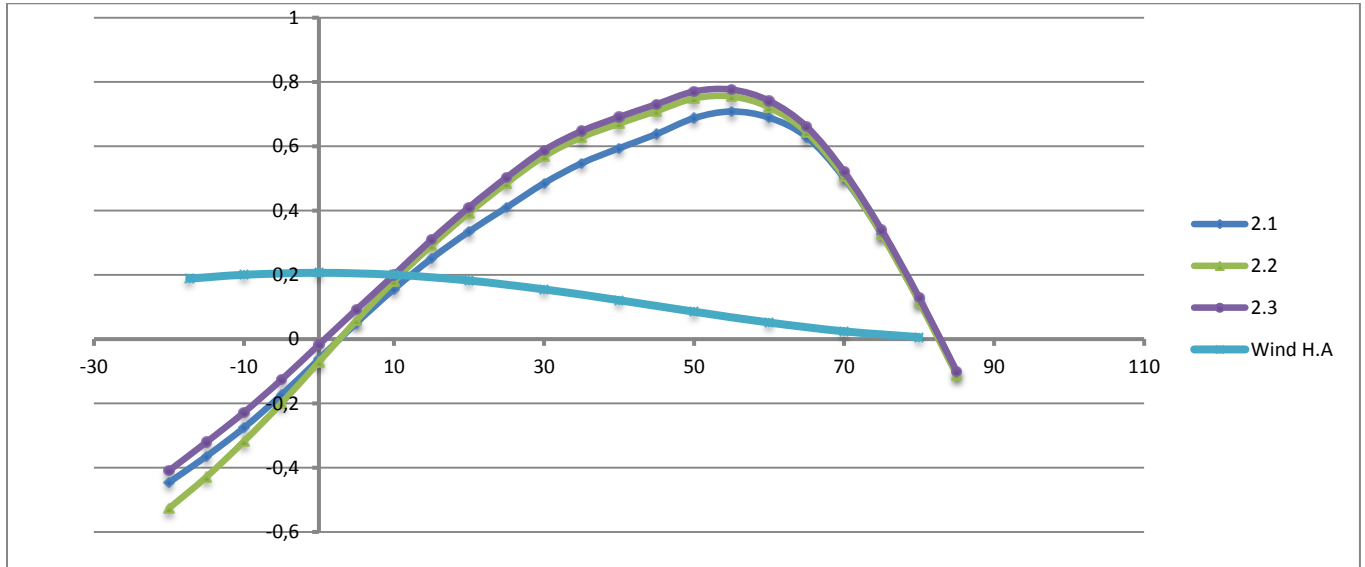
		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)	
		θ	z	θ	z
Intersection Point D		11,0232	0,19832	-3,97677	-0,1111
Intersection Point C		1,2	0	-3,97677	0,20538
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
A1	9,799	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit
A2	2,346			1,20	15,00 OK
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2
				9,799	3,285 OK

DAMAGE CASE 2

DAMAGE CASE 2							
D2.1		D2.2		D2.3			
-20	-0,4456	-20	-0,526	-20	-0,4091		
-15	-0,3645	-15	-0,4285	-15	-0,3203		
-10	-0,2754	-10	-0,3179	-10	-0,2279		
-5	-0,1735	-5	-0,199	-5	-0,126		
0	-0,0621	0	-0,0708	0	-0,0169		
5	0,0505	5	0,0588	5	0,0924		
10	0,1556	10	0,1812	10	0,1998		
15	0,2508	15	0,2913	15	0,3094		
20	0,3346	20	0,3928	20	0,4104		
25	0,4096	25	0,4852	25	0,5032		
30	0,485	30	0,5686	30	0,5878		
35	0,547	35	0,6276	35	0,6473		
40	0,5939	40	0,6705	40	0,6911		
45	0,6379	45	0,7095	45	0,7308		
50	0,6875	50	0,7488	50	0,7704		
55	0,708	55	0,7548	55	0,7762		
60	0,689	60	0,721	60	0,7414		
65	0,6287	65	0,6431	65	0,6608		
70	0,5007	70	0,5053	70	0,5211		
75	0,3269	75	0,3252	75	0,3395		
80	0,1227	80	0,1164	80	0,1293		
85	-0,1021	85	-0,1119	85	-0,1005		
90	-0,3399	90	-0,3526	90	-0,3425		
95	-0,5843	95	-0,5982	95	-0,5891		
100	-0,8288	100	-0,8443	100	-0,8366		

Πίνακας 50. Damaged GZ – φ Damage Cases 2.1 – 2.3

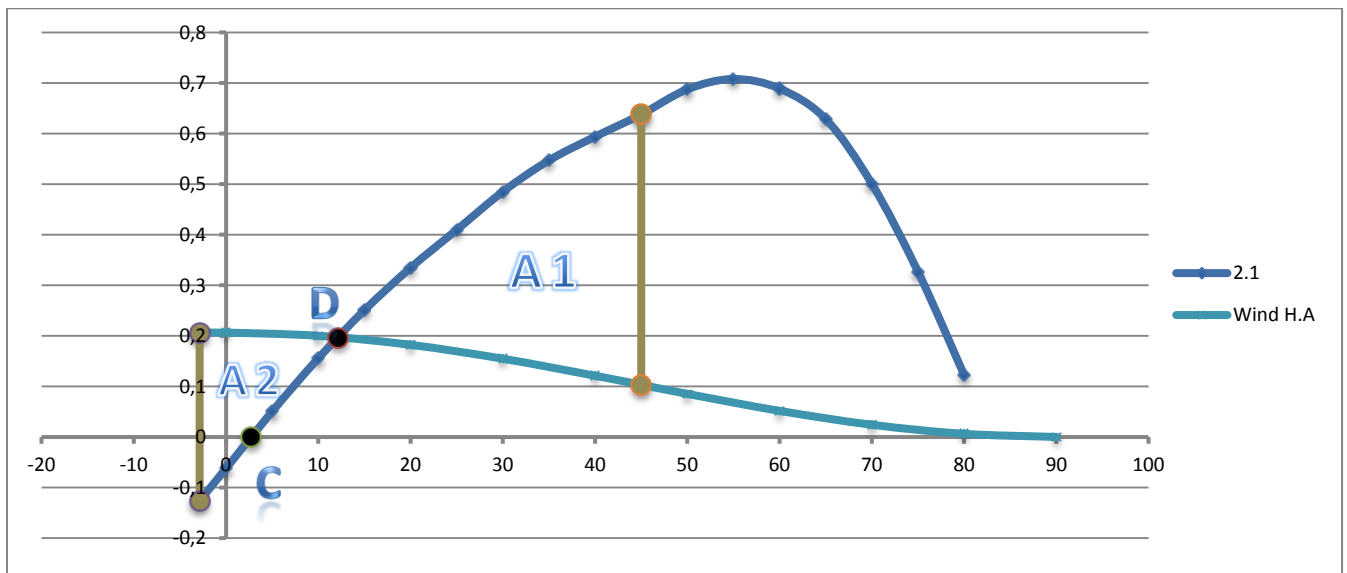
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 51. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 2.1 – 2.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D2.1	D2.2	D2.3
GM	1,289	1,484	1,264

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D2.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια



Σχήμα 52. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 2.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

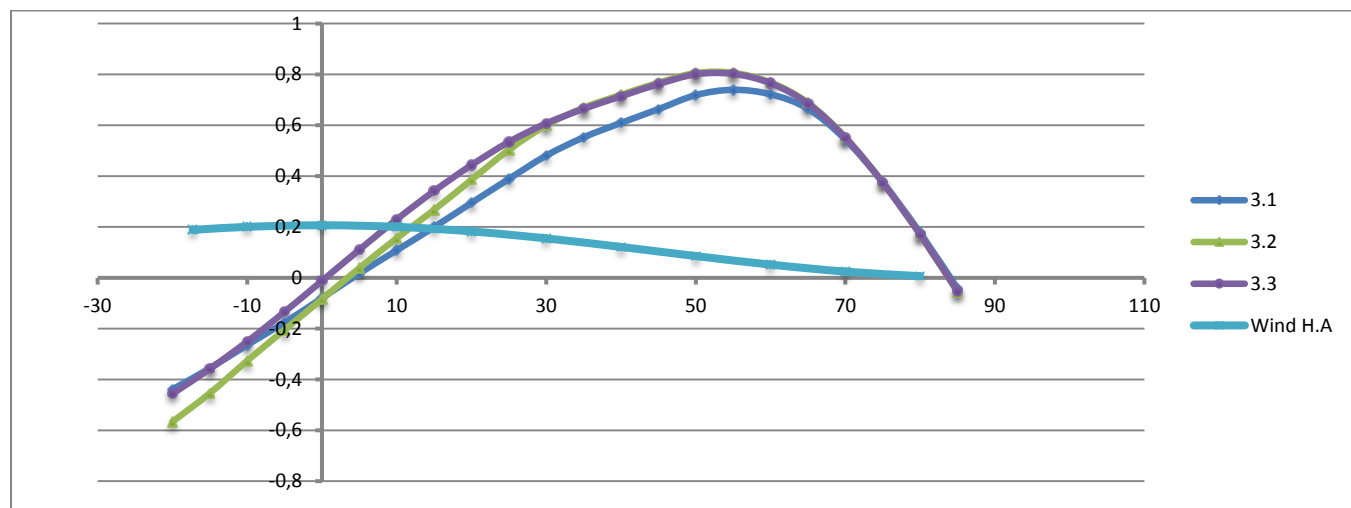
		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
		θ	z	θ	z		
Intersection Point D		12,13852	0,19632	-2,86148	-0,12585	45	0,6379
Intersection Point C		2,73	0	-2,86148	0,205858	45	0,10386
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	9,599	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,453			2,73	15,00		OK
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				9,599	3,434		OK

DAMAGE CASE 3

DAMAGE CASE 3							
D3.1			D3.2			D3.3	
-20	-0,4386		-20	-0,5669		-20	-0,4562
-15	-0,3559		-15	-0,4547		-15	-0,3582
-10	-0,2641		-10	-0,3269		-10	-0,2507
-5	-0,1758		-5	-0,2051		-5	-0,134
0	-0,08		0	-0,0843		0	-0,0119
5	0,0171		5	0,0378		5	0,1106
10	0,1081		10	0,1552		10	0,2299
15	0,1994		15	0,267		15	0,3416
20	0,2946		20	0,3852		20	0,4435
25	0,3887		25	0,5029		25	0,5345
30	0,4805		30	0,5993		30	0,6074
35	0,5523		35	0,6688		35	0,6648
40	0,6091		40	0,7195		40	0,7141
45	0,6631		45	0,7668		45	0,7621
50	0,7184		50	0,8052		50	0,8008
55	0,7393		55	0,806		55	0,8023
60	0,7216		60	0,7681		60	0,7653
65	0,6649		65	0,6883		65	0,6856
70	0,5439		70	0,5526		70	0,551
75	0,376		75	0,3751		75	0,3749
80	0,1774		80	0,1694		80	0,1706
85	-0,0417		85	-0,0556		85	-0,053

Πίνακας 51. Damaged GZ – ϕ Damage Cases 3.1 – 3.3

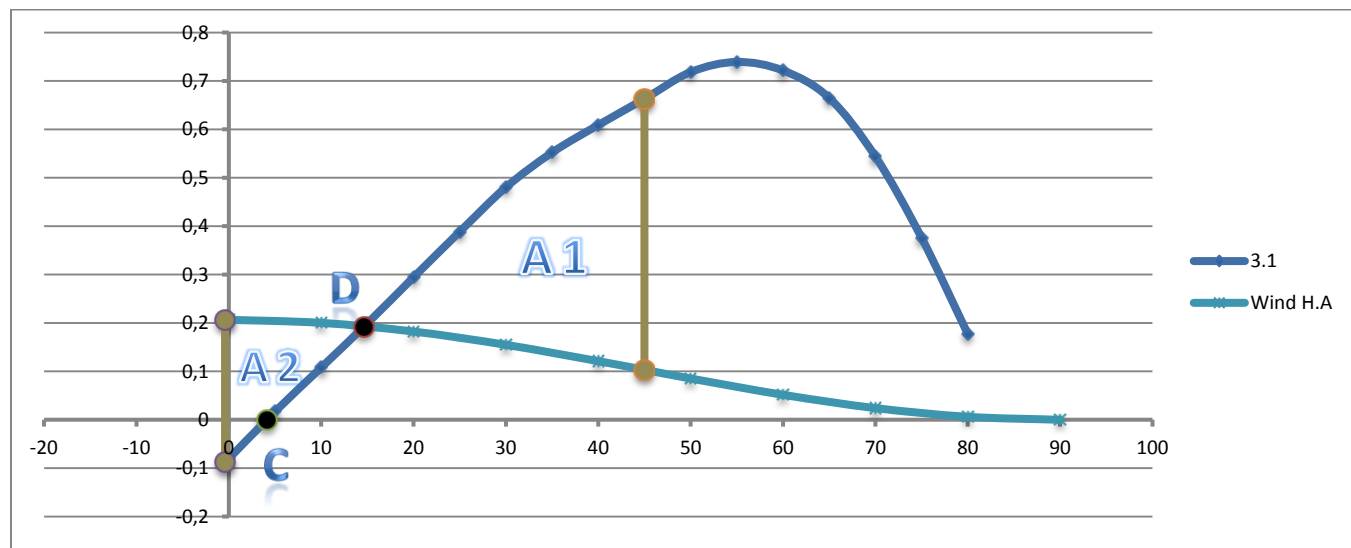
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 53. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 3.1 – 3.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D3.1	D3.2	D3.3
GM	1,101	1,396	1,413

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D3.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 54. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 3.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

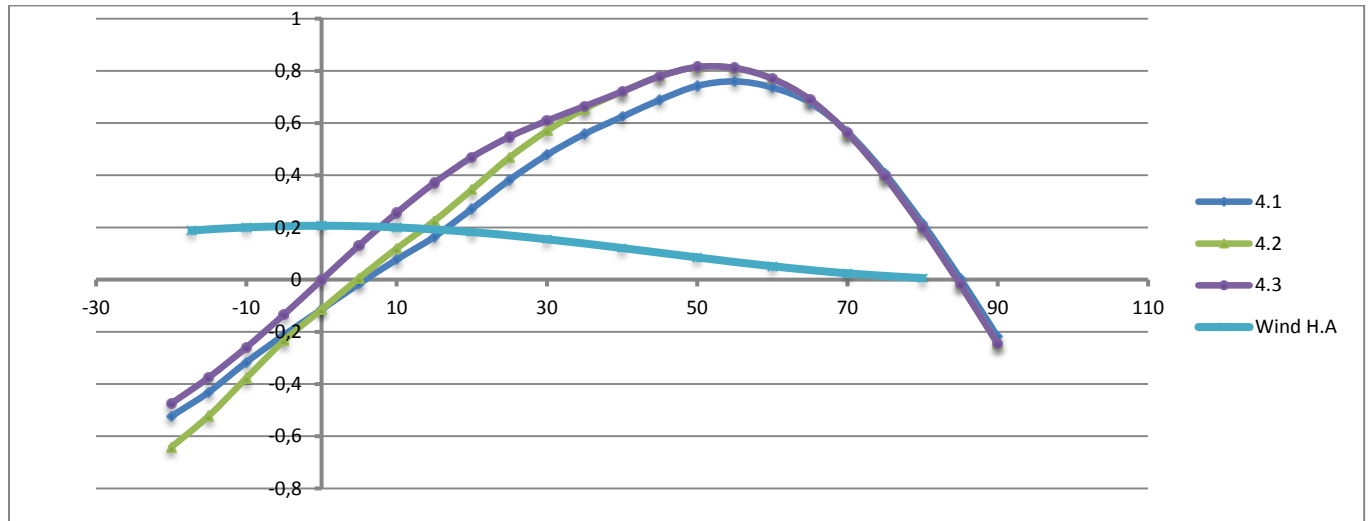
			Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)	
			θ	z	θ	z
Intersection Point D			14,59057	0,191924	-0,40943	-0,08784
Intersection Point C			4,1	0	-0,40943	0,206362
Απο Autocad			ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ			
A1	9,225	Angle of heel after damage < 15 deg			X intersect. point C	Θ crit
A2	2,207				4,11	15,00
			A1 > 1.4 A2			
			9,225			3,09
						OK

DAMAGE CASE 4

DAMAGE CASE 4							
D4.1		D4.2		D4.3			
-20	-0,5241	-20	-0,6425	-20	-0,475		
-15	-0,4311	-15	-0,5225	-15	-0,3749		
-10	-0,3165	-10	-0,3774	-10	-0,2598		
-5	-0,2124	-5	-0,2342	-5	-0,1342		
0	-0,1148	0	-0,1148	0	-0,0016		
5	-0,0162	5	0,0054	5	0,131		
10	0,0766	10	0,1192	10	0,2557		
15	0,1638	15	0,2246	15	0,3702		
20	0,2709	20	0,3446	20	0,4688		
25	0,3816	25	0,4675	25	0,5469		
30	0,4779	30	0,5698	30	0,6088		
35	0,5579	35	0,6539	35	0,6645		
40	0,6238	40	0,7202	40	0,7202		
45	0,6886	45	0,7789	45	0,7789		
50	0,7425	50	0,8146	50	0,8146		
55	0,7596	55	0,8108	55	0,8108		
60	0,7367	60	0,7701	60	0,7701		
65	0,6784	65	0,69	65	0,69		
70	0,5657	70	0,5615	70	0,5615		
75	0,4066	75	0,3944	75	0,3944		
80	0,2164	80	0,1979	80	0,1979		
85	0,0054	85	-0,0181	85	-0,0181		
90	-0,2189	90	-0,2463	90	-0,2463		

Πίνακας 52. Damaged GZ – ϕ Damage Cases 4.1 – 4.3

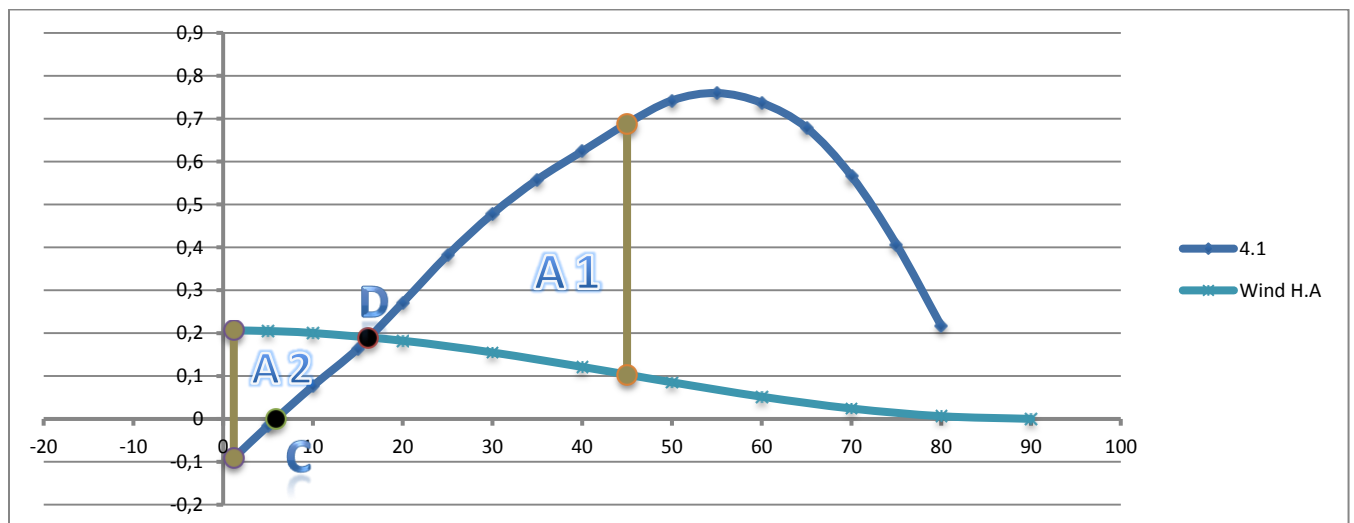
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 55. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 4.1 – 4.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D4.1	D4.2	D4.3
GM	1,101	1,368	1,529

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D4.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 56. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 4.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

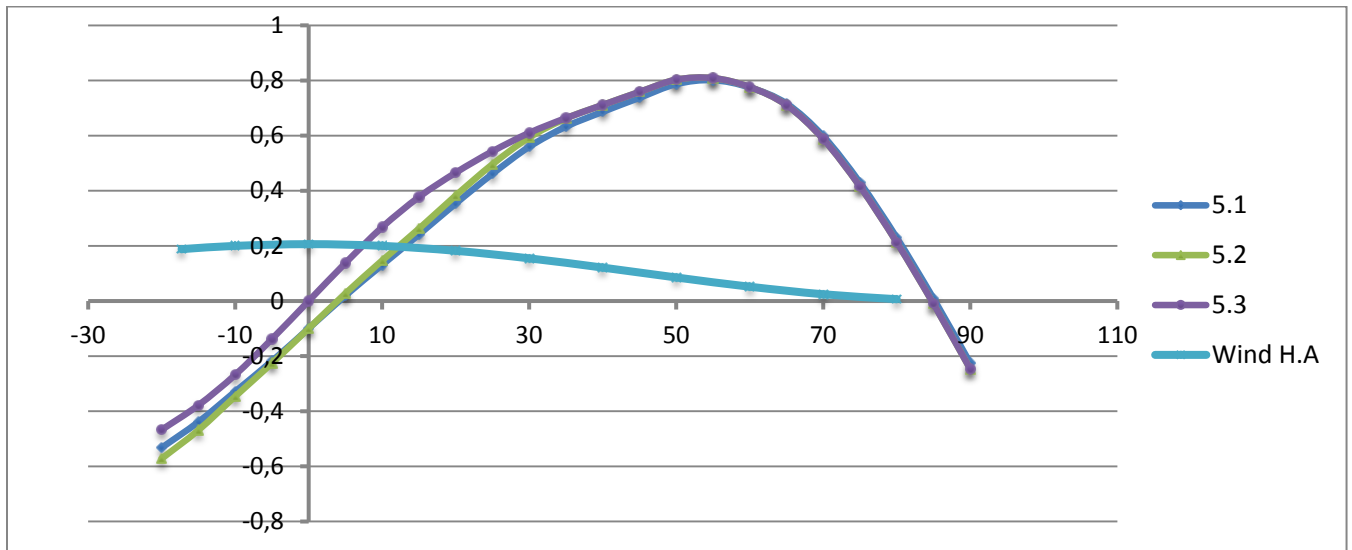
			Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)	
	θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D	16,18	0,189076	1,18	-0,09153	45	0,6886
Intersection Point C	5,84	0	1,18	0,206285	45	0,103186
Απο Autocad						
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ						
A1	9,149	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,246			5,84	15,00	OK
$A1 > 1.4 A2$				A1	1.4 A2	
				9,149	3,144	OK

DAMAGE CASE 5

DAMAGE CASE 5							
D5.1		D5.2		D5.3			
-20	-0,5327	-20	-0,5721	-20	-0,4675		
-15	-0,4389	-15	-0,4687	-15	-0,3782		
-10	-0,3288	-10	-0,3464	-10	-0,268		
-5	-0,2182	-5	-0,226	-5	-0,1379		
0	-0,0997	0	-0,0997	0	0		
5	0,0195	5	0,0273	5	0,1379		
10	0,131	10	0,1469	10	0,2678		
15	0,241	15	0,2623	15	0,3772		
20	0,3537	20	0,3825	20	0,4656		
25	0,4614	25	0,4961	25	0,5431		
30	0,5596	30	0,5934	30	0,61		
35	0,6327	35	0,6624	35	0,6638		
40	0,6867	40	0,7114	40	0,7114		
45	0,7375	45	0,7587	45	0,7587		
50	0,7872	50	0,8031	50	0,8031		
55	0,8015	55	0,8089	55	0,8089		
60	0,775	60	0,7765	60	0,7765		
65	0,7166	65	0,7107	65	0,7107		
70	0,5981	70	0,5873	70	0,5873		
75	0,4294	75	0,4152	75	0,4152		
80	0,2296	80	0,2126	80	0,2126		
85	0,0087	85	-0,0106	85	-0,0106		
90	-0,2256	90	-0,2469	90	-0,2469		

Πίνακας 53. Damaged GZ – φ Damage Cases 5.1 – 5.3

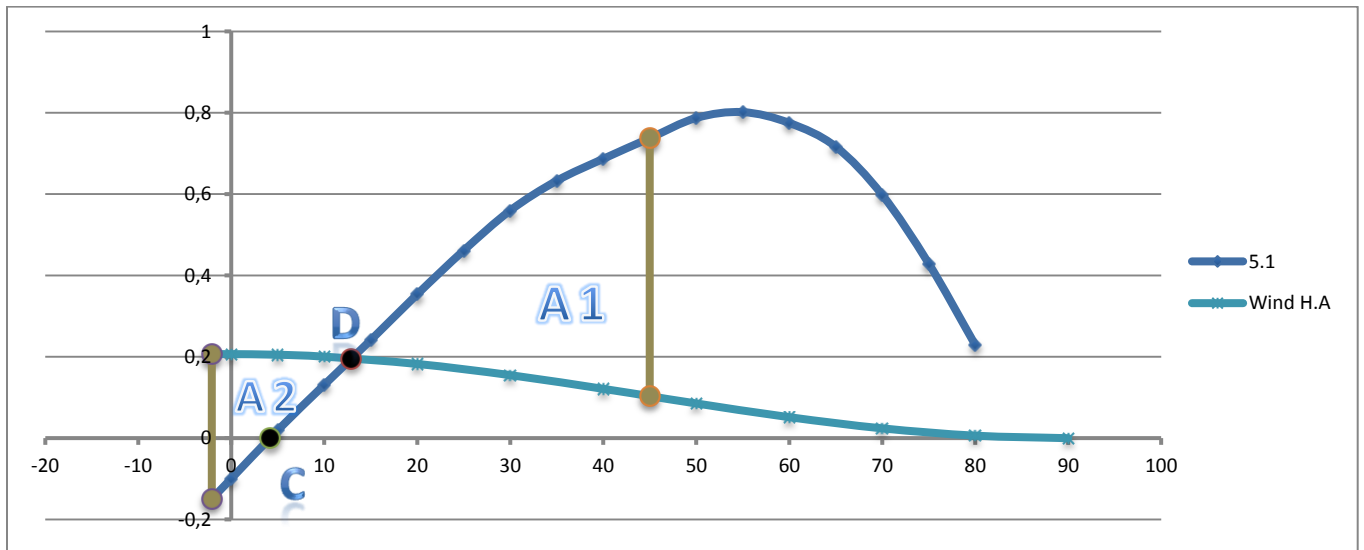
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 57. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 5.1 – 5.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D5.1	D5.2	D5.3
GM	1,352	1,445	1,596

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D5.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 58. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 5.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

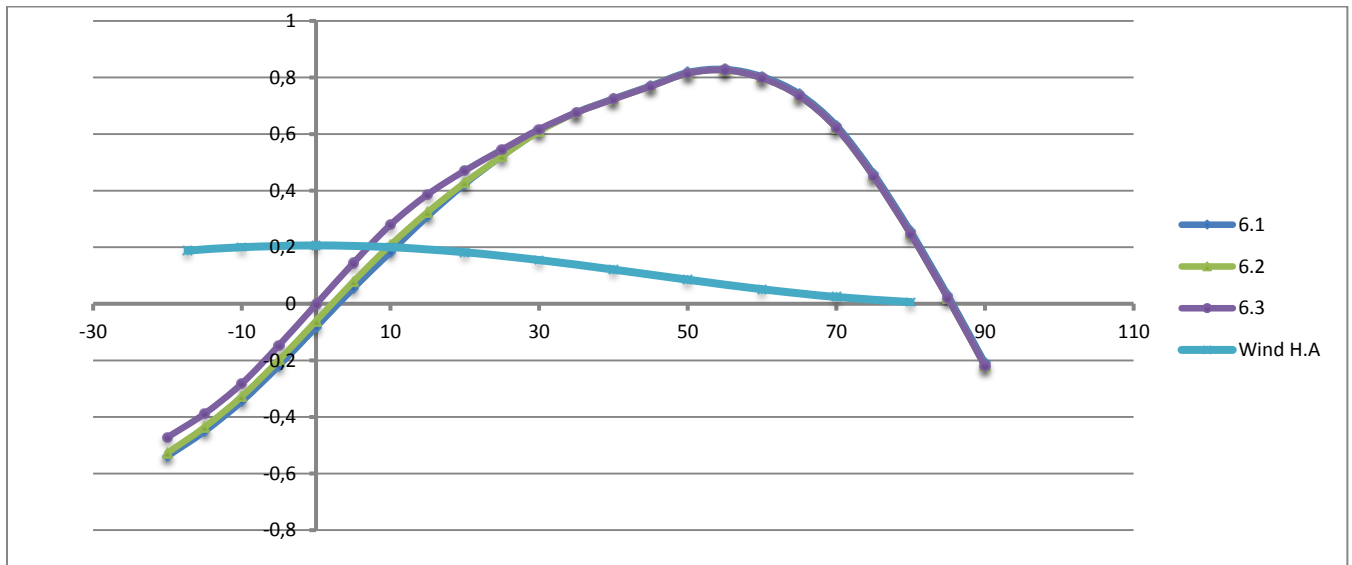
			Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)	
	θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D	12,90643	0,194941	-2,09357	-0,14932	45	0,7375
Intersection Point C	4,17	0	-2,09357	0,206097	45	0,103186
Απο Autocad						
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ						
A1	11,41	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,658			4,17	15,00	OK
A1 > 1.4 A2				A1	1.4 A2	
				11,41	3,721	OK

DAMAGE CASE 6

DAMAGE CASE 6							
D6.1			D6.2			D6.3	
-20	-0,5393		-20	-0,5269		-20	-0,472
-15	-0,4512		-15	-0,436		-15	-0,3884
-10	-0,3454		-10	-0,3273		-10	-0,2821
-5	-0,2195		-5	-0,1991		-5	-0,1466
0	-0,0829		0	-0,0606		0	-0,0014
5	0,0543		5	0,0783		5	0,1438
10	0,1823		10	0,2078		10	0,2793
15	0,3091		15	0,3241		15	0,3864
20	0,4231		20	0,4283		20	0,4707
25	0,5223		25	0,5219		25	0,5449
30	0,6103		30	0,6093		30	0,6171
35	0,6771		35	0,6754		35	0,6758
40	0,7257		40	0,7235		40	0,7235
45	0,7712		45	0,7687		45	0,7687
50	0,8188		50	0,8146		50	0,8146
55	0,83		55	0,8262		55	0,8262
60	0,8041		60	0,7979		60	0,7979
65	0,7429		65	0,7348		65	0,7348
70	0,631		70	0,6214		70	0,6214
75	0,4607		75	0,45		75	0,45
80	0,2571		80	0,2458		80	0,2458
85	0,0313		85	0,0196		85	0,0196
90	-0,2089		90	-0,2207		90	-0,2207

Πίνακας 54. Damaged GZ – φ Damage Cases 6.1 – 6.3

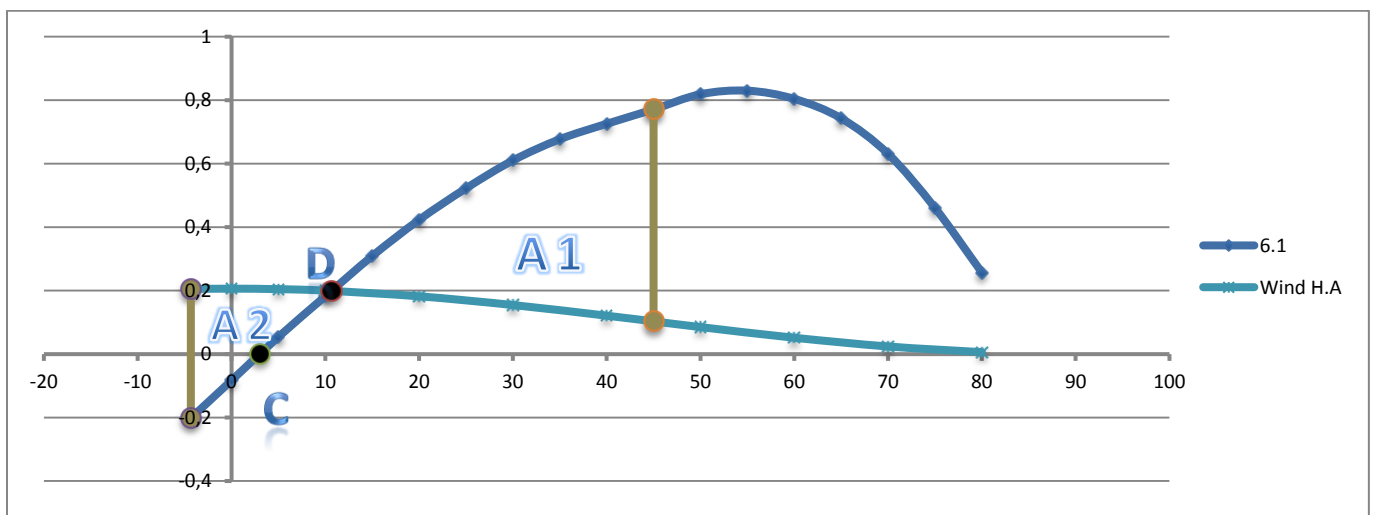
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 59. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 6.1 – 6.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D6.1	D6.2	D6.3
GM	1,571	1,6	1,684

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D6.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 60. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 6.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

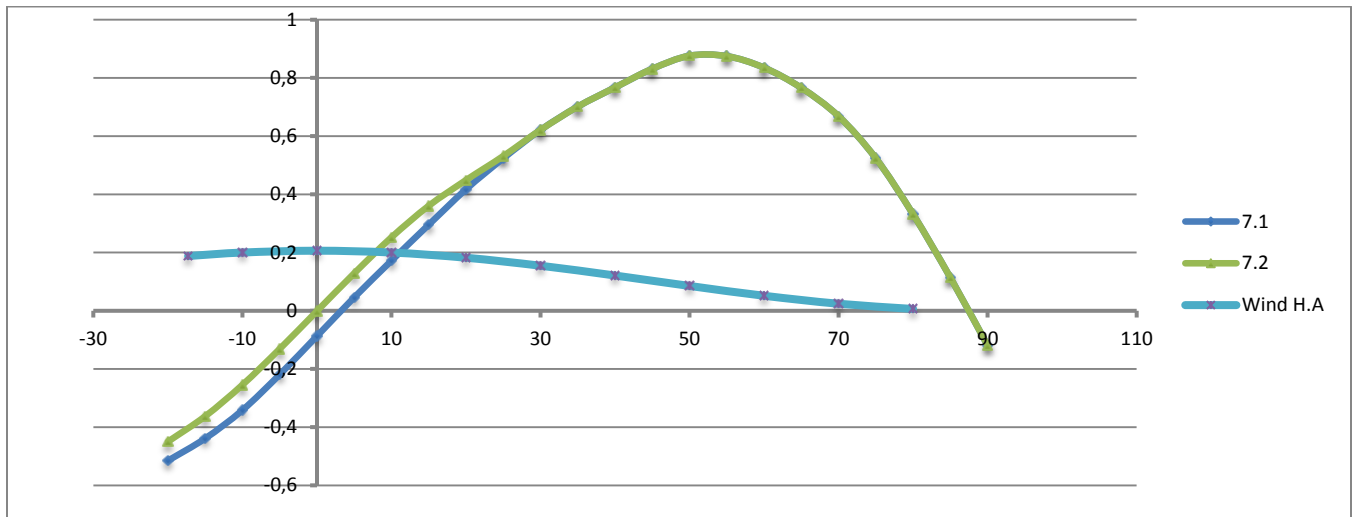
		Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)			
		θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		10,65738	0,198971	-4,34262	-0,20154	45	0,7712
Intersection Point C		3	0	-4,34262	0,205189	45	0,103186
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	13,191	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	3,037			3,00	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				13,191	4,252	OK	

DAMAGE CASE 7

DAMAGE CASE 7				
D7.1		D7.2		
-20	-0,5152	-20	-0,45	
-15	-0,4388	-15	-0,3628	
-10	-0,3416	-10	-0,2549	
-5	-0,2192	-5	-0,1314	
0	-0,0872	0	-0,0015	
5	0,0456	5	0,1283	
10	0,1718	10	0,2519	
15	0,2953	15	0,3602	
20	0,417	20	0,4484	
25	0,5233	25	0,5311	
30	0,6209	30	0,621	
35	0,7011	35	0,7011	
40	0,7669	40	0,7669	
45	0,8309	45	0,8309	
50	0,8758	50	0,8758	
55	0,8745	55	0,8745	
60	0,835	60	0,835	
65	0,7657	65	0,7657	
70	0,6682	70	0,6682	
75	0,5238	75	0,5238	
80	0,3315	80	0,3315	
85	0,1142	85	0,1142	
90	-0,1191	90	-0,1191	

Πίνακας 55. Damaged GZ – φ Damage Cases 7.1 – 7.2

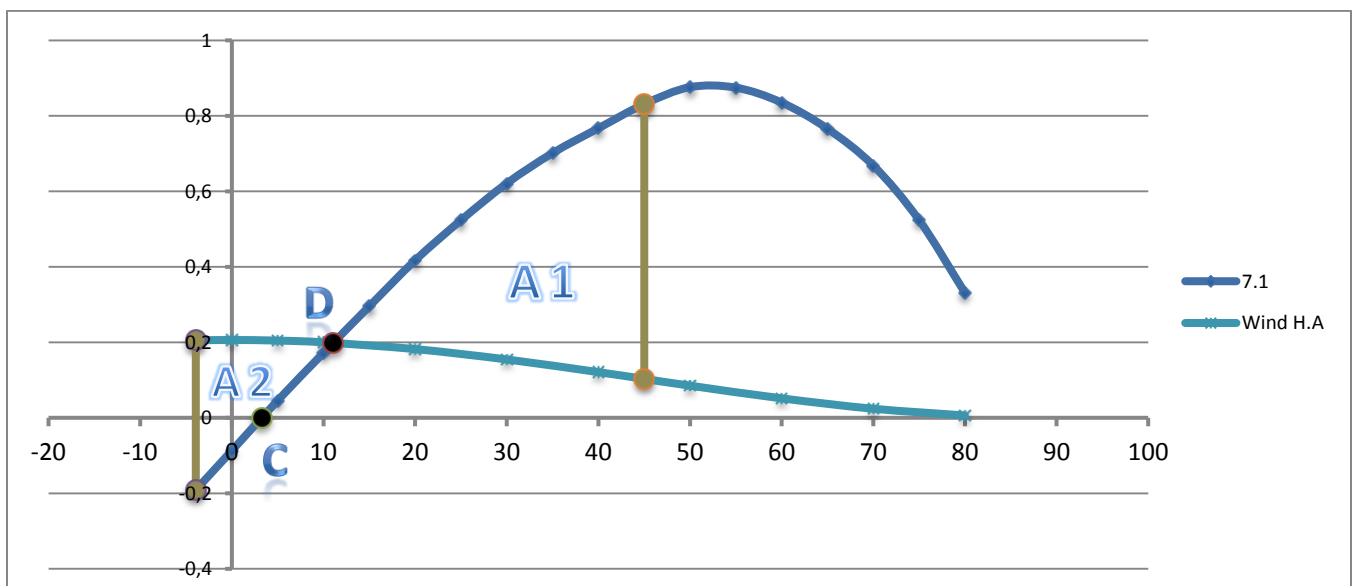
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 61. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμένες καταστάσεις 7.1 – 7.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D7.1	D7.2
GM	1,518	1,501

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D7.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 62. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 7.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

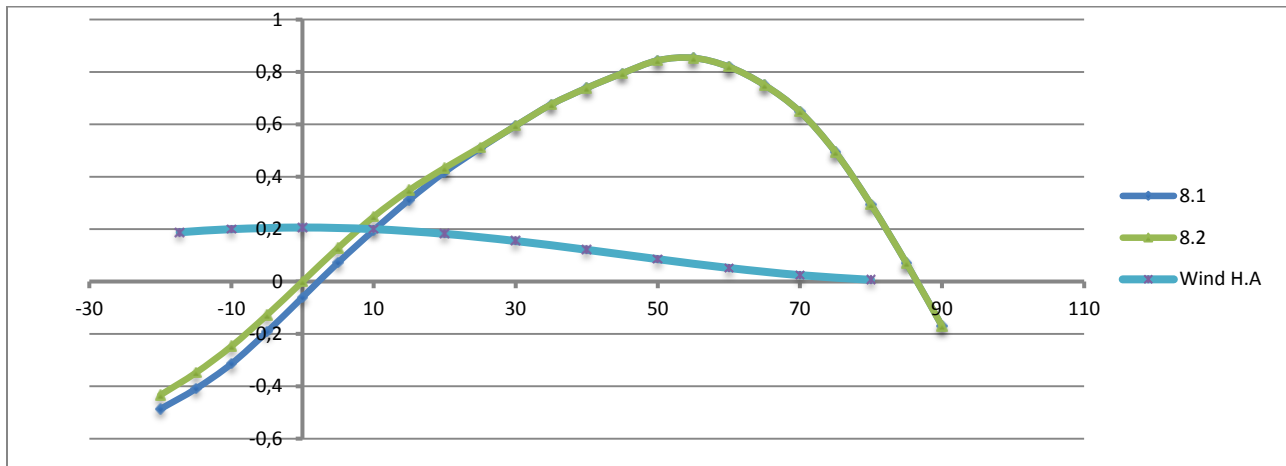
				Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)	
		θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		11,07011	0,19823	-3,92989	-0,19095	45	0,8309
Intersection Point C		3,27	0	-3,92989	0,205403	45	0,103186
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	13,607	Angle of heel after damage < 15 deg			X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,972				3,27	15,00	OK
		A1 > 1.4 A2			A1	1.4 A2	
					13,607	4,160	OK

DAMAGE CASE 8

DAMAGE CASE 8				
D8.1		D8.2		
-20	-0,4867	-20	-0,4335	
-15	-0,4094	-15	-0,3484	
-10	-0,3142	-10	-0,2472	
-5	-0,1923	-5	-0,1281	
0	-0,0604	0	-0,0001	
5	0,0719	5	0,1279	
10	0,1951	10	0,247	
15	0,3115	15	0,3482	
20	0,4174	20	0,4333	
25	0,5087	25	0,5122	
30	0,5944	30	0,5945	
35	0,6757	35	0,6757	
40	0,7389	40	0,7389	
45	0,7945	45	0,7945	
50	0,8439	50	0,8439	
55	0,8534	55	0,8534	
60	0,8197	60	0,8197	
65	0,7502	65	0,7502	
70	0,6484	70	0,6484	
75	0,4943	75	0,4943	
80	0,2945	80	0,2945	
85	0,0703	85	0,0703	
90	-0,1695	90	-0,1695	

Πίνακας 56. Damaged GZ – φ Damage Cases 8.1 – 8.2

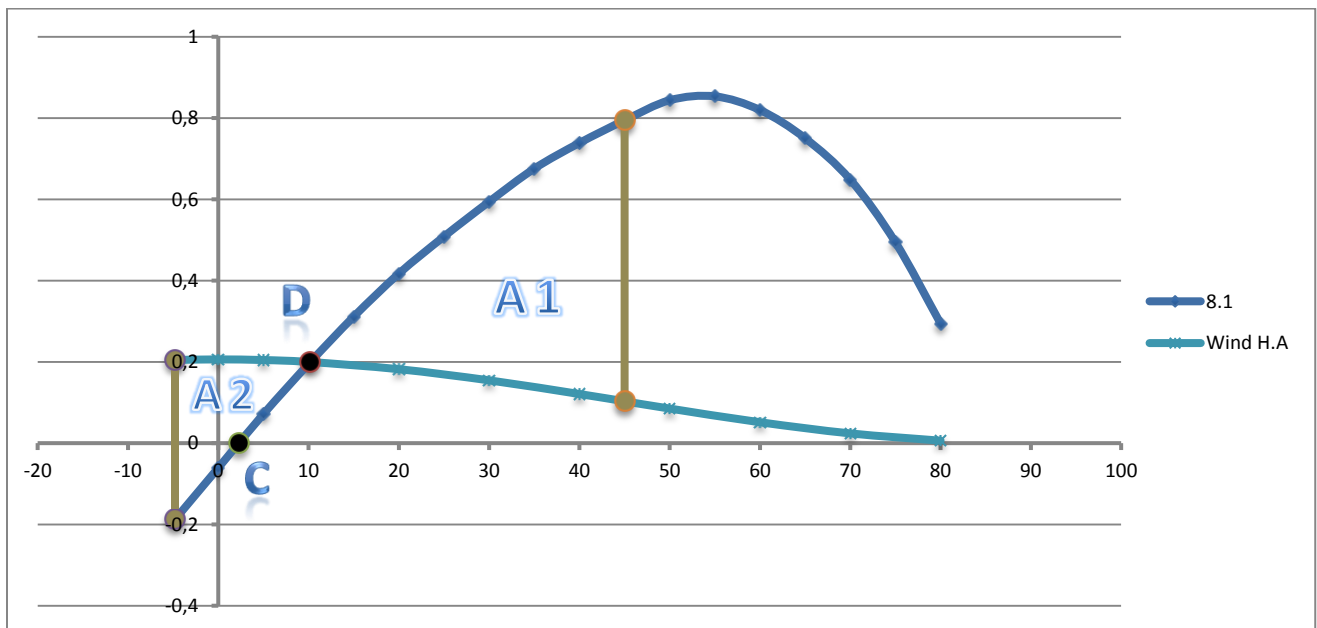
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 63. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 8.1 – 8.2 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D8.1	D8.2
GM	1,523	1,709

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D8.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 64. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 8.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

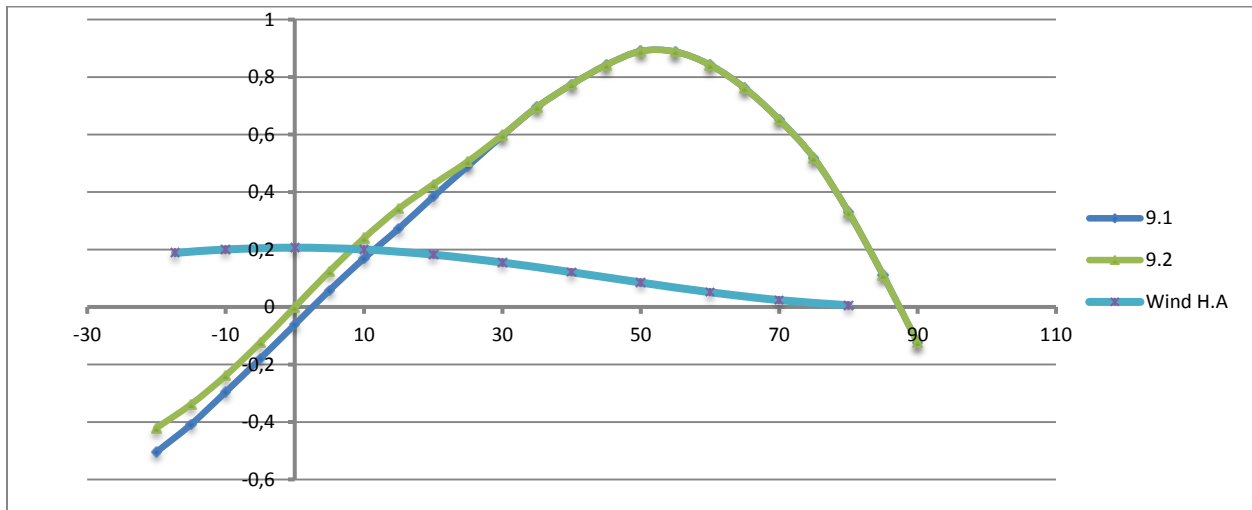
			Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)	
	θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D	10,20139	0,199788	-4,79861	-0,18739	45	0,7945
Intersection Point C	2,26	0	-4,79861	0,204928	45	0,103186
Απο Autocad						
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ						
A1	13,170	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,926			2,26	15,00	OK
A1 > 1.4 A2				A1	1.4 A2	
				13,170	4,096	OK

DAMAGE CASE 9

DAMAGE CASE 9				
D9.1		D9.2		
-20	-0,5046	-20	-0,421	
-15	-0,4087	-15	-0,3386	
-10	-0,2962	-10	-0,2389	
-5	-0,1799	-5	-0,1239	
0	-0,0614	0	-0,0001	
5	0,0576	5	0,1237	
10	0,169	10	0,2396	
15	0,2724	15	0,3416	
20	0,3834	20	0,4264	
25	0,4895	25	0,5065	
30	0,5958	30	0,5981	
35	0,6955	35	0,6955	
40	0,7743	40	0,7743	
45	0,8418	45	0,8418	
50	0,8902	50	0,8902	
55	0,8879	55	0,8879	
60	0,8421	60	0,8421	
65	0,7615	65	0,7615	
70	0,6521	70	0,6521	
75	0,5185	75	0,5185	
80	0,3304	80	0,3304	
85	0,1113	85	0,1113	
90	-0,1248	90	-0,1248	

Πίνακας 57. Damaged GZ – φ Damage Cases 9.1 – 9.2

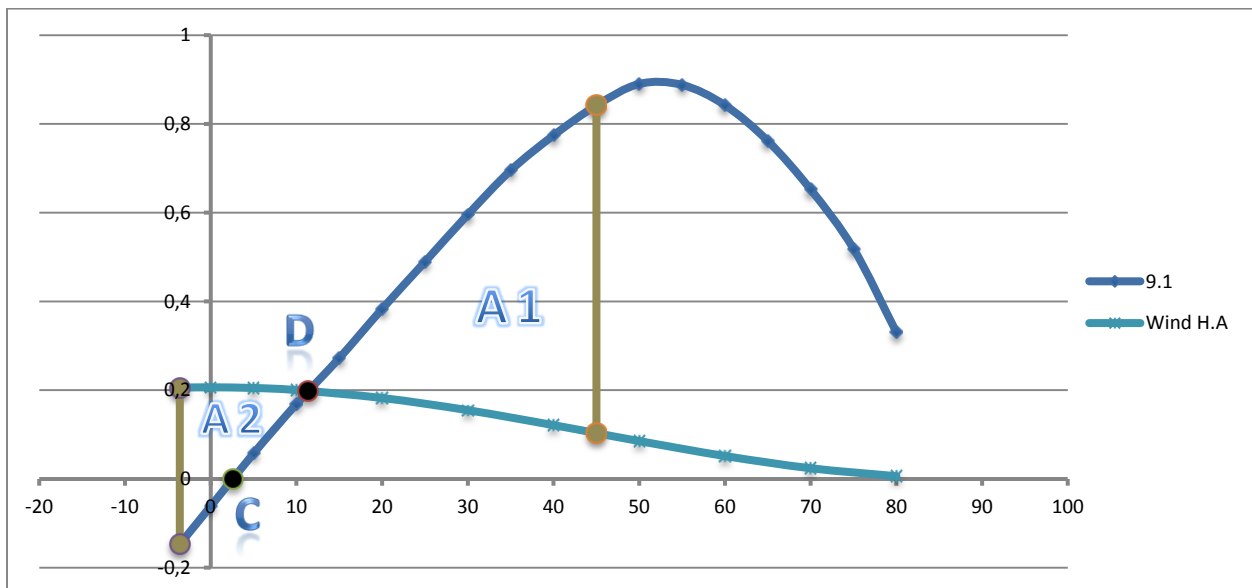
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 65. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 9.1 – 9.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D9.1	D9.2
GM	1,366	1,437

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D9.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 66. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 9.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

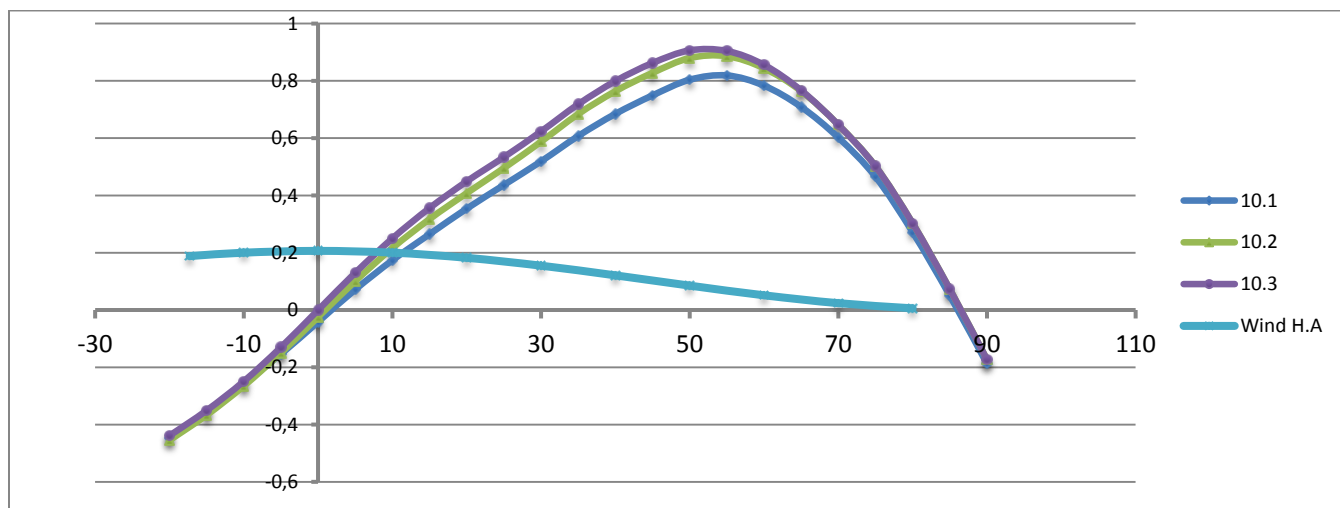
			Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)	
	θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D	11,38614	0,197665	-3,61386	-0,14705	45	0,8418
Intersection Point C	2,56	0	-3,61386	0,205552	45	0,103186
Απο Autocad						
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ						
A1	13,066	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,626			2,56	15,00	OK
A1 > 1.4 A2				A1	1.4 A2	
				13,066	3,676	OK

DAMAGE CASE 10

DAMAGE CASE 10							
D10.1			D10.2			D10.3	
-20	-0,4464		-20	-0,4552		-20	-0,4388
-15	-0,3563		-15	-0,3671		-15	-0,3505
-10	-0,2563		-10	-0,2655		-10	-0,2489
-5	-0,1543		-5	-0,1501		-5	-0,13
0	-0,0417		0	-0,0249		0	0
5	0,0711		5	0,1005		5	0,13
10	0,1735		10	0,2161		10	0,2502
15	0,2645		15	0,3172		15	0,3561
20	0,3537		20	0,4077		20	0,4492
25	0,4363		25	0,4952		25	0,5339
30	0,5187		30	0,5874		30	0,6235
35	0,6072		35	0,6838		35	0,7185
40	0,6845		40	0,7635		40	0,7993
45	0,749		45	0,8277		45	0,8625
50	0,8037		50	0,8794		50	0,9065
55	0,8186		55	0,8859		55	0,9045
60	0,783		60	0,8437		60	0,8559
65	0,7087		65	0,764		65	0,7669
70	0,6017		70	0,6464		70	0,6464
75	0,4649		75	0,5018		75	0,5018
80	0,2713		80	0,3027		80	0,3027
85	0,0499		85	0,0729		85	0,0729
90	-0,188		90	-0,1729		90	-0,1729

Πίνακας 58. Damaged GZ – φ Damage Cases 10.1 – 10.3

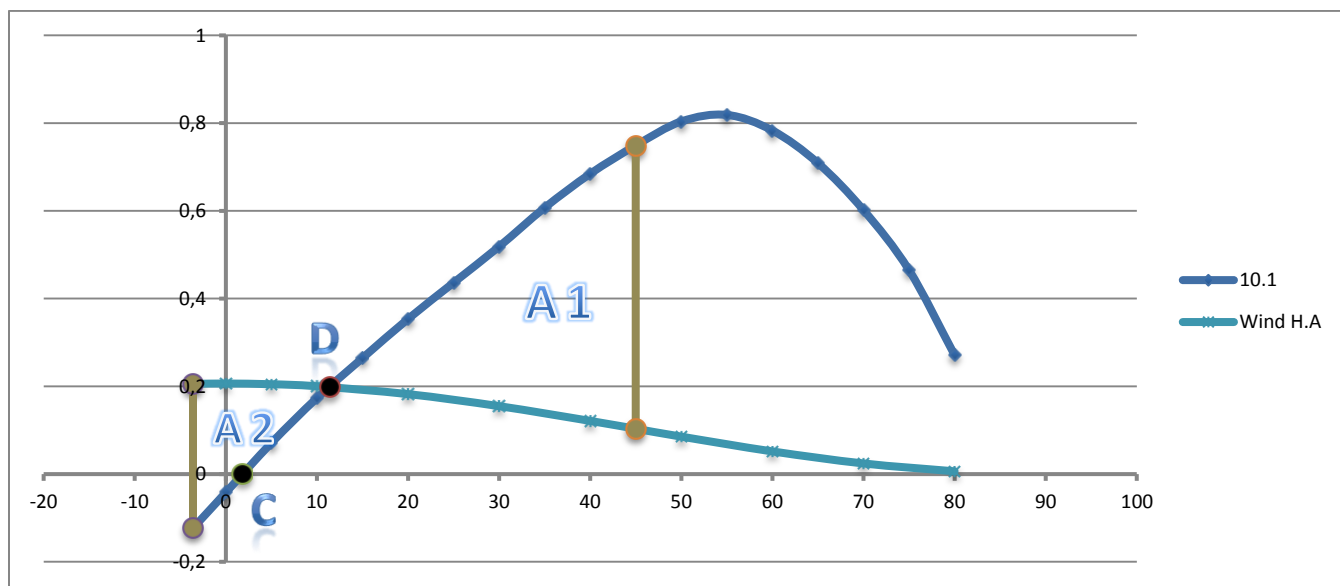
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 67. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμένες καταστάσεις 10.1 – 10.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D10.1	D10.2	D10.3
GM	1,305	1,455	1,513

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D10.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 68. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 10.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

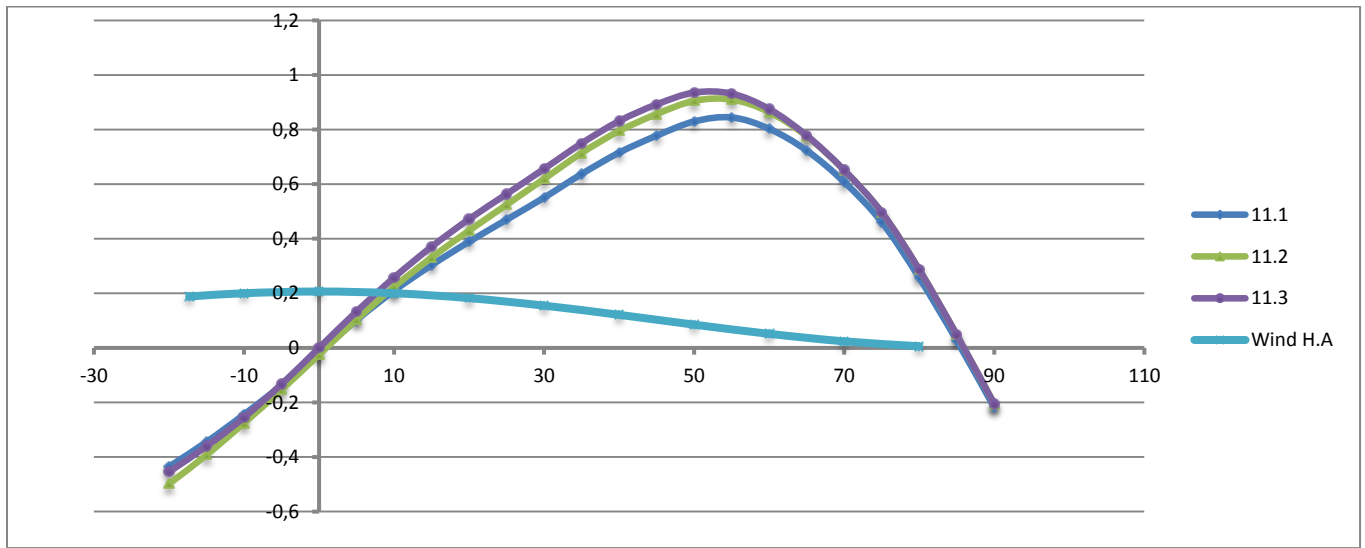
			Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)	
	θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D	11,38614	0,197665	-3,61386	-0,12308	45	0,749
Intersection Point C	1,82	0	-3,61386	0,205552	45	0,103186
Απο Autocad						
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ						
A1	13,066	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit	
A2	2,626			1,82	15,00	OK
A1 > 1.4 A2				A1	1.4 A2	
				13,066	3,676	OK

DAMAGE CASE 11

DAMAGE CASE 11							
D11.1		D11.2		D11.3			
-20	-0,4351	-20	-0,4985	-20	-0,4544		
-15	-0,3446	-15	-0,3925	-15	-0,3607		
-10	-0,244	-10	-0,2754	-10	-0,2549		
-5	-0,1365	-5	-0,1536	-5	-0,1331		
0	-0,0174	0	-0,0249	0	0		
5	0,1019	5	0,1041	5	0,1331		
10	0,2095	10	0,2235	10	0,2577		
15	0,3035	15	0,3312	15	0,3705		
20	0,3893	20	0,4298	20	0,4718		
25	0,47	25	0,5245	25	0,5637		
30	0,5508	30	0,6196	30	0,656		
35	0,6374	35	0,7144	35	0,7495		
40	0,7157	40	0,7949	40	0,831		
45	0,7778	45	0,857	45	0,892		
50	0,8299	50	0,9054	50	0,9353		
55	0,8446	55	0,9102	55	0,9313		
60	0,803	60	0,8643	60	0,875		
65	0,7234	65	0,7757	65	0,778		
70	0,608	70	0,6508	70	0,6508		
75	0,4611	75	0,4968	75	0,4968		
80	0,257	80	0,2865	80	0,2865		
85	0,027	85	0,0479	85	0,0479		
90	-0,2187	90	-0,2056	90	-0,2056		

Πίνακας 59. Damaged GZ – φ Damage Cases 11.1 – 11.3

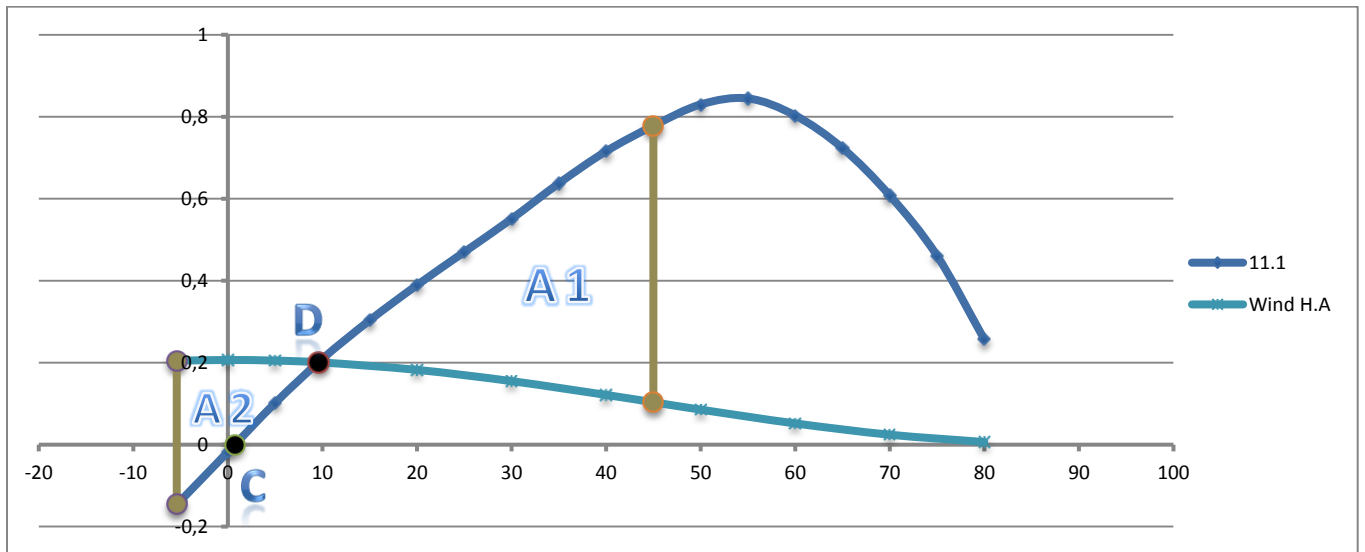
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 69. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμμένες καταστάσεις 11.1 – 11.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D11.1	D11.2	D11.3
GM	1,389	1,496	1,55

Χειρότερη περίπτωση αναδεικνύεται η D10.1. Έτσι απομονώνουμε το διάγραμμα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 70. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη χειρότερη κατάσταση 11.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

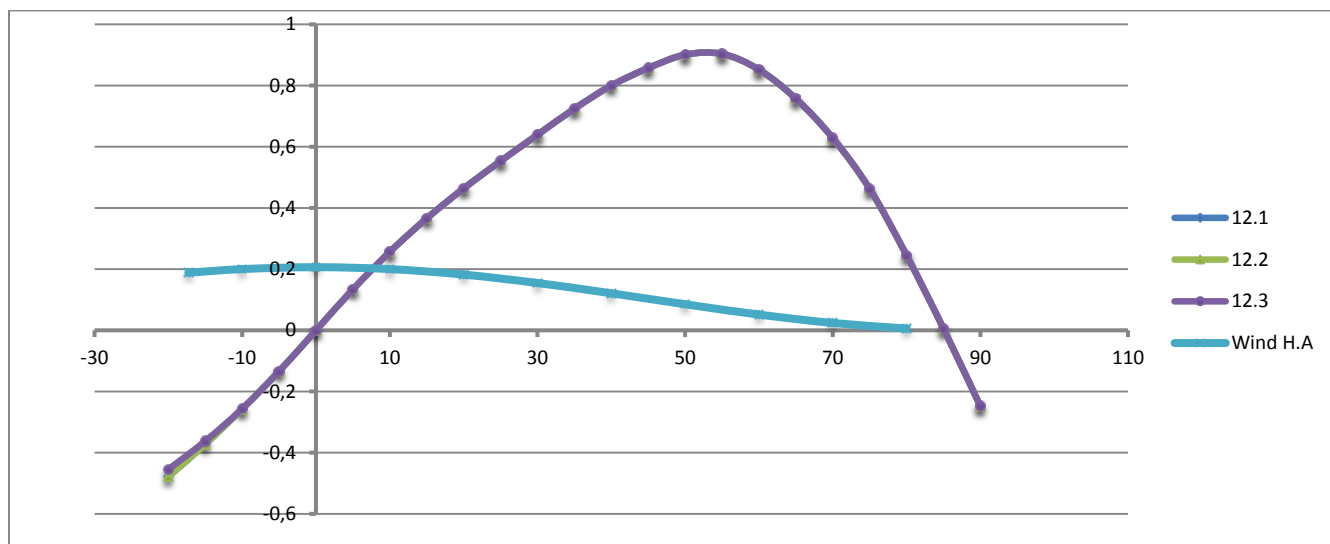
		Left Margin (intersect. Point - Θr)		Right Margin (Θ = 45 deg)			
	θ	Z	θ	z	θ	z	
Intersection Point D	9,5835	0,200537	-5,4165	-0,14545	45	0,7778	
Intersection Point C	0,72	0	-5,4165	0,204533	45	0,103186	
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	12,267	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,609			0,72	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				12,267	3,652	OK	

DAMAGE CASE 12

DAMAGE CASE 12							
D12.1		D12.2		D12.3			
-20	-0,4782	-20	-0,4781	-20	-0,4546		
-15	-0,3724	-15	-0,3724	-15	-0,3619		
-10	-0,257	-10	-0,257	-10	-0,2562		
-5	-0,1339	-5	-0,1339	-5	-0,1339		
0	0	0	0	0	0		
5	0,1339	5	0,1339	5	0,1339		
10	0,2565	10	0,2565	10	0,2565		
15	0,3659	15	0,3659	15	0,3659		
20	0,4637	20	0,4637	20	0,4637		
25	0,5533	25	0,5529	25	0,5529		
30	0,6394	30	0,6389	30	0,6389		
35	0,7245	35	0,724	35	0,724		
40	0,8002	40	0,7998	40	0,7998		
45	0,8572	45	0,857	45	0,857		
50	0,9007	50	0,9006	50	0,9006		
55	0,9034	55	0,9032	55	0,9032		
60	0,8522	60	0,8518	60	0,8518		
65	0,7573	65	0,7567	65	0,7567		
70	0,6288	70	0,6278	70	0,6278		
75	0,4625	75	0,462	75	0,462		
80	0,245	80	0,2446	80	0,2446		
85	0,0054	85	0,0052	85	0,0052		
90	-0,2482	90	-0,2483	90	-0,2483		

Πίνακας 60. Damaged GZ – φ Damage Cases 12.1 – 12.3

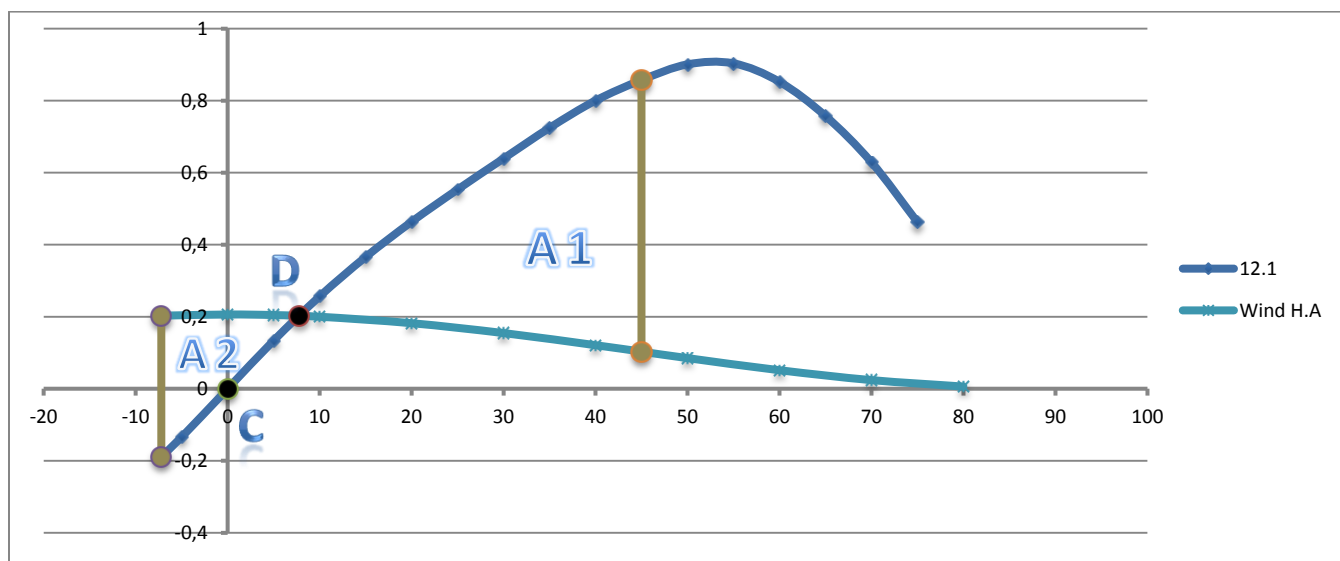
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 71. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στις βεβλαμένες καταστάσεις 12.1 – 12.3 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D12.1	D12.2	D12.3
GM	1,563	1,563	1,563

Και οι τρεις περιπτώσεις συμπίπτουν. Έτσι απομονώνουμε ένα από τα διαγράμματα και το διαμορφώνουμε όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 72. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 12.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

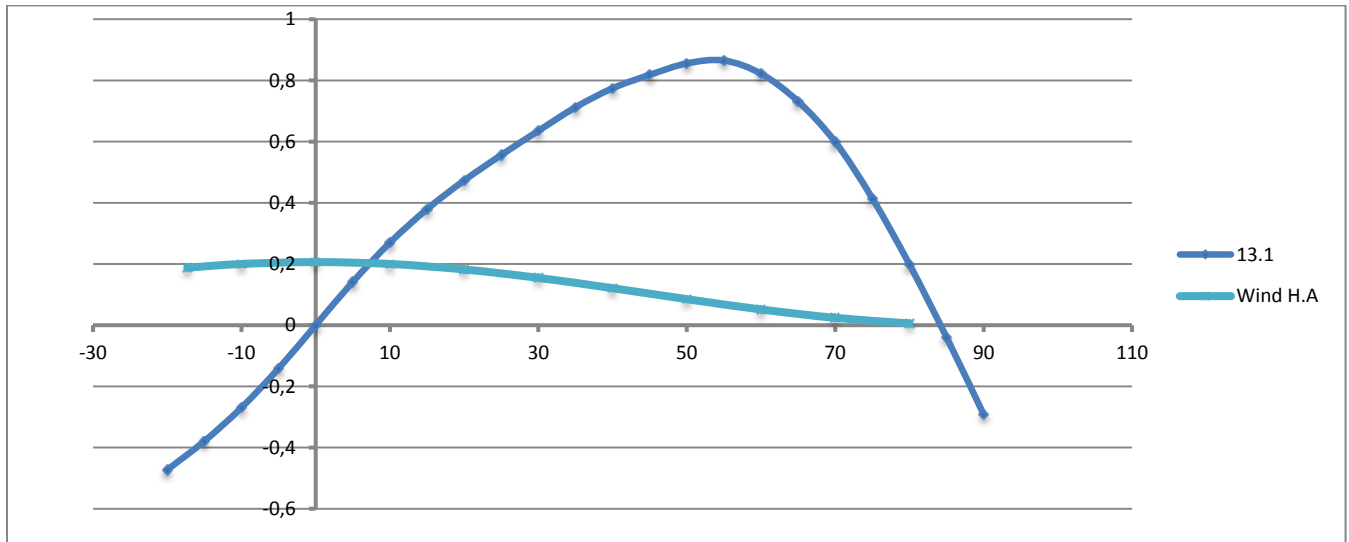
		Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)			
	θ	Z	θ	z	θ	z	
Intersection Point D		7,785913	0,202211	-7,21409	-0,18841	45	0,8572
Intersection Point C		0	0	-7,21409	0,20312	45	0,103186
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	15,045	Angle of heel after damage < 15 deg		X intersect. point C	Θ crit		
A2	2,961			0	15,00	OK	
		A1 > 1.4 A2		A1	1.4 A2		
				15,045	4,145	OK	

DAMAGE CASE 13

D13.1	
-20	-0,4729
-15	-0,3791
-10	-0,2696
-5	-0,1416
0	0
5	0,1416
10	0,2696
15	0,3791
20	0,4729
25	0,5561
30	0,6351
35	0,7122
40	0,7744
45	0,8182
50	0,8556
55	0,8651
60	0,8218
65	0,7312
70	0,5987
75	0,4144
80	0,1982
85	-0,0398
90	-0,2921

Πίνακας 61. Damaged GZ – φ Damage Case 13

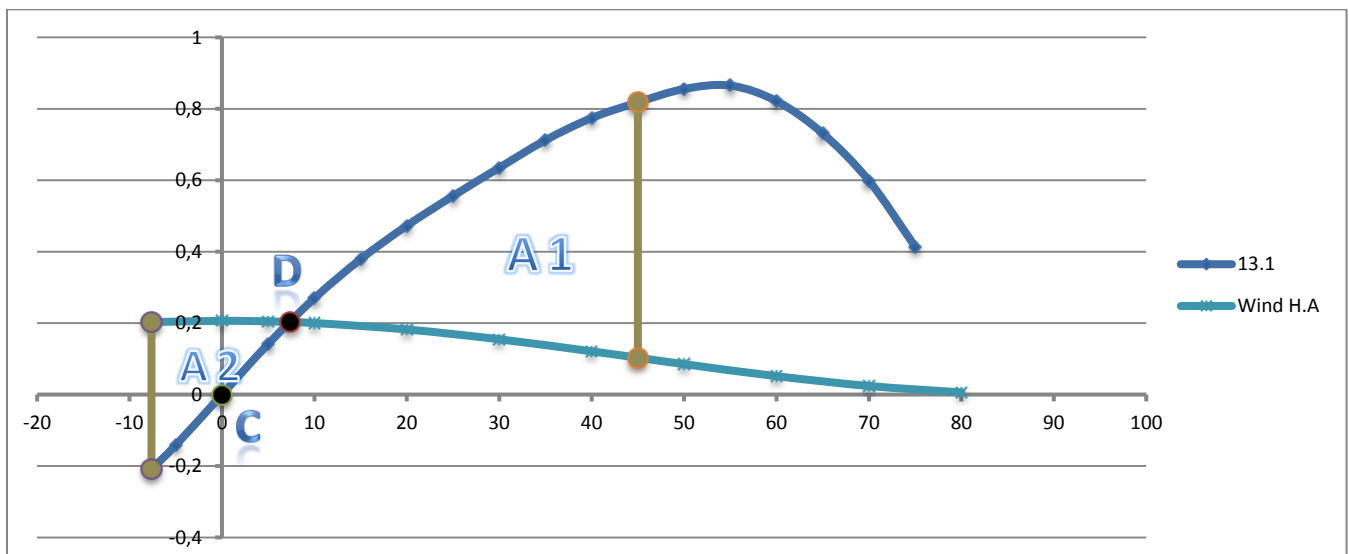
Έτσι κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 73. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στη βεβλαμένη κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

	D13.1
GM	1,65

Διαμορφώνουμε το διάγραμμα όπως το σχήμα για να ελεγχθεί με βάση τα κριτήρια.



Σχήμα 74. Μοχλοβραχίονας επαναφοράς του πλοίου στην κατάσταση 13.1 και βραχίονας εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου

Έλεγχος κριτηρίων

				Left Margin (intersect. Point - Θ_r)		Right Margin ($\Theta = 45$ deg)	
		θ	Z	θ	z	θ	z
Intersection Point D		7,382281	0,202586	-7,61772	-0,20861	45	0,8182
Intersection Point C		0	0	-7,61772	0,202745	45	0,103186
Απο Autocad		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ					
A1	14,922	Angle of heel after damage < 15 deg			X intersect. point C	Θ crit	
A2	3,120				0	15,00	OK
		A1 > 1.4 A2			A1	1.4 A2	
					14,922	4,368	OK

Βιβλιογραφία

- [5] I. L. G. & R. G. Tucker, «Current Status of Stability and Buoyancy Criteria used by the U.S Navy for Advanced Marine Vehicles,» October, 1975.
- [6] S. W. Surko, «An assesment of Current Warship Damaged Stability Criteria,» May, 1994.
- [7] J. M. Riola και R. Perez, «Warship Damage Stability Criteria Case Study,» August, 2009.
- [28] Δ. Μήτρου, «Σχεδίαση Ειδικού Τύπου Πλοίου Επιτήρησης Θαλάσσιου Χώρου,» Αθήνα, Φεβρουάριος, 2008.
- [38] USN, «DDS 079-1-b(1),b(2)».
- [46] S. Skoupas, Stability Calculations for a Bulkcarrier, Athens, 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLTROP & MENNEN

«Αν αποσυνθέσεις την Ελλάδα,
στο τέλος θα δεις να σου απομένουν μια ελιά,
ένα αμπέλι κι ένα καράβι.
Που σημαίνει: μ' άλλα τόσα την ξαναφτιάχνεις!»

Οδυσσέας Ελύτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLTROP & MENNEN

Κατά τη σχεδίαση ενός πλοίου, ο πλοιοκτήτης, στην περίπτωση μας το Πολεμικό Ναυτικό, προσδιορίζει την ταχύτητα σχεδίασεως και το ωφέλιμο φορτίο, ο δε ναυπηγός καλείται να σχεδιάσει τη μορφή της γάστρας και την έλικα εκείνη, ο συνδυασμός των οποίων, θα εξασφαλίσει τη μικρότερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ, αφού ληφθούν υπόψη και πλείστες άλλες απαιτήσεις μιας καλής σχεδίασης. Η εκτίμηση της αντίστασης ενός πλοίου είναι απαραίτητη κατά την προκαταρκτική σχεδίαση του πλοίου, οπότε ο ναυπηγός εξετάζει διάφορες εναλλακτικές λύσεις. (Φυσικά η τελική τιμή της αντίστασης είναι δυνατό να προσδιορισθεί μόνο πειραματικά). Ακόμα, όταν οικονομικά δεδομένα ή χρονικοί περιορισμοί δεν επιτρέπουν τη διεξαγωγή πειραμάτων, τότε η εκτίμηση της αντίστασης είναι απαραίτητη. Σε αυτό το στάδιο της μελέτης γίνεται υπολογισμός της αντίστασης πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου με τη χρήση της μεθόδου Holtrop & Mennen [8], [9]. Η μέθοδος αυτή εξελίχθηκε με βάση τη σταδιακή ανάλυση όλων των διαθέσιμων δεδομένων από πειράματα προτύπων αλλά και αποτελεσμάτων σε πραγματική κλίμακα που διέθετε έως το 1989 η Πειραματική Δεξαμενή της Ολλανδίας (Netherlands Ship Model Basin). Η μέθοδος εφαρμόστηκε με επιτυχία σε πολεμικά πλοία στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος για λογαριασμό του Ολλανδικού Ναυτικού.

Θα χρησιμοποιήσουμε ως δεδομένα τις τελικές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών του πλοίου, όπως αυτά προήρθαν από τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της γάστρας στο AVEVA.

6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της αντίστασης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα :

L [m]	100
B [m]	14,2
T [m]	4,1
T Aft [m]	4,1
T fore (m)	4,1
Disp [t]	2814,6084
ρ [kg/ m ³]	1025

v [m ² /s]	1,12E-06
Vol [m ³]	2743,283
Cb	0,4716
Cm	0,7198
Cp	0,6546
Cwl	0,7464

Εγκάρσια τομή βολβού		LCB (% of L, from 0,5L)	-4,079
hb [m] (center of Abt from keel)	1,745	L/B	7,04225
Abt [m ² of bulb]	1,016	B/T	3,46341
Καθρέπτης		L/Vol ^(1/3)	7,14348
AT [m ²] (immersed area of transom)	2,9589	g [m/s ²]	9,8066

Ο υπολογισμός της αντίστασης θα γίνει αρχικά για τους 16 kn. Η συνολική αντίσταση σύμφωνα με τη μέθοδο δίνεται από τη παρακάτω σχέση :

$$R_{TOTAL} = R_F \cdot (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad , [8]$$

,όπου :

R_F : αντίσταση τριβής με βάση τον ITTC- 1957 τύπο τριβής

$1 + k_1$: συντελεστής μορφής για την προσαύξηση της αντίστασης μορφής της γάστρας σε σχέση με την αντίσταση τριβής.

R_{APP} : αντίσταση των προσαρτημάτων

R_W : αντίσταση λόγω κυματισμού

R_B : πρόσθετη αντίσταση λόγω βολβοειδούς πλώρης

R_{TR} : αντίσταση λόγω βυθισμένου καθρέπτη πρύμνης

R_A : αντίσταση συσχέτισης μοντέλου - πλοίου

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΡΙΒΗΣ

Ο συντελεστής μορφής της γάστρας δίνεται από την σχέση :

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,487118 \cdot c_{14} \cdot (B/L)^{1,06806} \cdot (T/L)^{0,46106} \cdot (L/L_R)^{0,121563} \cdot (L^3/V)^{0,36486} \cdot (1 - C_p)^{-0,604247}$$

L_R : παράμετρος που δίνεται από τη σχέση $L_R = L \cdot (1 - C_p + 0,06 \cdot C_p \cdot lcb / (4 \cdot C_p - 1))$

lcb : διάμηκες κέντρο άντωσης με αρχή των αξόνων το μέσο του πλοίου ($0,5 \cdot L$), ως ποσοστό του μήκους L

c_{14} : συντελεστής που καταδεικνύει τη μορφή της πρύμνης με τη σχέση $c_{14} = 1 + 0,011 \cdot C_{stern}$

ο συντελεστής πρύμνης C_{stern} παίρνει τιμές ανάλογα με τον παρακάτω πίνακα :

<u>Afterbody form</u>	<u>C_{stern}</u>
Pram with gondola	-25
V - shaped sections	-10
Normal section shape	0
U - shaped sections with Hogner stern	10

Έτσι έχουμε :

$$C_{stern} = 0$$

$$c_{14} = 1 + 0,011 \cdot 0 = 1$$

$$L_R = L \cdot (1 - C_p + 0,06 \cdot C_p \cdot lcb / (4 \cdot C_p - 1)) = 100 \cdot (1 - 0,6546 + 0,06 \cdot 0,6546 \cdot (-4,079) / (4 \cdot 0,6546 - 1)) = 24,63947$$

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,487118 \cdot c_{14} \cdot (B/L)^{1,06806} \cdot (T/L)^{0,46106} \cdot (L/L_R)^{0,121563} \cdot (L^3/\nabla)^{0,36486} \cdot (1 - C_p)^{-0,604247} =$$

$$= 0,93 + 0,487118 \cdot 1 \cdot (14,2/100)^{1,06806} \cdot (4,1/100)^{0,46106} \cdot (100/24,63947)^{0,121563} \cdot$$

$$\cdot (100^3/2743,283)^{0,36486} \cdot (1 - 0,6546)^{-0,604247} = 1,1993$$

$$Re_n = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{8,2311 \cdot 100}{1,18831 \cdot 10^{-6}} = 692673723,3$$

$$C_F \text{ (ITTC 1957)} = \frac{0,075}{(\log Re - 2)^2} = 0,00160281$$

Η βρεχόμενη επιφάνεια μπορεί να προσεγγιστεί από τον τύπο :

$$S = L \cdot (2 \cdot T + B) \cdot \sqrt{C_M} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot C_B - 0,2826 \cdot C_M - 0,003467 \cdot (B/T) + 0,3696 \cdot C_{WP}) + 2,38 \cdot A_{BT} / C_B =$$

$$= 100 \cdot (2 \cdot 4,1 + 14,2) \cdot \sqrt{0,7198} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,4716 - 0,2826 \cdot 0,7198 - 0,00347 \cdot (14,2/4,1) + 0,3696 \cdot 0,746) +$$

$$+ 2,38 \cdot 1,016 / 0,4716 = 1372,227 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα } R_F = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot V^2 \cdot S \right) / 1000 = \left(\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 0,00160281 \cdot 8,2311^2 \cdot 1372,227 \right) / 1000 = 76,3693 \text{ kN}$$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ

Η αντίσταση των παρελκομένων δίνεται από την σχέση :

$$R_{APP} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{APP} \cdot (1 + k_2) \cdot C_F$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του νερού, V η ταχύτητα του πλοίου, S_{APP} η βρεχόμενη επιφάνεια των παρελκομένων, $1 + k_2$ ο συντελεστής αντίστασης λόγω των παρελκομένων, και C_F ο συντελεστής αντίστασης τριβής. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συντελεστές παρελκομένων. Αυτές οι τιμές ελήφθησαν από δοκιμές σε μοντέλα χωρίς και με παρελκόμενα.

Approximate $1+k_2$ values	
Rudder behind skeg	1.5-2.0
Rudder behind stern	1.3-1.5
Twin-screw balance rudders	2.8
Shaft brackets	3.0
Skeg	1.5-2.0
Strut bossings	3.0
Hull bossings	2.0
Shafts	2.0-4.0
Stabilizer fins	2.8
Dome	2.7
Bildge keels	1.4

Πίνακας 62. Τιμές του συντελεστή $1+k_2$ για διαφορετικά είδη παρελκομένων

Η ισοδύναμη τιμή του παράγοντα $1+k_2$ για ένα συνδιασμό από τα παραπάνω παρελκόμενα δίνεται από την σχέση:

$$1+k_2|_{eq} = \frac{\sum (1+k_2) \cdot S_{APP}}{\sum S_{APP}}$$

Για να υπολογίσουμε το R_{APP} του υπό μελέτη πλοίου, συντάσσουμε τον επόμενο πίνακα με τα παρελκόμενα που θα διαθέτει, παίρνοντας τις διαστάσεις από τα αντίστοιχα του πατρικού.

Appendages	number	WET S (m ²)	S _{app} (m ²)	1+k ₂	S _{app} (1+k ₂)
rudder behind skeg	1	17,82	17,82	1,75	31,185
shaft brackets big	2	0,475	0,95	3	2,85
shaft brackets small	2	0,2376	0,4752	3	1,4256
shafts	2	6,09645	12,1929	3	36,57869
stabilizer fins	2	5,94	11,88	2,8	33,264
sonar dome	1	7,6626	7,6626	2,7	20,68902
		SUM	50,9807		125,9923

Πίνακας 63. Παρελκόμενα υπό μελέτη πλοίου

$$\text{Άρα : } 1 + k_2|_{\text{eq}} = \frac{\sum (1 + k_2) \cdot S_{\text{APP}}}{\sum S_{\text{APP}}} = \frac{125,9923}{50,9807} = 2,47137$$

Επανερχόμαστε στην εξίσωση και αντικαθιστούμε :

$$R_{\text{APP}} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{\text{APP}} \cdot (1 + k_2) \cdot C_F = (0,5 \cdot 1025 \cdot 8,2311^2 \cdot 50,98 \cdot 2,47137 \cdot 0,00160281) / 1000 = 7,0118 \text{ kN}$$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Για $F_n < 0,4$ Η αντίσταση λόγω κυματισμού δίνεται από την σχέση :

$$R_{W-A} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp[m_1 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda) \cdot F_n^{-2}]$$

,όπου :

$$c_1 = 2223105 \cdot c_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} \cdot (90 - i_e)^{-1,37565}$$

i_e : μισή γωνία εισόδου, γωνία δηλαδή της ισάλου στην πλώρη (μετρούμενη σε μοίρες) με την center line, αψηφώντας την τοπική γεωμετρία. Μπορεί να προσεγγιστεί από τον τύπο :

$$i_e = 1 + 89 \cdot \exp\left[-(L/B)^{0,80856} \cdot (1 - C_{WP})^{0,30484} \cdot (1 - C_P - 0,0225 \cdot lcb)^{0,6367} \cdot (L_R/B)^{0,34574} \cdot (100 \cdot \nabla / L^3)^{0,16302}\right] =$$

$$= 1 + 89 \cdot \exp\left[-(100/14,2)^{0,80856} \cdot (1 - 0,7464)^{0,30484} \cdot (1 - 0,6546 - 0,0225 \cdot -4,079)^{0,6367} \cdot (24,6395/14,2)^{0,34574} \cdot (100 \cdot 2743,283/100^3)^{0,16302}\right] = 15,0544 \text{ deg}$$

$$c_7 = B/L = 14,2/100 = 0,142 \quad , \text{για } 0,11 < B/L < 0,25$$

Άρα :

$$c_1 = 2223105 \cdot c_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} \cdot (90 - i_e)^{-1,37565} = 2223105 \cdot 0,142^{3,78613} (4,1/14,2)^{1,07961} \cdot (90 - 15,0544)^{-1,37565} = 0,94616$$

$$c_2 = \exp(-1,89\sqrt{c_3})$$

$$c_3 = \frac{0,56 \cdot A_{BT}^{1,5}}{B \cdot T \cdot (0,31 \cdot \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)} = \frac{0,56 \cdot 1,016^{1,5}}{14,2 \cdot 4,1 \cdot (0,31 \cdot \sqrt{1,016} + 4,1 - 1,745)} = 0,0036928$$

Άρα :

$$c_2 = \exp(-1,89\sqrt{c_3}) = \exp(-1,89\sqrt{0,0036928}) = 0,8914977$$

$$c_5 = 1 - 0,8 \cdot \frac{A_T}{B \cdot T \cdot C_M} = 1 - 0,8 \cdot \frac{2,9589}{14,2 \cdot 4,1 \cdot 0,7198} = 0,9435146$$

$$m_1 = 0,0140407 \cdot L/T - 1,75254 \cdot \nabla^{1/3} / L - 4,79323 \cdot B/L - c_{16}$$

$$c_{16} = 8,07981 \cdot C_P - 13,8673 \cdot C_P^2 + 6,984388 \cdot C_P^3 \quad , \text{για } C_P < 0,8$$

$$= 8,07981 \cdot 0,654616 - 13,8673 \cdot 0,654616^2 + 6,984388 \cdot 0,654616^3 = 1,3059709$$

$$\begin{aligned} \text{Άρα : } m_1 &= 0,0140407 \cdot L / T - 1,75254 \cdot \nabla^{1/3} / L - 4,79323 \cdot B / L - c_{16} = \\ &= 0,0140407 \cdot 100 / 4,1 - 1,75254 \cdot 2743,283^{1/3} / 100 - 4,79323 \cdot 14,2 / 100 - 1,3059709 = -1,8894877 \end{aligned}$$

$$d = -0,9$$

$$m_4 = c_{15} \cdot 0,4 \cdot \exp(-0,034 \cdot Fn^{-3,29})$$

$$c_{15} = -1,69385 \quad , \text{για } L^3 / \Delta < 512$$

$$\text{Άρα : } m_4 = c_{15} \cdot 0,4 \cdot \exp(-0,034 \cdot Fn^{-3,29}) = -1,69385 \cdot 0,4 \cdot \exp(-0,034 \cdot 0,2628447^{-3,29}) = -0,042948319$$

$$\lambda = 1,446 \cdot C_p - 0,03 \cdot L / B \quad , \text{για } L/B < 12$$

$$\lambda = 1,446 \cdot C_p - 0,03 \cdot L / B = 1,446 \cdot 0,654616 - 0,03 \cdot 100 / 14,2 = 0,735307$$

Επανερχόμαστε στην εξίσωση και αντικαθιστούμε :

$$R_{w-A} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp[m_1 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda) \cdot F_n^{-2}] =$$

$$= \{ 0,94616 \cdot 0,8914977 \cdot 0,9435146 \cdot 2743,283 \cdot 1025 \cdot 9,8066 \cdot$$

$$\cdot \exp[-1,8894877 \cdot 0,2628447^{-0,9} - 0,042948319 \cdot \cos(0,735307) \cdot 0,2628447^{-2}] \} / 1000 = 41,333123 \text{ kN}$$

Για $Fn > 0,55$ ο παραπάνω τύπος της αντίστασης κυματισμού βρέθηκε ότι παρουσιάζει αυξημένη απόκλιση, έτσι δόθηκε ο εξής διορθωμένος τύπος, που προσεγγίζει καλύτερα το πραγματικό αποτέλεσμα, [9]

$$R_{w-B} = c_{17} \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp[m_3 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda) \cdot F_n^{-2}]$$

$$c_{17} = 6919,3 \cdot C_M^{-1,3346} \cdot (\nabla / L^3)^{2,00977} \cdot (L / B - 2)^{1,40692} =$$

$$= 6919,3 \cdot 0,7198^{-1,3346} \cdot (2743,283 / 100^3)^{2,00977} \cdot (100 / 14,2 - 2)^{1,40692} = 0,742466864$$

$$m_3 = -7,2035 \cdot (B / L)^{0,326869} \cdot (T / B)^{0,605375} = -7,2035 \cdot (14,2 / 100)^{0,326869} \cdot (4,1 / 14,2)^{0,605375} = -1,794115384$$

Επανερχόμαστε στην εξίσωση και αντικαθιστούμε :

$$R_{w-B} = c_{17} \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp[m_3 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda) \cdot F_n^{-2}] =$$

$$= \{ 0,7424669 \cdot 0,8914977 \cdot 0,9435146 \cdot 2743,283 \cdot 1025 \cdot 9,8066 \cdot$$

$$\cdot \exp[-1,79412 \cdot F_n^{-0,9} - 0,04295 \cdot \cos(0,7353) \cdot F_n^{-2}] \} / 1000$$

Για το διάστημα ταχυτήτων $0,4 < Fn < 0,55$ συνιστάται η χρήση του παρακάτω τύπου παρεμβολής, [9]

$$R_w = R_{w-A0,4} + (10 \cdot Fn - 4) \cdot (R_{w-B0,55} - R_{w-A0,4}) / 1,5$$

,όπου : $R_{w-A0,4}$ είναι η εκτίμηση της αντίστασης με τον τύπο R_{w-A} για $Fn = 0,40$

και $R_{w-B0,55}$ είναι η εκτίμηση της αντίστασης με τον τύπο R_{w-B} για $Fn = 0,55$

Έτσι : $R_{w-A0,4} = 306,6332 \text{ kN}$ και $R_{w-B0,55} = 1192,527117 \text{ kN}$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΛΟΓΩ ΒΟΛΒΟΕΙΔΟΥΣ ΠΛΩΡΗΣ

Η πρόσθετη αντίσταση λόγω της ύπαρξης του προωραίου βολβού κοντά στην ίσαλο ορίζεται από την σχέση :

$$R_B = 0,11 \cdot \exp(-3 \cdot P_B^{-2}) \cdot F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1,5} \cdot \rho \cdot g / (1 + F_{ni}^2)$$

,όπου : P_B ένα μέτρο για την ανάδυση της πλώρης

$$P_B = 0,56 \cdot \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1,5 \cdot h_B) = 0,56 \cdot \sqrt{1,016} / (4,1 - 1,5 \cdot 1,745) = 0,38075$$

F_{ni} ο αριθμός Froude βασισμένος στην ανάδυση της πλώρης

$$F_{ni} = V / \sqrt{g \cdot (T_F - h_B - 0,25 \cdot \sqrt{A_{BT}}) + 0,15 \cdot V^2} =$$

$$= 8,2311 / \sqrt{9,8066 \cdot (4,1 - 1,745 - 0,25 \cdot \sqrt{1,016}) + 0,15 \cdot 8,2311^2} = 1,48348$$

Επανερχόμαστε στην εξίσωση και αντικαθιστούμε :

$$R_B = 0,11 \cdot \exp(-3 \cdot P_B^{-2}) \cdot F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1,5} \cdot \rho \cdot g / (1 + F_{ni}^2) =$$

$$= 0,11 \cdot \exp(-3 \cdot 0,38075^{-2}) \cdot 1,48348^3 \cdot 1,016^{1,5} \cdot 1,025 \cdot 9,8066 / (1 + 1,48348^2) = 1,18989E - 09 \text{ kN}$$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΛΟΓΩ ΒΥΘΙΣΜΕΝΟΥ ΚΑΘΡΕΠΤΗ

Με αντίστοιχο τρόπο προσδιορίζεται η πρόσθετη αντίσταση πίεσης λόγω του βυθισμένου καθρέπτη :

$$R_{TR} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_T \cdot c_6$$

F_{nT} αριθμός Froude βασισμένος στην ανάδυση του καθρέπτη

$$F_{nT} = V / \sqrt{2 \cdot g \cdot A_T / (B + B \cdot C_{WP})} = 8,2311 / \sqrt{2 \cdot 9,8066 \cdot 2,9589 / (14,2 + 14,2 \cdot 0,7464)} = 5,380655$$

$$c_6 = 0 \quad , \text{για } F_{nT} \geq 5$$

$$\text{Άρα : } R_{TR} = 0 \text{ kN}$$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

$$R_A = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_A$$

C_A : ο συγκεκριμένος συντελεστής περιγράφει την επίδραση της τραχύτητας (διαφορά της τραχύτητας του προτύπου και του πλοίου) και του αέρα στην αντίσταση του πλοίου. Με βάση την ανάλυση των αποτελεσμάτων δοκιμών, ο συντελεστής συσχέτισης δίνεται από τη σχέση :

$$C_A = 0,006 \cdot (L + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \cdot \sqrt{L / 7,5} \cdot C_B^4 \cdot c_2 \cdot (0,04 - c_4)$$

$$T_F / L = 4,1 / 100 = 0,041$$

$$c_4 = 0,04 \quad , \text{για } T_F / L > 0,04$$

Άρα :

$$C_A = 0,006 \cdot (L + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \cdot \sqrt{L/7,5} \cdot C_B^4 \cdot c_2 \cdot (0,04 - c_4) =$$

$$= 0,006 \cdot (100 + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \cdot \sqrt{100/7,5} \cdot 0,4716 \cdot 0,891498 \cdot (0,04 - 0,04) = 0,000520316$$

Επανερχόμαστε στην εξίσωση και αντικαθιστούμε :

$$R_A = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_A = 0,5 \cdot 1,025 \cdot 8,2311^2 \cdot 1372,227 \cdot 0,000520316 = 24,7916 \text{ kN}$$

ΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

$$R_{\text{TOTAL}} = R_F \cdot (1 + k_l) + R_{\text{APP}} + R_W + R_B + R_{\text{TR}} + R_A =$$

$$= 76,3693 \cdot 1,1993 + 7,0118 + 41,3331 + 1,1899E - 09 + 0 + 24,7916 = 164,7266 \text{ kN}$$

$$\text{EHP} = \frac{R_T[\text{kp}] \cdot V[\text{m/s}]}{75} = \frac{16797,521 \cdot 8,2311}{75} = 1843,4968 \text{ PS}$$

ΙΣΧΥΣ ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗΣ	164,7266	kN
	16797,5211	kp
	1843,4968	PS
	1355,8896	kw

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες ταχύτητες έως τους 32 kn. Έτσι συμπληρώνουμε τους παρακάτω πίνακες και κατασκευάζουμε τα διαγράμματα V – Rtot και V – EHP.

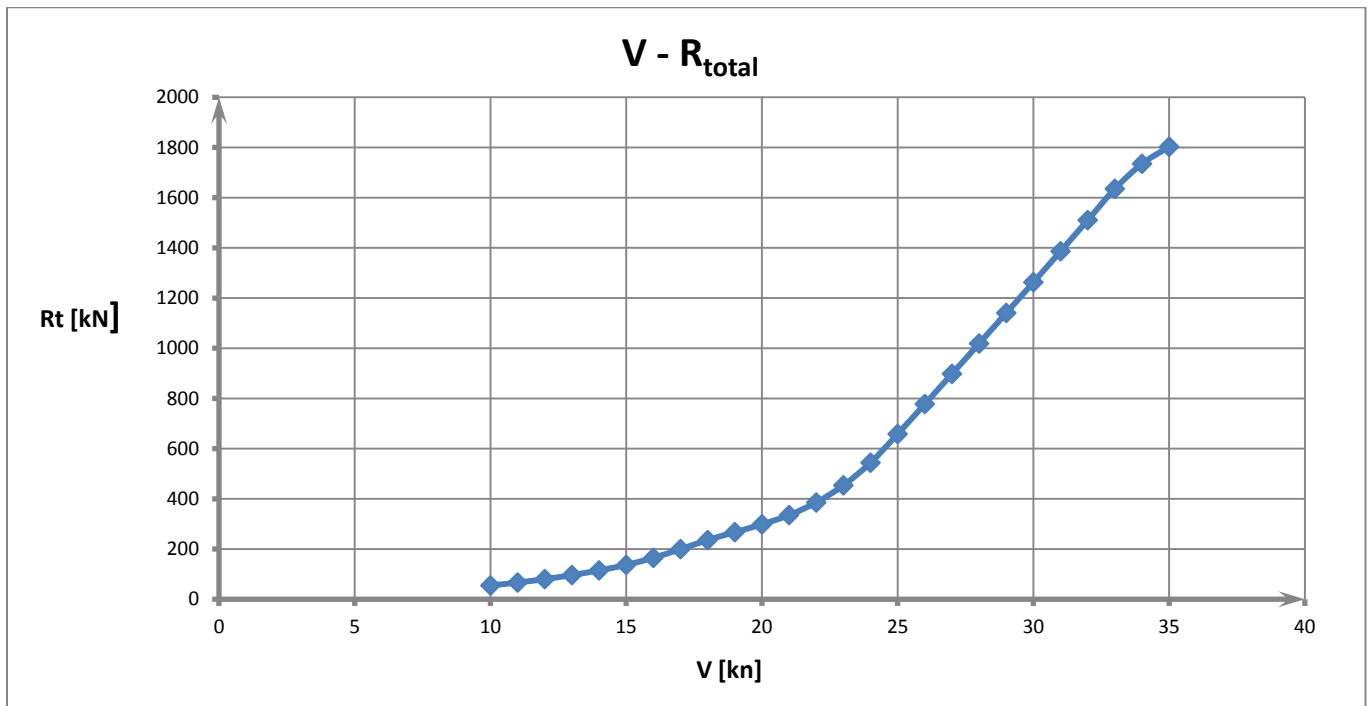
V [kn]	RT [kn]
10	54,7594
11	66,4663
12	80,1245
13	96,1972
14	114,9715
15	136,6643
16	164,7266
17	199,6205
18	235,4704
19	267,2975
20	298,1707
21	335,3160
22	385,3486

V [kn]	EHP [kW]
10	281,7045
11	376,1220
12	494,6309
13	643,3401
14	828,0433
15	1054,5840
16	1355,8896
17	1745,7774
18	2180,4374
19	2612,6622
20	3067,8188
21	3622,4997
22	4361,2526

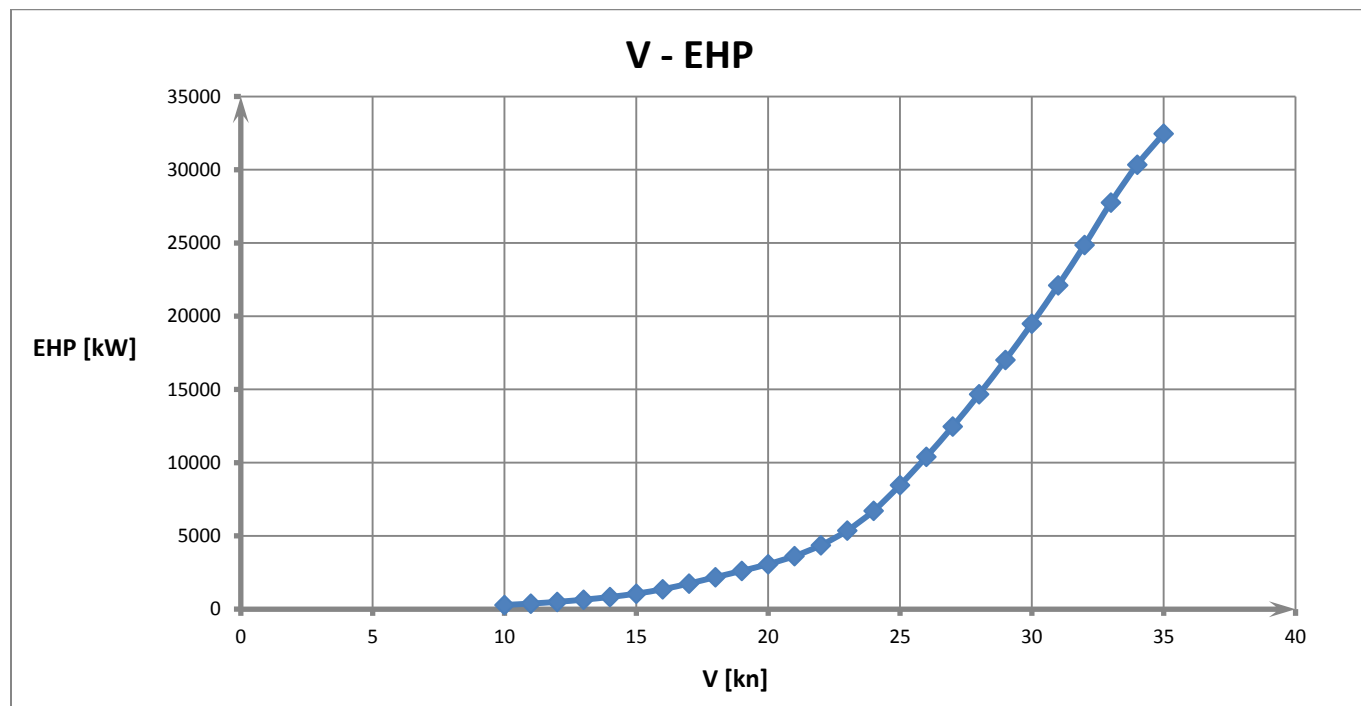
23	453,5943
24	543,9432
25	658,3050
26	777,6567
27	897,8019
28	1018,7381
29	1140,4629
30	1262,9740
31	1386,2692
32	1510,3464
33	1635,2035
34	1734,7459
35	1802,8819

23	5366,9826
24	6715,8270
25	8466,4607
26	10401,5001
27	12470,3600
28	14674,2289
29	17014,2918
30	19491,7302
31	22107,7223
32	24863,4433
33	27760,0650
34	30342,3706
35	32461,6101

Πίνακας 64. Σημεία καμπυλών V – R_t και V – EHP



Σχήμα 75. Καμπύλη ταχύτητας – ολικής αντίστασης



Σχήμα 76. Καμπύλη ταχύτητας – ωφέλιμης ισχύος EHP

Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Πολίτη, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [8] J. Holtrop και G. J. Mennen, «An Approximate Power Prediction Method».
- [9] J. Holtrop, «A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data».
- [10] Α. Δ. Ε. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου, Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 2.
- [17] Α. Δ. Παπανικολάου και Ε. Κ. Μπουλουγούρης, Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [37] M.Parsons, «Parametric Design».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΩΣΗΣ

« Πρόσεχε να προφέρεις καθαρά τη λέξη θάλασσα
έτσι που να γυαλίσουν μέσα της όλα τα δελφίνια
Κι η ερημιά πολλή που να χωρά ο θεός »

Οδυσσέας Ελύτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΩΣΗΣ

7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΟΜΟΡΡΟΥ w , ΜΕΙΩΣΗΣ ΩΣΗΣ t ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ nR

- **Υπολογισμός συντελεστή ομόρρου w , [1] (σ. 296)**

Ο υπολογισμός του συντελεστή ομόρρου θα γίνει με χρήση τριών μεθόδων για διπλέλικα πλοία :

Kruger :

$$w = 0,81 \cdot C_B - 0,34 = 0,81 \cdot 0,4716 - 0,34 = 0,041996$$

Hecksher :

$$w = 0,7 \cdot C_p - 0,3 = 0,7 \cdot 0,6546 - 0,3 = 0,15822$$

Holtrop :

$$w = 0,3095 \cdot C_B + 10 \cdot C_V \cdot C_B - 0,23 \cdot D / \sqrt{BT}$$

$$C_V = (1+k) \cdot C_F + C_A = 1,1993 \cdot 0,0016028 + 0,000520316 = 0,00244257$$

$$\text{Άρα : } w = 0,3095 \cdot C_B + 10 \cdot C_V \cdot C_B - 0,23 \cdot D / \sqrt{BT} =$$

$$= 0,3095 \cdot 0,4716 + 10 \cdot 0,0024426 \cdot 0,4716 - 0,23 \cdot 7,9 / \sqrt{14,2 \cdot 4,1} = 0,036769855$$

Επιλέγω την τιμή που δίνει ο Holtrop , $w = 0,03677$

- **Υπολογισμός συντελεστή μείωσης ώσης t , [1] (σ. 296)**

Ομοίως, ο υπολογισμός του συντελεστή μείωσης ώσης θα γίνει με χρήση τριών μεθόδων για διπλέλικα :

SSPA

$$t = w \cdot \left(1,67 - 2,3 \cdot \frac{C_B}{C_{WP}} + 1,5 \cdot C_B \right) = 0,079 \cdot \left(1,67 - 2,3 \cdot \frac{0,4716}{0,7464} + 1,5 \cdot 0,4716 \right) = 0,247715$$

Hecksher

$$t = 0,5 \cdot C_p - 0,18 = 0,1473$$

Holtrop

$$t = 0,325 \cdot C_B - 0,1885 \cdot \frac{D}{\sqrt{B \cdot T}} = 0,325 \cdot 0,4716 - 0,1885 \cdot \frac{7,9}{\sqrt{14,2 \cdot 4,1}} = 0,0543198$$

Επιλέγω την τιμή που δίνει ο Holtrop, $t = 0,05432$

7.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΟΧΩΝ ΕΛΙΚΑΣ ΓΑΣΤΡΑΣ

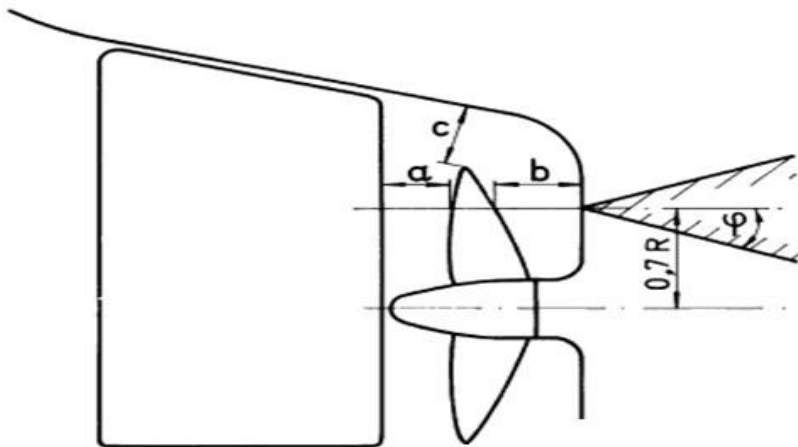
Διάμετρος έλικας :

Για την εκλογή της διαμέτρου της έλικας γίνεται μια εκτίμηση λαμβάνοντας υπ' όψιν τα εξής:

1. Να ικανοποιούνται οι ανοχές ακροπτερυγίου όπως περιγράφονται από τον LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
2. Οι απαιτήσεις για πλήρως βυθισμένη έλικα
3. Να χωράει η έλικα και οι ανοχές της , έλεγχος που γίνεται από το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών του υπό μελέτη πλοίου. (παρατίθεται σκαρίφημα παρακάτω)

Οι ανοχές έχουν υπολογιστεί από τις εξής σχέσεις :

Για σκάφη χωρίς ποδόστημα (ανακρεμασμένο πηδάλιο), προτείνονται οι εξής ανοχές, [10] (σ. 76) :



Σχήμα 77. Ανοχές έλικας και σκάφους για ανακρεμασμένο πηδάλιο.

$D_{prop} = 4 \text{ m}$ με $z = 5$ πτερύγια

$$a_{min} = 0,09 \cdot D_{prop} = 360 \text{ mm} < 1215 \text{ mm}$$

$$b_{min} = 0,15 \cdot D_{prop} = 600 \text{ mm} < 1953 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 0,12 \cdot D_{prop} = 480 \text{ mm} < 898 \text{ mm}$$

Όπως φαίνεται η αρχική υπόθεση για έλικα διαμέτρου 4 m, ευσταθεί εφόσον καλύπτουμε τις ανάγκες μας για τις ανοχές. Έτσι συνεχίζονται οι υπολογισμοί βάση αυτής της διαμέτρου.

Λόγος A_E / A_O :

Ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας επιλέγεται με βάση το κριτήριο «αποδεκτής σπηλαίωσης σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας της προωστήριας εγκατάστασης». Μια αρχική εκτίμηση μπορούμε να έχουμε από τον ακόλουθο τύπο του Keller :

$$\frac{A_E}{A_O} = \left\{ \frac{(1,3 + 0,3 \cdot z) \cdot T}{(P_o - P_v) \cdot D_{ελ}^2} \right\} + k$$

όπου :

T : ώση της έλικας [kp] $T = R_T / (1 - t) = 16809,0207 / (1 - 0,05432) = 17774,53$ kp

Z : αριθμός πτερυγίων $Z = 5$

ρ_o : στατική πίεση στο κέντρο της πλήμνης [p/m^2]

$$\rho_o = p_a + \rho \cdot g \cdot h$$

Ο άξονας απέχει από την ίσαλο πλευσης $h = 4,1$ m

$$\text{Άρα : } \rho_o = p_a + \rho \cdot g \cdot h = 10200 \text{ [kp / m}^2\text{]} + 104,61 \text{ [kp} \cdot \text{s}^2 \text{ / m}^4\text{]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \cdot 4,1 \text{ [m]} = 14407,51881$$

ρ_v : πίεση ατμοποίησης του νερού [p/m^2] $\rho_v = 175,7$ [kp / m^2]

$D_{ελ}$: διάμετρος της έλικας [m] $D_{ελ} = 4$ m

$K = 0,1$ για διπλέλικα πλοία

Αντικαθιστώντας στον τύπο παίρνουμε :

$$\frac{A_E}{A_O} = \left\{ \frac{(1,3 + 0,3 \cdot z) \cdot T}{(P_o - P_v) \cdot D_{ελ}^2} \right\} + k = \left\{ \frac{(1,3 + 0,3 \cdot 5) \cdot 17774,53}{(14407,5188 - 175,7) \cdot 4^2} \right\} + 0,1 = 0,318563$$

Ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας κατα Keller δίνει μια προτεινόμενη τιμή. Θα πρέπει, ωστόσο, να επιλεγεί μια τυποποίηση του λόγου αυτού. Επιλέγοντας από την σειρά ελίκων Wageningen B και τυποποιώντας προς την πιο κοντινή τιμή, η καταλληλότερη έλικα είναι η B5-75, όπου ο πρώτος αριθμός αφορά στον αριθμό των πτερυγίων της έλικας και ο δεύτερος στο λόγο εκτεταμένης επιφάνειας. Να σημειώσουμε ότι δεν επιλέξαμε τις δύο κοντινότερες τιμές 0,45 και 0,60 διότι θέλαμε έλικα με όσο το δυνατό χαμηλότερο βαθμό σπηλαίωσης γίνεται. Κι αυτό γιατί την ηχητική υπογραφή του πλοίου (αν και δεν αποτελεί απαίτηση) οφείλουμε να τη διατηρούμε σε όσο πιο χαμηλά επίπεδα γίνεται, για λόγους φυσικά μη ανιχνευσιμότητας του πλοίου. Μετά, λοιπόν, από δύο επαναλήψεις της διαδικασίας, αποφασίσαμε με το παραπάνω σκεπτικό, να επιλέξουμε το μεγαλύτερο λόγο A_E/A_O από τους τρεις που διαθέτει η B5, δηλαδή την έλικα B5-75.

Πολυώνυμα Κουμαρτζή :

Χρησιμοποιώντας τους πίνακες από τη διπλωματική εργασία Κουμαρτζή, [11] (σ.21) υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της έλικας όπως το βήμα της P/D , ο συντελεστής απόδοσης η_o και ο συντελεστής προχώρησης της έλικας J .

Η ταχύτητα προχώρησης δίνεται από τη σχέση :

$$V_A = V_S \cdot (1 - w) = 0,5144 \cdot 16 \cdot (1 - 0,03678) = 7,9277 \text{ m/sec} \quad , [1] \text{ (}\sigma.286\text{)}$$

Υπολογίζουμε τις σταθερές :

$$C = \frac{K_T}{J^2} = \frac{\frac{T}{\rho_{sw} \cdot N^2 \cdot D_{prop}^4}}{\left(\frac{V_A}{N \cdot D_{prop}}\right)^2} = \frac{T}{\rho_{sw} \cdot V_A^2 \cdot D^2} = \frac{17774,529}{104,61 \cdot 7,9277^2 \cdot 4^2} = 0,16897 \quad , [1] \text{ (}\sigma.227\text{)}$$

$$X = \ln\left(\sqrt{\frac{K_T}{J^2}}\right) = \ln\left(\sqrt{0,16897}\right) = -0,889$$

,όπου:

K_T : συντελεστής ώσης , J : συντελεστής προχώρησης, N : ταχύτητα περιστροφής έλικας
Γνωρίζοντας επίσης ότι ο αριθμός των πτερυγίων της έλικας είναι $z = 5$ και οτι ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας $A_E / A_O = 0,75$ από την τυποποιημένη κατα Wageningen έλικα υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της έλικας.

P/D

Number of blades Z = 5		Optimum rpm Coefficients					
AE/AO	$X = \ln[\text{sqr}(K_T/J^2)]$, $(P/D) = a_0X^0 + a_1X^1 + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4 + a_5X^5 + a_6X^6$						
	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6
0,75	0,898560	-0,328910	0,111250	0,080150	0,018770	-0,113620	0,043330
P/D =	1,319						

1/J

Number of blades Z = 5		Optimum rpm Coefficients			
AE/AO	$X = \ln[\text{sqr}(K_T/J^2)]$, $(1/J) = a_0X^0 + a_1X^1 + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$				
	a0	a1	a2	a3	a4
0,75	2,059950	1,873280	0,945570	0,361480	0,115670
1/J =	0,9602				
J =	1,04148088				

η0

Number of blades Z = 5		Optimum Rpm Coefficients			
ΑΕ/Α0	$X = \ln[\text{sqr}(K_T/J^2)]$, $\eta_0 = a_0X^0 + a_1X^1 + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$				
	a0	a1	a2	a3	a4
0,75	0,523300	-0,283970	-0,019010	0,045300	-0,008320
$\eta_0 =$	0,72				

Πίνακας 65. Πολυώνυμα Κουρματζή για τον υπολογισμό των P/D, η0, J

7.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΙΚΑΣ

Γνωρίζοντας πλέον τα παραπάνω μεγέθη, όπως ταχύτητα προχώρησης, συντελεστής προχώρησης κ.α. είναι δυνατός ο υπολογισμός κάποιων χαρακτηριστικών αριθμών και συντελεστών που αφορούν την έλικα. Έτσι έχουμε :

Στροφές έλικας :

$$n_{opt} = \frac{V_A}{J \cdot D_{prop}} = \frac{7,9277}{1,0415 \cdot 4} = 1,903 \text{ rps}$$

$$N_{opt} = n_{opt} \cdot 60 = 114,18 \text{ RPM}$$

Συντελεστής γάστρας :

$$n_{hull} = \frac{1-t}{1-w} = \frac{1-0,05432}{1-0,03678} = 0,9818 \text{ , [1] (σ.300)}$$

Βαθμός απόδοσης άξονα :

$$n_s = 0,99$$

Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής :

Τώρα που έχουμε μια εκτίμηση του λόγου P/D, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση του Holtrop για διπλέλικα πλοία για τον υπολογισμό του n_R . [1] (σ.297)

$$\begin{aligned} n_R &= 0,9737 - 0,111 \cdot (C_p - 0,0225 \cdot lcb) - 0,06325 \cdot \frac{P}{D} = \\ &= 0,9737 - 0,111 \cdot (0,6546 - 0,0225 \cdot (-4,079)) - 0,06325 \cdot 1,319 = 0,9731 \end{aligned}$$

Βαθμός απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή :

Απο τα πολώνυμα Κουρματζή είναι ίσος με $n_0 = 0,72$

Συντελεστής πρόωσης (Propulsive Coefficient) :

Από τους συντελεστές που έχουν έως τώρα υπολογιστεί υπολογίζεται ο συνολικός συντελεστής πρόωσης από τον τύπο , [1] (σ.300) :

$$P.C = n_h \cdot n_s \cdot n_R \cdot n_0 = 0,9818 \cdot 0,99 \cdot 0,9731 \cdot 0,72 = 0,681$$

7.4 ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ ΕΛΙΚΟΦΟΡΟΥ ΑΞΟΝΑ

Μια εκτίμηση της απαιτούμενης ιπποδύναμης του ελικοφόρου άξονα προκύπτει από τον τύπο :

$$SHP = \frac{EHP}{P.C} = \frac{1843,4968}{0,681} = 2707,028 \text{ PS}$$

$$SHP = 1991,0157 \text{ kW}$$

Εάν στην παραπάνω ισχύ συνυπολογίσουμε και την επιβάρυνση 20%, λόγω ρυπασμένης γάστρας, τότε έχουμε :

$$SHP_{\text{fouled hull}} = 1,2 \cdot SHP = 1,2 \cdot 1991,0157 \text{ kW}$$

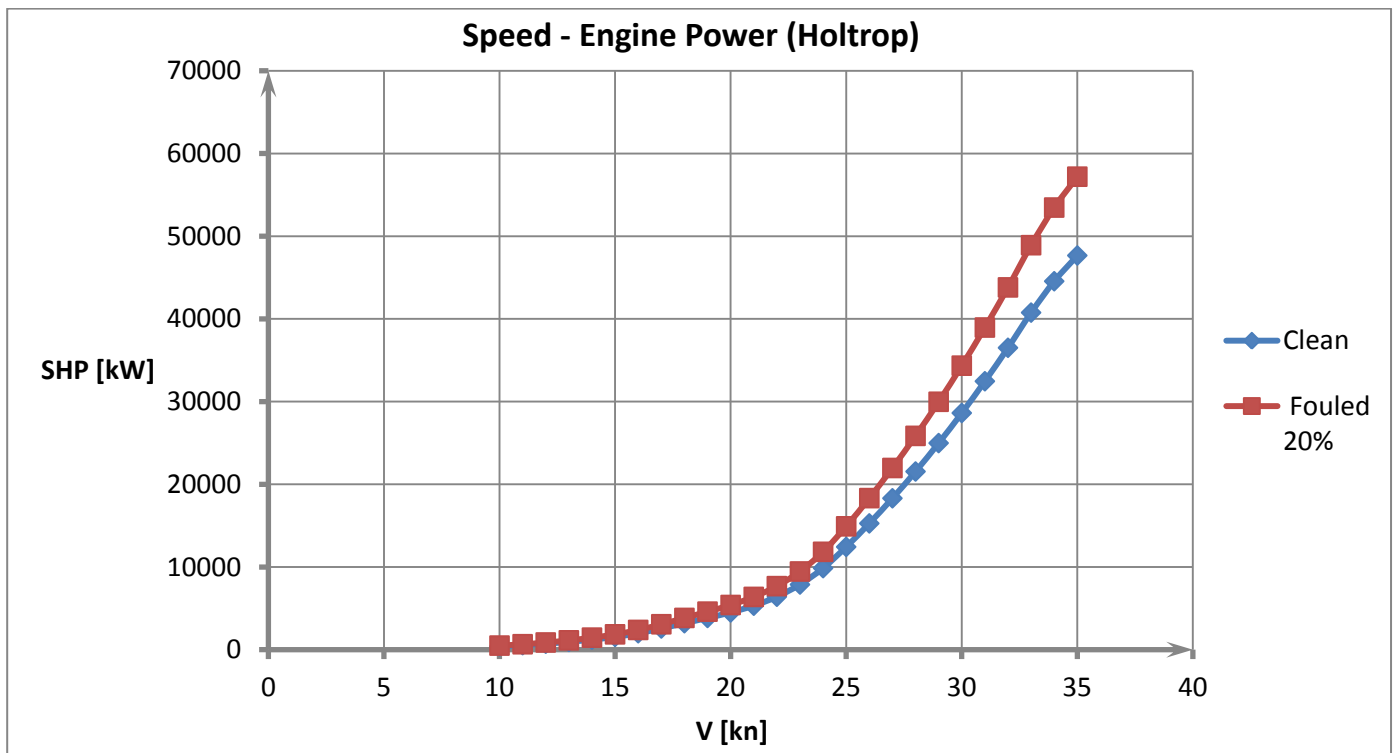
Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για το εύρος ταχυτήτων 16 - 32 kn, όπως και πρίν και δημιουργούμε το διάγραμμα SHP – V, το οποίο θα συγκρίνουμε με εκείνο που θα προκύψει από τη χρήση του προγράμματος GRID παρακάτω, ώστε να επαληθεύσουμε και να επιβεβαιώσουμε τα αποτελέσματά μας.

7.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΙΣΧΥΟΣ (SPEED – ENGINE POWER)

V	SHP [kW]	SHP 20%Fouled
10	413,6605	496,3926
11	552,3052	662,7662
12	726,3260	871,5912
13	944,6936	1133,6323
14	1215,9156	1459,0987
15	1548,5725	1858,2870
16	1991,0157	2389,2189

17	2563,5349	3076,2419
18	3201,7984	3842,1581
19	3836,4860	4603,7832
20	4504,8472	5405,8166
21	5319,3518	6383,2222
22	6404,1515	7684,9818
23	7880,9858	9457,1829
24	9861,6562	11833,9875
25	12432,3222	14918,7866
26	15273,7732	18328,5278
27	18311,7289	21974,0747
28	21547,9346	25857,5215
29	24984,1303	29980,9564
30	28622,0510	34346,4612
31	32463,4267	38956,1121
32	36509,9831	43811,9797
33	40763,4411	48916,1293
34	44555,3508	53466,4209
35	47667,2850	57200,7421

Πίνακας 66. Σημεία καμπύλης Speed – Engine Power



Σχήμα 78. Καμπύλη ταχύτητας – ισχύος στον άξονα SHP, σε καθαρή και ρυπασμένη κατάσταση

7.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΕ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ

Ο έλεγχος σπηλαιώσης θα βασιστεί στο κριτήριο του Burrill, το οποίο υπολογίζει το ποσοστό σπηλαιώσης πίσω όψης, [1] (σ.339). Για να βρούμε το ποσοστό σπηλαιώσης πρέπει να υπολογίσουμε το ζεύγος (τ_c , $\sigma_{0,7R}$) ώστε να εντοπίσουμε το σημείο στο διάγραμμα του Burrill. Πρέπει όμως να γνωρίζουμε κάποια μεγέθη :

$$V_{0,7R}^2 = V_A^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot N \cdot D_{prop})^2 = 7,9277^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot 1,902985 \cdot 4)^2 = 343,0603 \text{ m}^2/\text{sec}^2$$

$$q_{0,7R} = 0,5 \cdot \rho_{SW,15^\circ C} \cdot V_{0,7R}^2 = 0,5 \cdot 104,610 \cdot 343,0603 = 17943,77 \text{ kp/m}^2$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,5664 \text{ m}^2$$

$$A_E = \frac{A_E}{A_0} \cdot A_0 = 0,75 \cdot 12,5664 = 9,4248 \text{ m}^2$$

$$A_D \square A_E = 9,4248 \text{ m}^2$$

$$A_P \square A_D \cdot \left(1,067 - 0,229 \frac{P}{D}\right) = 9,4248 \cdot (1,067 - 0,229 \cdot 1,319) = 7,209932 \text{ m}^2$$

Έτσι, τελικά υπολογίζουμε :

$$\sigma_{0,7R} = \frac{p_0 - p_v}{q_{0,7R}} = \frac{14407,519 - 175,7}{17943,77} = 0,793$$

$$\tau_c = \frac{T}{A_P} = \frac{17762,369}{7,2099} = 0,137$$

Τοποθετώντας το σημείο $\sigma_{0,7R} = 0,793$ και $\tau_c = 0,137$ στο διάγραμμα του Burrill παρατηρούμε ότι είναι σημείο μηδενικής σπηλαιώσης. Συνεπώς, η έλικα που επιλέχθηκε πληρεί απόλυτα το κριτήριο του Burrill και ταυτόχρονα υπηρετεί πλήρως τις ανάγκες μας για έλικα με χαμηλή ηχητική υπογραφή. Είναι ανάγκη η έλικα ενός πολεμικού πλοίου να είναι πλήρως αθόρυβη, ώστε να αποφευχθεί η υδροακουστική ανίχνευση. Επειδή η σπηλαιώση είναι η κυρίαρχη υδροδυναμική πηγή θορύβου, πρέπει να αποφεύγεται στις μεγαλύτερες δυνατές ταχύτητες. Επιπλέον μια προσεκτική σχεδίαση έλικας είναι μια απαίτηση που απαιτεί δοκιμές σε ανώτατου επιπέδου εγκαταστάσεις πριν κατασκευαστεί το νέο πλοίο. Η σπηλαιώση, δηλαδή η εξάτμιση του νερού σε περιοχές χαμηλής πίεσεως στα πτερύγια της έλικας, είναι πρακτικά αναπόφευκτη στα ποντοπόρα πλοία στις ταχύτητες σχεδίασεως. Η χαμηλή πίεση, ή ακριβέστερα, η διαφορά πίεσης μεταξύ της πρόσοψης και της πίσω όψης του πτερυγίου της έλικας, που είναι η αρχή λειτουργίας της, εμφανίζεται σε περιοχές ροής με μεγάλες ταχύτητες. Η σπηλαιώση προκαλεί τις εξής δυσλειτουργίες στην έλικα :

Διάβρωση : Οι εξατμιζόμενες φυσαλίδες προσκρούουν με μεγάλη ποσότητα ενέργειας , ώστε το υλικό της έλικας να καταστρέφεται κατά την διάρκεια της ζωής του.

Κραδασμοί : Η αλλαγή στον όγκο μέσω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ της υγρής και της αέριας φάσης προκαλεί κραδασμούς.

Εκπομπή θορύβου : Η αυξημένη δυναμική διαδικασία σπηλαιώσης είναι θορυβώδης, ακόμα και αν ο όγκος σπηλαιώσης είναι μικρός.

Για εμπορικά πλοία η πρόκληση στο σχεδιασμό έλικας δεν είναι η ολοκληρωτική αποφυγή της σπηλαιώσης. Η πρόκληση είναι μια υψηλή απόδοση της έλικας, αποφεύγοντας τη διάβρωση και τους κραδασμούς, ως αποτέλεσμα δυσμενούς σπηλαιώσης. Μία ελεγχόμενη σπηλαιώση είναι επιτρεπτή στα εμπορικά πλοία. Αντίθετα, οι σχεδιαστές έλικας για το πολεμικό ναυτικό πρέπει επιπρόσθετα να αποφύγουν την εκπομπή θορύβου σε ταχύτητες πλοίου, όπου απαιτούνται χαμηλά επίπεδα θορύβου για επιχειρησιακούς λόγους. Σε τέτοιες ταχύτητες μια μη-σπηλαιούμενη έλικα είναι απαραίτητη για ένα πολεμικό πλοίο, όπως και το γκρι χρώμα είναι απαραίτητο για την μείωση της οπτικής ανίχνευσης.

7.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΕΛΙΚΑΣ

Σύμφωνα με τους κανονισμούς το ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος του πτερυγίου της έλικας στο 25% και στο 60% της ακτίνας της έλικας δίνεται απο τον τύπο :

$$T \text{ [mm]} = \frac{K \cdot C \cdot A}{E \cdot F \cdot U \cdot L \cdot N} + 100 \cdot \sqrt{\frac{3150 \cdot M \cdot P}{E \cdot F \cdot R \cdot U \cdot L \cdot N}}$$

,όπου :

$$K = \frac{G \cdot B \cdot D^3 \cdot R^2}{675} = \frac{8,3 \cdot 0,75 \cdot 4^3 \cdot 114,18^2}{675} = 7694,6512$$

G η πυκνότητα του υλικού κατασκευής της έλικας, για έλικα από Mn-Bronze και μέγιστη επιτρεπόμενη

τάση $U = 590 \text{ N/mm}^2$ προκύπτει ότι $G = 8,3 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, $U = 590 \text{ N/mm}^2$.

B : λόγος της εκτεταμένης επιφάνειας της έλικας $(A_E/A_O) = 0,75$

D : διάμετρος της έλικας $D = 4 \text{ m}$

R: ταχύτητα περιστροφής της έλικας $R = 114,18 \text{ RPM}$

A: διαμήκης απόκλιση στο άκρο του πτερυγίου, η οποία με θεωρούμενη γωνία κλίσης της γραμμής των μέσων χορδών, ως προς το επίπεδο Y-Z, ίση με $\varphi = 15^\circ$ προκύπτει από την ακόλουθη σχέση :

$$A = \frac{D}{2} \cdot \tan 15^\circ = \frac{4}{2} \cdot \tan 15^\circ = 0,536 \text{ m}$$

E = 1,25

N : αριθμός των πτερυγίων της έλικας, άρα $N = 5$

P : μέγιστη ισχύς στον άξονα: $P = 2378,578 \text{ kW}$ (20% προσαύξηση στην SHP)

Ειδικά για το ελάχιστο πάχος πτερυγίου σε ακτίνα $r = 0,25R$, έχουμε: $C = 1,0$

$$P_{0,25R} = \frac{1}{2} \cdot (0,887 \cdot \frac{P}{D} \cdot D + 0,822 \cdot \frac{P}{D} \cdot D) = \frac{1}{2} \cdot (0,887 \cdot 1,319 \cdot 4 + 0,822 \cdot 1,319 \cdot 4) = 4,51$$

$$F_{0,25R} = \frac{P_{0,25R}}{D} + 0,8 = \frac{4,51}{4} + 0,8 = 1,93$$

$$P_{0,7} = \frac{P}{D} \cdot D = 1,319 \cdot 4 = 5,28$$

$$M_{0,25R} = 1,0 + 3,75 \cdot \frac{4}{5,28} + 2,8 \cdot \frac{4,51}{4} = 7$$

$L_{0,25} = C_{r0,25}$: εκτεταμένο μήκος υδροτομής σε ακτίνα $0,25R$

$$L_{0,25} = 1772 \cdot D \cdot \frac{A_E}{A_0} / Z = 1772 \cdot 4 \cdot 0,75 / 5 = 451,59 \text{ mm}$$

Επίσης για το ελάχιστο πάχος πτερυγίου σε ακτίνα $r = 0,6R$, έχουμε $C = 1,6$

$$P_{0,6R} = \frac{P}{D} \cdot D = 1,319 \cdot 4 = 5,28 \text{ m}$$

$$F_{0,6R} = \frac{P_{0,6R}}{D} + 4,5 = \frac{5,28}{4} + 4,5 = 5,8188$$

$$M_{0,6R} = 1,35 + 5,0 \cdot \frac{D}{P_{0,7}} + 1,35 \cdot \frac{P_{0,6}}{D} = 1,35 + 5,0 \cdot \frac{4}{5,27515} + 1,35 \cdot \frac{5,27515}{4} = 6,92172$$

$L_{0,6} = C_{r0,6}$: εκτεταμένο μήκος υδροτομής σε ακτίνα $0,6R$

$$L_{0,6} = 2187 \cdot D \cdot \frac{A_E}{A_0} / Z = 2187 \cdot 4 \cdot 0,75 / 5 = 1312,2 \text{ mm}$$

Αντικαθιστώντας στους αρχικούς τύπους θα έχουμε τα ελάχιστα πάχη, τα οποία είναι ίσα με :

$$T_{0,25R} = 37,83 \text{ mm}$$

$$T_{0,60R} = 12,70 \text{ mm}$$

r/R	(c _r /D)*(z/B)	c _r	a _r /c _r	a _r	b _r /c _r	b _r	Ar	Br	Sr/D	Sr
0,2	1,662	0,9972	0,617	0,6153	0,35	0,349	0,0526	0,004	0,0326	0,1304
0,3	1,882	1,1292	0,613	0,6922	0,35	0,3952	0,0464	0,0035	0,0289	0,1156
0,4	2,05	1,23	0,601	0,7392	0,351	0,4317	0,0402	0,003	0,0252	0,1008
0,5	2,152	1,2912	0,586	0,7566	0,355	0,4584	0,034	0,0025	0,0215	0,086
0,6	2,187	1,3122	0,561	0,7361	0,389	0,5104	0,0278	0,002	0,0178	0,0712
0,7	2,144	1,2864	0,524	0,6741	0,443	0,5699	0,0216	0,0015	0,0141	0,0564
0,8	1,97	1,182	0,463	0,5473	0,479	0,5662	0,0154	0,001	0,0104	0,0416
0,9	1,582	0,9492	0,351	0,3332	0,5	0,4746	0,0092	0,0005	0,0067	0,0268
1	0	0	0	0	0	0	0,003	0	0,003	0,012

Πίνακας 67. Διαστάσεις των πεντάπτερων ελίκων της σειράς Wagenigen - B

Από τον παραπάνω πίνακα, [11] (σ.32) βλέπουμε ότι:

$$Ar = 0,25R = 0,0495$$

$$Ar = 0,6R = 0,0278$$

$$Br = 0,25R = 0,0038$$

$$Br = 0,6R = 0,002$$

Έτσι τα μέγιστα αντίστοιχα πάχη είναι :

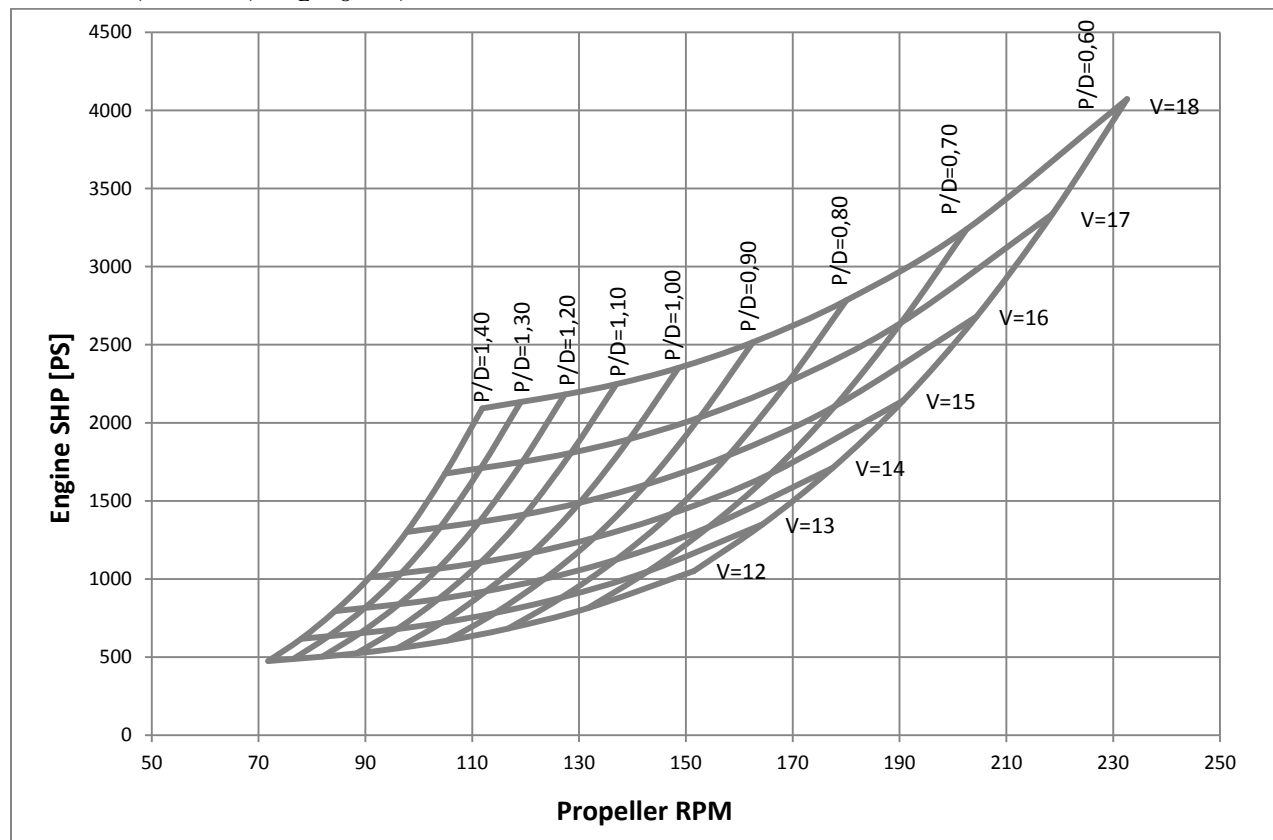
$$S_{r=0,25R} = (A_r - B_r \cdot Z) \cdot D = 123 \text{ mm} > 37,83 \text{ mm} \text{ O.K}$$

$$S_{r=0,6R} = (A_r - B_r \cdot Z) \cdot D = 71,2 \text{ mm} > 12,70 \text{ mm} \text{ O.K}$$

7.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ ΙΣΟΒΗΜΑΤΙΚΩΝ - ΙΣΟΤΑΧΩΝ

Με τη βοήθεια του προγράμματος GRID, θα κατασκευαστεί το πλέγμα ισοβηματικών – ισοταχών για σταθερή διάμετρο $D_{prop} = 4 \text{ m}$. Το πλέγμα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

$$D = 4 \text{ m} , z = 5 , A_E/A_O = 0,75$$



Σχήμα 79. Πλέγμα ισοβηματικών και ισοταχών καμπυλών, όπως προέκυψε από τον κώδικα GRID

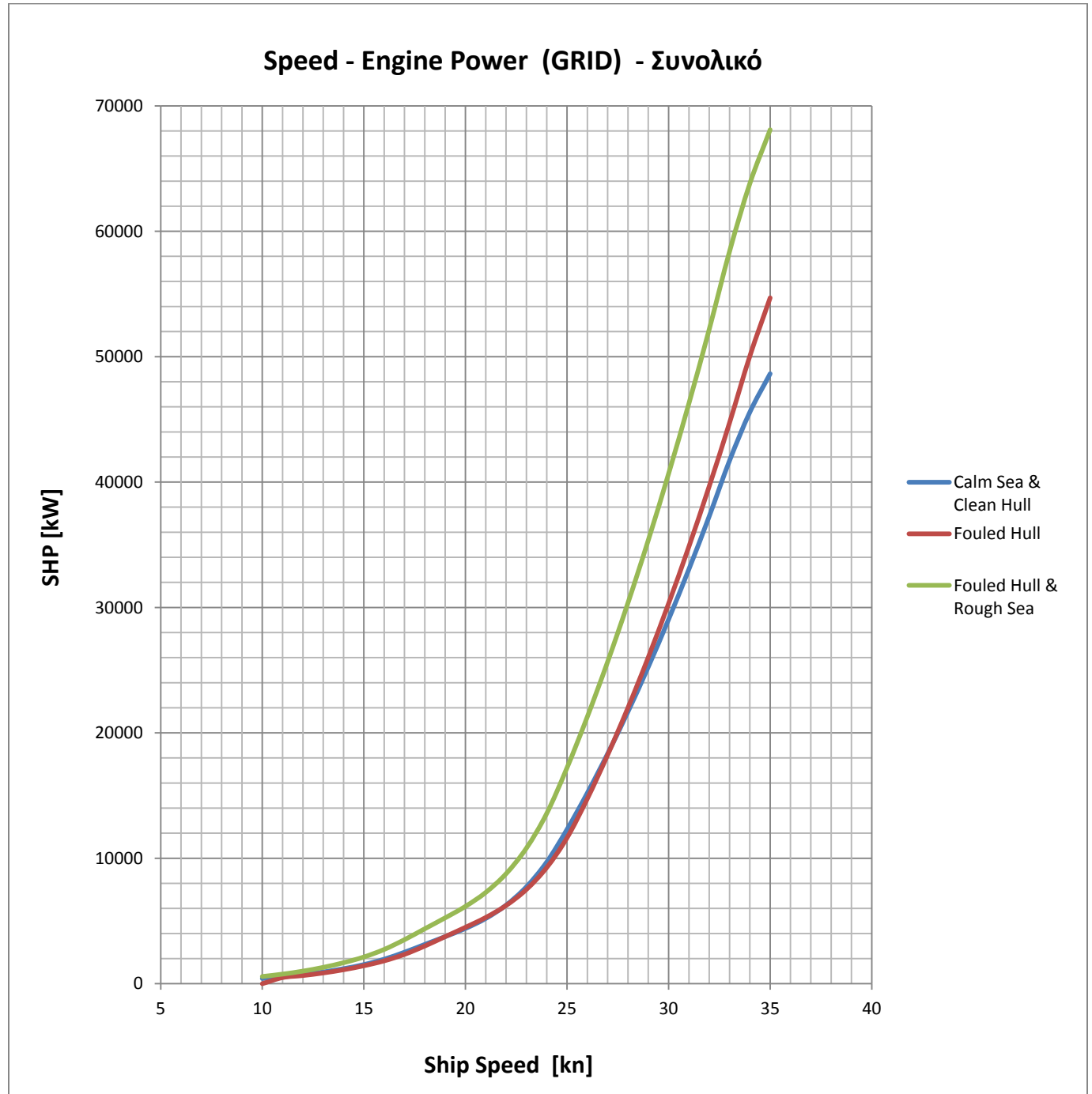
7.9 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΙΚΑΣ – ΜΗΧΑΝΗΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΙΣΧΥΟΣ

Στη συνέχεια ξανατρέχουμε το πρόγραμμα GRID για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ώστε να συμπεριλαμβάνεται και η ταχύτητα των 32 kn και παράγουμε το διάγραμμα Speed – Engine Power (Ship Speed [kn] – SHP [kW]). Η ισχύς περιλαμβάνει τη συνολική απαίτηση και των δύο αξόνων. Προκειμένου να βρούμε για κάθε ταχύτητα την απαιτούμενη ισχύ στον άξονα, για το λόγο P/D που έχουμε υπολογίσει κάνουμε γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις τιμές P/D = 1,3 και P/D = 1,4 στα αποτελέσματα του κώδικα. Έτσι παίρνουμε τον παρακάτω πίνακα με το ακόλουθο διάγραμμα.

P/D= 1,318788		number of propellers = 2						20% FOULED	40% FOULED
rpm	V	T	Q	DHP [kW]	SHP [kW]	P.C	EHP	SHP [kW]	SHP [kW]
62,8673	10	2951,3000	3123,6816	403,2147	407,3058	0,6916	281,6804	488,77	570,23
69,1921	11	3582,2188	3789,4411	538,4163	543,8313	0,6916	376,0973	652,60	761,36
75,6170	12	4318,4000	4557,2399	707,5150	714,5482	0,6916	494,1599	857,46	1000,37
82,1418	13	5184,6000	5449,1225	919,1345	928,4936	0,6926	643,0466	1114,19	1299,89
88,8479	14	6196,4188	6477,6766	1181,3376	1193,1974	0,6934	827,3414	1431,84	1670,48
95,5915	15	7365,6000	7653,4149	1502,5366	1517,7520	0,6944	1053,8995	1821,30	2124,85
102,8163	16	8884,1000	9140,5667	1929,5368	1949,1653	0,6960	1356,6310	2339,00	2728,83
110,3412	17	10758,7000	10944,0882	2479,5767	2504,6202	0,6968	1745,2650	3005,54	3506,47
117,7472	18	12690,8000	12808,3854	3096,2064	3127,5475	0,6966	2178,7445	3753,06	4378,57
124,6721	19	14406,2000	14498,4027	3709,8842	3747,4036	0,6966	2610,5551	4496,88	5246,37
131,3157	20	16070,1000	16156,9871	4356,4661	4400,5497	0,6966	3065,5565	5280,66	6160,77
138,3218	21	18072,1000	18115,9535	5144,5116	5196,5662	0,6964	3619,1094	6235,88	7275,19
145,9466	22	20768,6812	20680,2218	6197,3643	6259,9824	0,6963	4358,5414	7511,98	8763,98
154,4715	23	24446,8000	24091,2230	7639,2227	7716,3761	0,6951	5363,3961	9259,65	10802,93
163,8775	24	29316,3000	28524,0614	9594,9933	9691,9775	0,6927	6713,5450	11630,37	13568,77
174,0836	25	35479,9812	34058,7951	12170,7725	12293,6463	0,6885	8464,2130	14752,38	17211,10
184,1085	26	41912,6000	39825,3714	15049,3570	15201,3565	0,6841	10399,6629	18241,63	21281,90
193,7333	27	48387,9000	45635,6979	18150,3840	18333,7157	0,6799	12465,8159	22000,46	25667,20
203,1394	28	54905,9812	51490,3687	21468,8520	21685,7225	0,6768	14675,8459	26022,87	30360,01
212,2454	29	61466,4000	57392,0461	25004,7059	25257,2940	0,6738	17017,1404	30308,75	35360,21
221,1703	30	68069,3000	63340,2678	28754,0657	29044,4584	0,6708	19481,6149	34853,35	40662,24
229,8763	31	74714,4000	69337,0338	32718,3748	33048,7786	0,6686	22095,2120	39658,53	46268,29
238,4012	32	81401,7000	75381,3003	36894,1028	37266,6966	0,6666	24840,6252	44720,04	52173,38
246,8260	33	88131,0000	81474,9111	41284,1088	41701,0991	0,6656	27754,7356	50041,32	58381,54
254,2509	34	93495,9000	86439,1872	45120,1058	45575,7834	0,6656	30333,5846	54690,94	63806,10
260,6569	35	97168,1812	90000,1841	48155,4433	48641,8095	0,6676	32471,5037	58370,17	68098,53

Πίνακας 68. Αποτελέσματα ισχύος SHP σε ρυπασμένες κατάστασεις, όπως προέκυψε έπειτα από παρεμβολή στα αποτελέσματα του GRID για P/D = 1,319

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων – Holtrop και κώδικας GRID, συγκλίνουν με καλή ακρίβεια, άρα τα διαγράμματα είναι αποδεκτά και κατά το δυνατόν ασφαλέστερα για την εκλογή των μηχανών της προωστήριας εγκατάστασης.

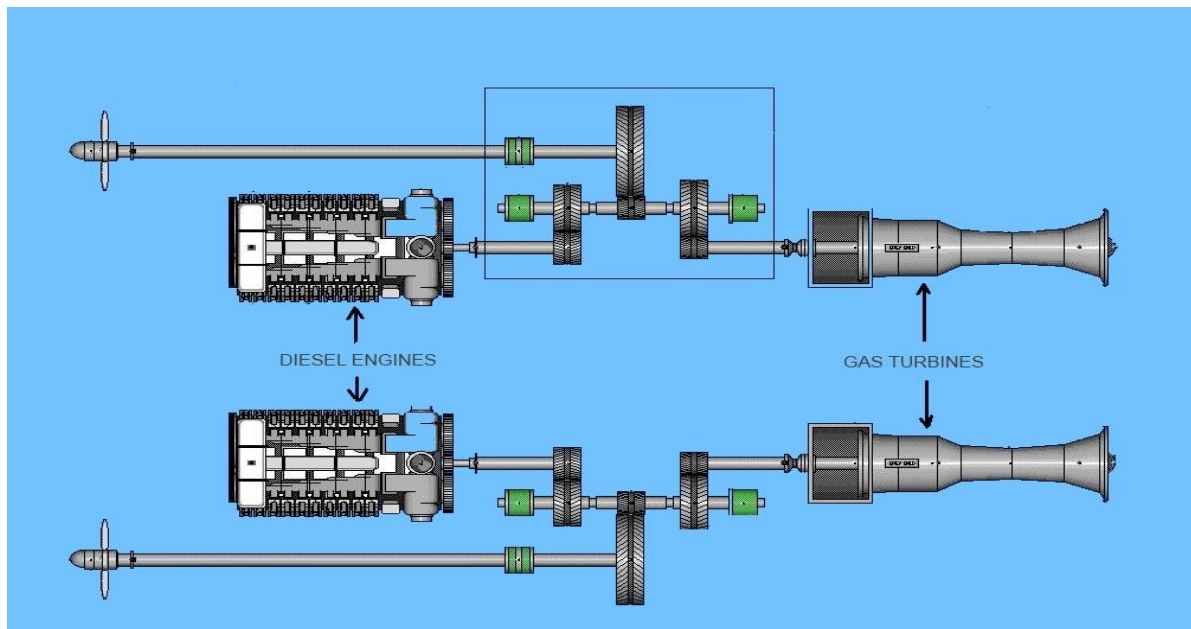


Σχήμα 80. Καμπύλη ταχύτητας – ισχύος SHP (και στους δύο άξονες) για διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης της μηχανής, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του κώδικα GRID

7.10 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΩΣΗΣ

Το σύστημα πρόωσης που θα χρησιμοποιηθεί στο υπό μελέτη πλοίο είναι CODOG (Combined Diesel Or Gas), προκειμένου να επιτύχουμε μεγάλες ταχύτητες, αλλά και αξιοπιστία σε περίπτωση βλάβης του ενός αεροστροβίλου. Πιο αναλυτικά, το συγκεκριμένο σύστημα πρόωσης βασίζεται στη χρήση δύο κύριων μηχανών για την επίτευξη της ταχύτητας πορείας, που για το υπό μελέτη πλοίο είναι 16 kn, και για την επίτευξη της μέγιστης ταχύτητας, που στην περίπτωση μας προσφέρει ευελιξία στις διάφορες ταχύτητες πλεύσης, επιτρέποντας τη χρήση, είτε των δύο κύριων μηχανών (ένας σε κάθε άξονα), είτε των δύο αεροστροβίλων (ένας σε κάθε άξονα), ανάλογα με την περίπτωση. Για τον λόγο αυτό, η προωστήρια εγκατάσταση του υπό μελέτη πλοίου θα αποτελείται από δύο κύριες μηχανές Diesel και δύο αεροστροβίλους.

Τα συστήματα CODOG εγκαταστάθηκαν σε φρεγάτες της κλάσης Type 122 στο τέλος του 1980 και σε πολλές ΜΕΚΟ φρεγάτες, οι οποίες κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του '90. Το σύστημα αποτελείται από δύο αεροστροβίλους στο ένα διαμέρισμα, δύο μικρότερες diesel μηχανές σε διαφορετικό διαμέρισμα και δύο μειωτήρες. Οι μηχανές μεταφέρουν την ισχύ τους σε δύο ανεξάρτητα αξονικά συστήματα που κινούν δύο έλικες μεταβλητού βήματος (Controllable Pitch Propellers). Το σύστημα CODOG επιτυγχάνει ταχύτητες πάνω από 30 κόμβους και είναι εύκολο να λειτουργήσει είτε με 2 αεροστροβίλους είτε με δύο μηχανές diesel σε λειτουργία. Το σύστημα CODOG επιτυγχάνει οικονομία καυσίμου κατά την κίνηση με τις diesel και προσφέρει μεγάλη εφεδρική εξαιτίας των δύο ανεξάρτητων αξονικών συστημάτων. Εξαιτίας της επιλογής μηχανών diesel μικρής ισχύος, αφού δεν χρειάζονται για την λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες, οι αεροστροβίλοι προορίζονται για να λειτουργήσουν σε ένα ευρύτερο φάσμα καταστάσεων, π.χ. σε κακοκαιρία ή κατά τη συνοδεία νηοπομπών.



Σχήμα 81. Διάταξη συστήματος πρόωσης CODOG

7.11 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΙΩΤΗΡΑ

Με τη βοήθεια του προγράμματος GRID, θα υπολογιστούν οι χαρακτηριστικές του συστήματος έλικας – πλοίου SHP – N, για τις παρακάτω τρεις περιπτώσεις. Τα σχήματα που περιγράφουν τις χαρακτηριστικές δίδονται στη συνέχεια : $SHP = C \cdot N^3$

- Καθαρή γάστρα σε ήρεμο νερό
- Ρυπασμένη γάστρα σε ήρεμο νερό (προσαύξηση 20 %)
- Ρυπασμένη γάστρα σε κυματισμούς (προσαύξηση 40 %)

$SHP = C \cdot N^3$ ο νόμος της έλικας

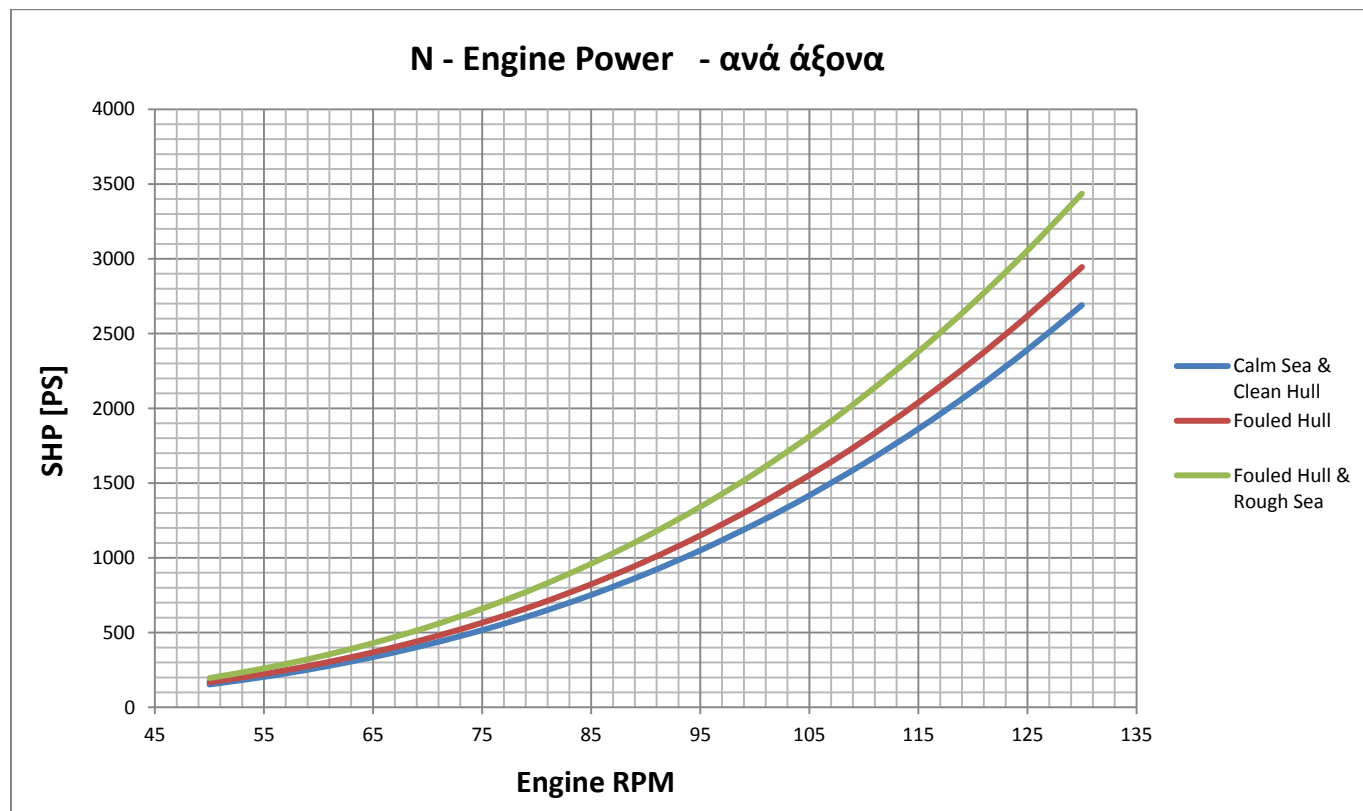
$C_{clean} = 0,001224316$

$C_{fouled} = 0,001340599$

$C_{fouled \& \text{ wave}} = 0,001564032$

CLEAN		20%FOULED		40%FOULED	
ονομαστικά		ονομαστικά		ονομαστικά	
RPM	SHP [PS]	RPM	SHP [PS]	RPM	SHP [PS]
102,8	1330,7	106,0	1596,8	106,0	1863,0
RPM	SHP [PS]	RPM	SHP [PS]	RPM	SHP [PS]
50	153,0396	50	167,5749	50	195,5040
55	203,6957	55	223,0422	55	260,2159
60	264,4524	60	289,5694	60	337,8310
65	336,2279	65	368,1620	65	429,5224
70	419,9406	70	459,8255	70	536,4631
75	516,5085	75	565,5653	75	659,8262
80	626,8500	80	686,3868	80	800,7846
85	751,8834	85	823,2955	85	960,5114
90	892,5267	90	977,2968	90	1140,1796
95	1049,6983	95	1149,3962	95	1340,9623
100	1224,3165	100	1340,5992	100	1564,0324
102,8163	1330,7000	106,0036	1596,8400	106,0036	1862,9800
105	1417,2994	110	1784,3375	110	2081,7271
110	1629,5652	115	2038,8838	115	2378,6977
115	1862,0323	120	2316,5554	120	2702,6479
120	2115,6189	125	2618,3578	125	3054,7507
125	2391,2431	130	2945,2964	130	3436,1791
130	2689,8233				

Πίνακας 69. Ισχύς στον άξονα SHP συναρτήσει των στροφών



Σχήμα 82. Διάγραμμα στροφών – ισχύος SHP ανά άξονα για καθαρή και ρυπασμένες καταστάσεις

Για να επιλέξουμε την ισχύ των μηχανών ανά άξονα και συνολικά, θα επιλέξουμε την προσαυξημένη SHP κατά 20%, ποσοστό το οποίο περικλείει μέσα του το περιθώριο θάλασσας και το περιθώριο μηχανής, για καταστάσεις αυξημένης φόρτισης του προωστήριου συστήματος λόγω ρυπασμένης γάστρας ή θαλασσοταραχής.

		16 kn	30 kn	32 kn	ANA ΑΞΟΝΑ
		D = 4 m	D = 4 m	D = 4 m	
RPM		102,8	221,1	238,4	
SHP [PS]		1330,7	19744,4	25334,0	
SHP [kW]		978,728	14521,991	18633,093	

		Ανά άξονα			Και για τους 2 άξονες	
Προσαύξηση 20%		16 kn	30 kn	32 kn	30 kn	32 kn
	SHP [PS]	1596,84	23693,29	30400,75	47386,59	60801,5
	SHP [kW]	1174,474	17426,39	22359,71	34852,78	44719,4

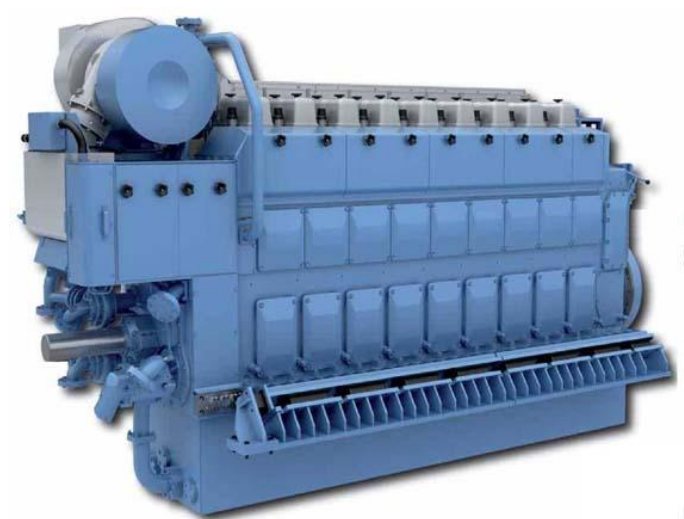
Πίνακας 70. Απαιτήση ισχύος στον/στους άξονα/ες για ρυπασμένη κατάσταση στην ταχύτητα υπηρεσίας και σε δύο ταχύτητες μάχης.

Από τον πίνακα 70, έχουμε τα στοιχεία που θέλουμε για την ταχύτητα υπηρεσίας και την ταχύτητα μάχης, έτσι ώστε να επιλέξουμε μηχανές. Παρατηρούμε ότι για να επιτύχουμε τη μέγιστη ταχύτητα μάχης των 32 kn απαιτείται προσφορά εγκατεστημένης ισχύος 10000 kW επιπλέον! Συνεπώς αντιλαμβανόμαστε, ότι για να επιτύχουμε τους 2 επιπλέον κόμβους «πληρώνουμε» τεράστιο κόστος (σε εγκατεστημένη ισχύ) σε σχέση με το όφελος. Με αυτό το σκεπτικό οδηγηθήκαμε στην επιλογή ενός αεριοτροβίλου, που θα καλύπτει την απαίτηση ισχύος για τους 30 kn.

Μετά από σύντομη έρευνα στο διαδίκτυο και στους καταλόγους κατασκευαστών, επιλέγουμε τις εξής κύριες μηχανές και τους εξής αεριοτροβίλους.

Diesel Engine

Rolls Royce Bergen C25:33L6P με ισχύ 1440 kW (μία σε κάθε άξονα)



Σχήμα 83. Επιλεγθείσα μηχανή Diesel MTU 16V 2000 M94

Principal dimensions:

Cylinder diameter 250 mm. Piston stroke 330 mm.

Engine type	A	B	C	D	Weight dry engine
C25:33L6P	3170	4036	3195	1775	19650 kg

Technical data

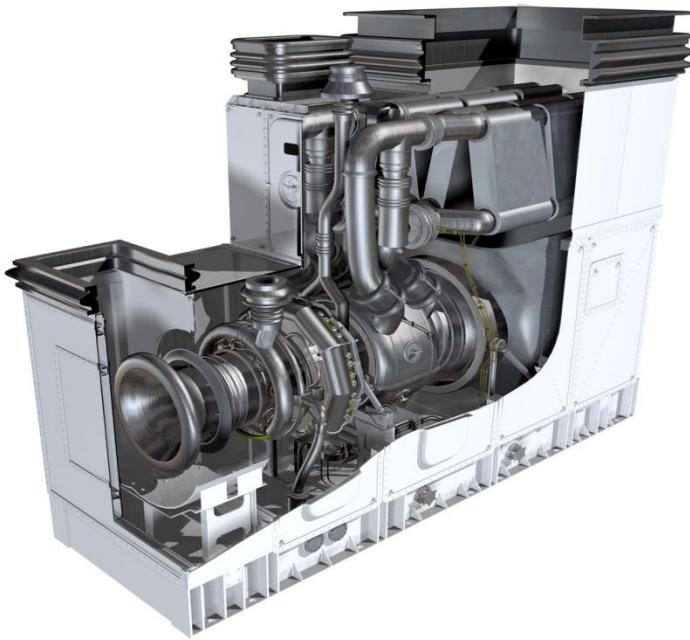
Engine type		C25:33L6P
Number of cylinders		6
Engine speed	r/min	900/1000*
Mean piston speed	m/s	10/11
Max. continuous rating (MCR)	kW	1920/2000
Max. continuous rating (MCR)	BHP (metric)	2610/2720
Mean effective pressure (BMEP)	bar	26.4/24.7
Specific fuel consumption	g/kWh	182/185
Specific lubricating oil consumption	g/kWh	0.7
Cooling water temp. engine outlet	°C	90

Ο μειωτήρας θα έχει λόγο μείωσης ίσο με :

$$i = \frac{900 \text{ rpm}}{106 \text{ rpm}} = 8,5$$

Gas Turbine

Rolls Royce Marine SPEY με ισχύ 19500 kW (ένας σε κάθε άξονα)



Σχήμα 84. Επιλεγείς αεροστρόβιλος Rolls Royce SPEY

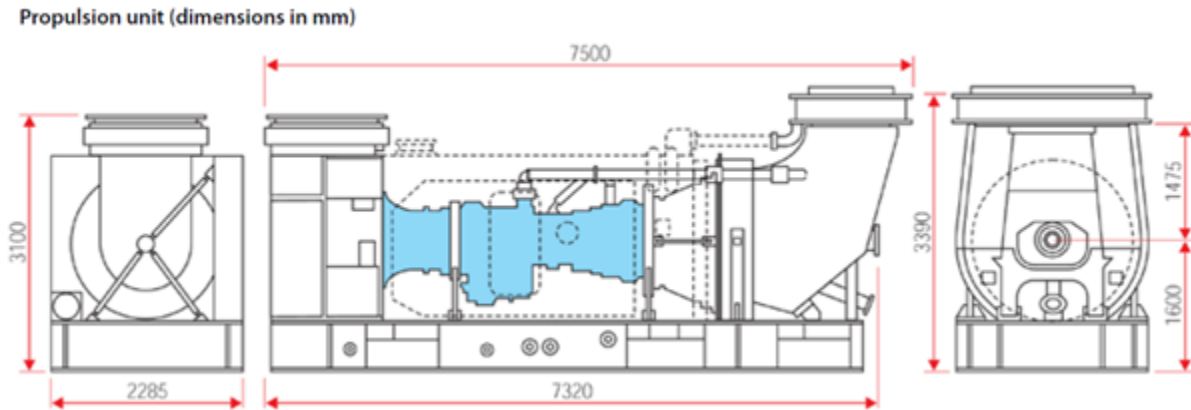
Compressor stages	LP	5
	HP	11
Turbine stages	LP	2
	HP	2
	PT	2
Shaft speed (rpm)	LP	8000
	HP	12070
	PT	5500
Combustion system	Cannular	10 combustors
Number of shafts	2 plus free power turbine	

Performance (ISO conditions, no loss)

Power	(MW)	19.5
	(bhp)	26150
Intake mass flow	(kg/sec)	65.7
Exhaust mass flow	(kg/sec)	66.9
Exhaust temperature	(°C)	490

Propulsion Unit Weight

Packaged Module	(kg)	25,700
GTCU	(kg)	1800 (dry weight)



7.12 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Ο υπολογισμός του ηλεκτρικού φορτίου του πλοίου γίνεται από την επόμενη προσεγγιστική σχέση, που δίνει μία ικανοποιητική εκτίμηση του μέσου ηλεκτρικού φορτίου :

$$P_e = 100 + 0,55 \cdot MCR^{0,7}$$

,όπου:

P_e : ηλεκτρικό φορτίο

MCR : μέγιστη συνεχής ισχύς του κινητήρα που έχουμε επιλέξει.

Οπότε το συνολικό φορτίο θα ισούται με :

$$P_e = 100 + 0,55 \cdot MCR^{0,7} = 100 + 0,55 \cdot 4440^{0,7} = 296,576 \text{ kW}$$

Ενώ, ως ονομαστική ισχύς γεννήτριας για την κάλυψη αυτού του φορτίου, σύμφωνα με το βιβλίο 'Μέθοδος Προμελέτης Ναυτικών Συστημάτων με κινητήρες Diesel', μπορεί να ληφθεί ο πλησιέστερος στρογγυλεμένος αριθμός, ο οποίος είναι κατά 20 - 25% μεγαλύτερος του μέσου προβλεπόμενου φορτίου έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι τυχόν διακυμάνσεις φορτίου και να καθίσταται εφικτή η μελλοντική αύξησή του. Άρα:

$$P_{\text{ονομ.}} = 1,25 \cdot P_e = 370,72 \text{ kW}$$

Οι κανονισμοί των Νηογνομόνων απαιτούν την ύπαρξη τριών ηλεκτρογεννητριών, η κάθε μία από τις οποίες πρέπει να είναι ικανή να καλύψει το συνολικό εν πλω φορτίο του πλοίου. Το ερώτημα που εύλογα τίθεται σε αυτό το σημείο είναι αν για την παραγωγή αυτού του φορτίου θα χρησιμοποιηθεί γεννήτρια εξαρτημένη στον άξονα της κύριας μηχανής ή ανεξάρτητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη. Οι εξαρτημένες γεννήτριες (shaft generators), οι οποίες κινούνται από τον άξονα της κύριας μηχανής, εγκατεστημένες στην κύρια μηχανή, στον μειωτήρα στροφών ή στον άξονα, μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση για μία ή περισσότερες από τις ντιζελογεννήτριες. Όμως, στην περίπτωση μας δεν κρίνεται σκόπιμη η

χρησιμοποίησή τους αφού οδηγεί σε ένα ασύμμετρο και πολύπλοκο πρόβλημα, οπότε καθίσταται καλύτερη η επιλογή τριών νηζελογεννητριών με ίδια ονομαστική ισχύ, η κάθε μία από τις οποίες θα είναι ικανή να καλύψει τις απαιτήσεις ισχύος του πλοίου στην κανονική του λειτουργία, έτσι ώστε να απλοποιηθεί η συντήρηση και να υπάρχει ελαστικότητα στη λειτουργία. Να σημειώσουμε, ότι ο παραπάνω τύπος δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις αυξημένες απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου κατά τη διάρκεια της μάχης. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τον ηλεκτρικό ισολογισμό του πατρικού μας πλοίου, θεωρούμε παρόμοιο φορτίο μάχης ίσο με 1890 kW. Επιλέγοντας έτσι μια ηλεκτρογεννήτρια των 700 kW έκαστη, διαθέτουμε 1890 kW για την κάλυψη αυτού του φορτίου $[(3 \cdot 700 \text{ kW}) \cdot 0,9]$. Με την επιλογή αυτή έχουμε ένα περιθώριο μελλοντικής αύξησης του φορτίου 464 kW ή 39%. Οπότε τελικά επιλέγουμε τρεις όμοιες ηλεκτρογεννήτριες. τύπου 8V 4000 M33F.

Electric generator

8V 4000 M33F με ισχύ 880 kW

Engine model		8V 4000 M33F
Rated power to DIN ISO 3046		ICXN
Rated power max.	kW (bhp)	880 (1180)
Speed max.	rpm	1500
Frequency	hz	50
Exhaust emission		6,13

Engine main data

Bore/Stroke	mm (in)	170/210 (6.7/8.3)
Cylinder displacement	l	4.77
Displacement, total	l (cu in)	38.2 (2331)
Intake air temperature	°C	25
Sea water temperature	°C	25
Site altitude above sea level	m	100
Barometric pressure	mbar	1000
Power reduction at 45/32 °C	%	0

7.13 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ – ΑΚΤΙΝΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το διάγραμμα παρουσιάζει την ακτίνα ενέργειας του πλοίου συναρτήσει της ταχύτητας με χρήση δύο κινητήρων ντίζελ ή δύο αεριοστροβίλων. Σκοπός μας είναι, αφού επιλέξαμε τις μηχανές πρόωσης, να επιβεβαιώσουμε ότι καλύπτεται ικανοποιητικά η αρχική απαίτηση του GEN, που αφορά την ακτίνα ενέργειας, στην οικονομική ταχύτητα.

Για τους υπολογισμούς θα χρειαστούμε :

Βάρος καυσίμων που προορίζονται για τις μηχανές : $W_{FO} = 275 \text{ t}$

Ισχύς MCR : $P_{b_{GAS\ TURB.}} [kW] = 2 \cdot 19500 = 39000 \text{ kW}$

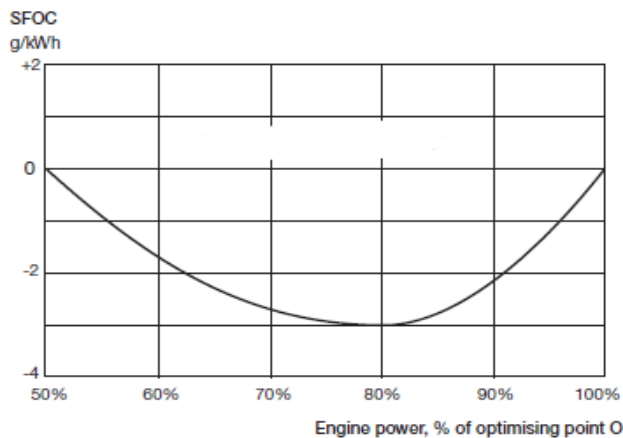
$P_{b_{DIESEL\ ENG.}} [kW] = 2 \cdot 1440 = 2880 \text{ kW}$

Ειδική κατανάλωση καυσίμου b_e : $b_{e_{GAS\ TURB.}} [gr / kWh] = 228$

$b_{e_{DIESEL\ ENG.}} [gr / kWh] = 182$

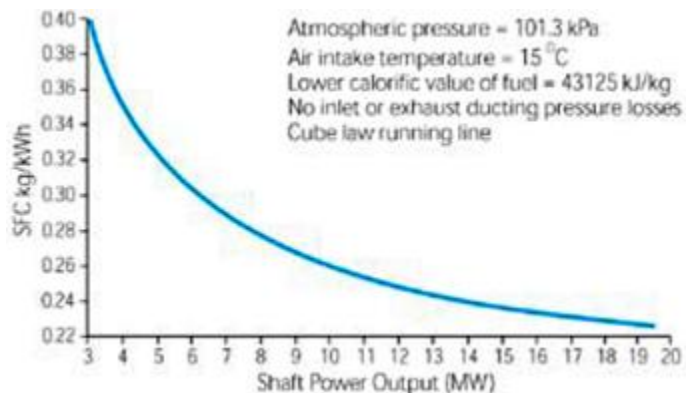
$$S [n.m] = \frac{V [kn] \cdot W_{F.O} [t]}{P_b [kW] \cdot 10^{-6} \cdot SFOC [gr / kWh] \cdot C}$$

Για τις ειδικές καταναλώσεις να σημειώσουμε, ότι δεν εκλήφθηκαν με τις αρχικές τους τιμές καθ' όλο το εύρος των ταχυτήτων, αλλά σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, που δείχνει τη διακύμανσή τους σε σχέση με το %MCR. Παρατηρούμε το γνωστό συμπέρασμα, ότι το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της μηχανής είναι στο 80% MCR, καθώς εκεί έχουμε τη μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 85. Καμπύλη % φόρτισης της μηχανής Diesel συναρτήσει της ειδικής κατανάλωσης

Οι ειδικές καταναλώσεις του αεριοστροβίλου που χρησιμοποιήσαμε στον πίνακα προέκυψαν με τη βοήθεια του επόμενου σχήματος.



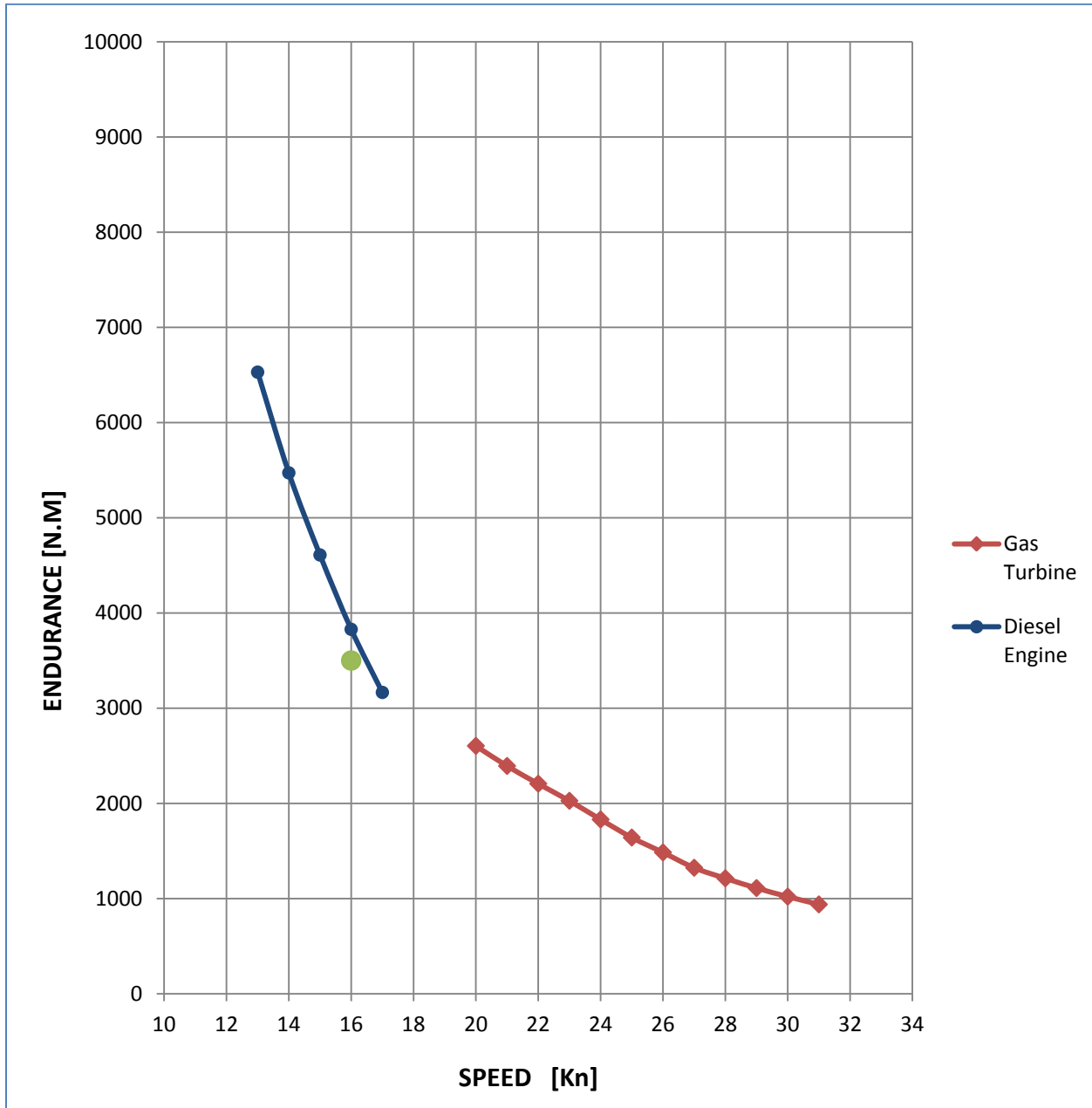
Σχήμα 86. Καμπύλη ισχύος αεριοστροβίλων (μεταξύ άλλων και του LM2500) συναρτήσει της ειδικής κατανάλωσης

Έτσι ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για την περίπτωση των ντίζελ και των αεριοστροβίλων, έχουμε :

	% MCR	SHP [kW]	V [kn]	SFOC [gr/kWh]	S [n.m]
DIESEL	17	488,77	10	240	11449,74
	22,7	652,60	11	230	9432,89
	29,8	857,46	12	220	7831,88
	38,7	1114,19	13	210	6529,51
	49,7	1431,84	14	200	5471,82
	63,2	1821,30	15	190	4609
	81,2	2339,00	16	182	3828,14
	104,4	3005,54	17	186	3165,36
GAS TURBINE	13,5	5280,66	20	400,0	2603,84
	16,0	6235,88	21	390,0	2393,00
	19,3	7511,98	22	362,0	2206,52
	23,7	9259,65	23	334,0	2026,92
	29,8	11630,37	24	310,0	1830,58
	37,8	14752,38	25	284,0	1640,94
	46,8	18241,63	26	264,0	1484,70
	56,4	22000,46	27	255,0	1323,50
	66,7	26022,87	28	244,0	1212,68
	77,7	30308,75	29	237,0	1110,23
	89,4	34853,35	30	232,0	1020,28
	101,7	39658,53	31	229,0	938,69

Πίνακας 71. Σημεία καμπύλης ταχύτητας – ακτίνας ενέργειας και ειδικής κατανάλωσης – % φόρτισης των μηχανών

Το διάγραμμα ταχύτητας – ακτίνας ενέργειας που προκύπτει τελικά για χρήση είτε των μηχανών ντίζελ, είτε των αεριοστροβίλων είναι το ακόλουθο. Η απαίτηση για την ακτίνα ενεργείας στην ταχύτητα υπηρεσίας απεικονίζεται στο σχήμα με την πράσινη κουκκίδα και όπως φαίνεται καλύπτεται πλήρως. Επίσης, κοιτώντας την καμπύλη του αεριοστροβίλου, το συμπέρασμα που εξάγουμε είναι ότι λειτουργώντας στο 100% MCR το πλοίο διανύει μόλις 980 n.m πριν καταναλωθούν όλα τα καύσιμα.



Σχήμα 87. Καμπύλη ταχύτητας - ακτίνας ενέργειας για λειτουργία είτε των ντίζελ, είτε των αεριοστροβίλων

Η ταχύτητα που εκτιμάται ότι επιτυγχάνει, τελικώς, η κορβέτα με χρήση των μηχανών Diesel ή των αεριοστροβίλων για εκτόπισμα πλήρους φόρτου (Full Loads) είναι η εξής :

	<u>Diesel Engine</u>	<u>Gas turbine</u>
80 % MCR :	16	29,2
Full Power :	16,81	30,9

Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Πολίτη, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [2] Α. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου ,Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 1.
- [8] J. Holtrop και G. J. Mennen, «An Approximate Power Prediction Method».
- [9] J. Holtrop, «A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data».
- [10] Α. Δ. Παπανικολάου, Μελέτη Πλοίου ,Μεθοδολογίες Προμελέτης, τόμ. 2.
- [11] Ε. Μ. Πολυτεχνείο, «Φυλλάδιο Νο13. Στοιχεία και Διαγράμματα για την Επιλογή Έλικας».
- [17] Α. Δ. Παπανικολάου και Ε. Κ. Μπουλουγούρης, Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίων Ειδικού Τύπου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [22] Η. Α. Υφαντής, Το Εθνικό Δυναμικό και η Σχεδίαση Νέου Πολεμικού Πλοίου, Αθήνα, 2013.
- [28] Δ. Μήτρου, «Σχεδίαση Ειδικού Τύπου Πλοίου Επιτήρησης Θαλάσσιου Χώρου,» Αθήνα, Φεβρουάριος, 2008.
- [33] Rolls Royce, «Diesel & gas engines».
- [34] Rolls Royce, «Marine engine and propulsion».
- [35] Rolls Royce, «Spey marine gas turbine for naval applications».
- [36] M.M. Bernitsas, D.Rey, P.Kinley, «Wagenigen B series».
- [37] M.Parsons, «Parametric Design».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ

« Από μικρός την αγαπούσα τη θάλασσα. Τα πρώτα βήματα μου να ειπείς, στο νερό τα έκαμα. Το πρώτο μου παιχνίδι ήταν ένα κουτί από λουμίνια μ' ένα ξυλάκι ορθό στη μέση για κατάρτι, με δυο κλωστές για παλαμάκια, ένα φύλλο χαρτί για πανάκι και με την πύρινη φαντασία μου που το έκανε μπάροχο τρικούβερο. Πήγα και το έριξα στη θάλασσα με καρδιοχτύπι. Αν θέλεις, ήμουν και γω εκεί μέσα. Μόλις όμως το απίθωσα, και βούλιαζε στον πάτο. Μα δεν άργησα να κάμω άλλο μεγαλύτερο από σανίδια. Ο ταρσανάς για τούτο ήταν στο λιμανάκι του Αϊ-Νικόλα. Το έριξα στη θάλασσα και τ' ακολούθησα κολυμπώντας ως την εμπατή του λιμανιού που το πήρε το ρέμα μακριά. Αργότερα έγινα πρώτος στο κουπί, στο κολύμπι πρώτος, τα λέπια μου έλειπαν. »

Ανδρέας Καρκαβίτσας,

*«Η θάλασσα»
Λόγια της Πλώρης*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ

Στο σημείο αυτό της εργασίας θα μελετήσουμε τη μέση τομή του πλοίου μας, υπολογίζοντας τα σημεία αντοχής που μας απασχολούν. Συγκεκριμένα θα υπολογίσουμε τα πάχη των ελασμάτων του πυθμένα, του περιβλήματος και του εσωτερικού πυθμένα με βάση τους κανονισμούς που προδιαγράφει ο Γερμανικός Νηογνώμονας για τα πολεμικά πλοία. Το σύστημα ενίσχυσης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι διάμηκες.

8.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα, [12] για τα πολεμικά πλοία πρέπει να ισχύει το παρακάτω κριτήριο :

$$\frac{M_p}{\gamma_m} \geq M_T \quad , \quad [12] \text{ (Section4, A.1)}$$

,όπου :

M_p : είναι η καμπτική ροπή των πρωτευόντων στοιχείων της μέσης τομής

M_T : είναι η καμπτική ροπή λόγω του φορτίου που ασκείται στην περιοχή της μέσης τομής [kN/m]

γ_m : είναι συντελεστής ασφαλείας αντοχής, ο οποίος δίνεται από τον παρακάτω πίνακα :

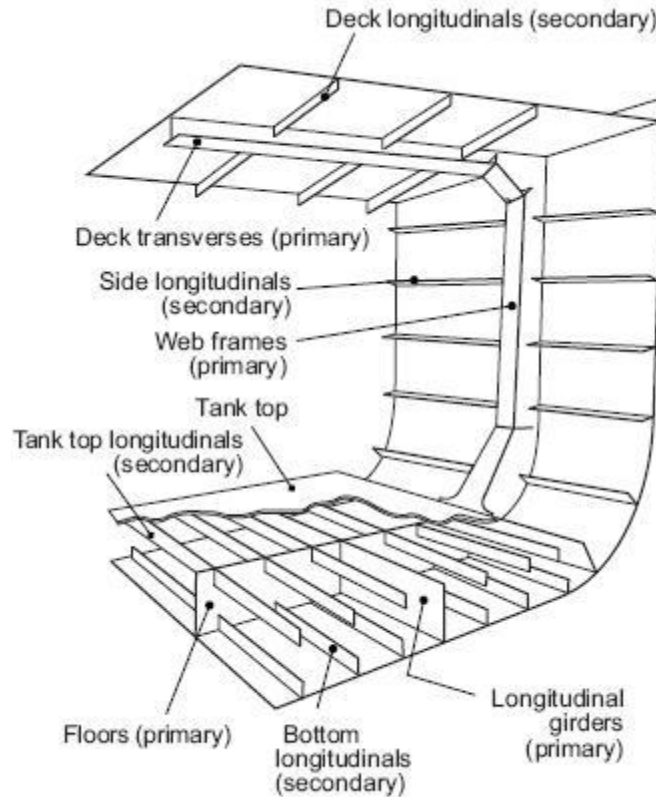
	LCA	LCB	LCC	LCD
γ_m	1.1	1.1	1.0	1.1

Πίνακας 72. Συντελεστές ασφαλείας αντοχής

Για το υπό μελέτη πλοίο θα εξετάσουμε την αντοχή της μέσης τομής στην πιο δυσμενή κατάσταση φόρτωσης δηλαδή θα λάβουμε υπόψη τους συντελεστές για την περίπτωση LCA.

LCA : μόνιμα στατικά και επαναλαμβανόμενα φορτία επιδρούν στην άθικτη κατασκευή, υπό κανονικές συνθήκες επιχείρησης.

Στο παρακάτω σχήμα ορίζονται τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία της μέσης τομής, για διάμηκες σύστημα ενίσχυσης:



Σχήμα 88. Διάμηκες σύστημα ενίσχυσης, πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία μέσης τομής

8.1.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

Για την άθικτη κατάσταση στην διαμήκη θέση x του μήκους του πλοίου, η ολική καμπτική ροπή του πλοίου M_T σε κατάσταση Hogging και Sagging, ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_T = M_{SW} \cdot \gamma_{fstat} + M_{WV} \cdot \gamma_{fdyn}$$

,όπου :

M_{SW} : καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό

M_{WV} : καμπτική ροπή σε κυματισμό

γ_{fstat} : συντελεστής ασφαλείας για τμήματα που υπόκεινται σε στατικό φορτίο

γ_{fdyn} : συντελεστής ασφαλείας για τμήματα που υπόκεινται σε δυναμικό φορτίο

Κατάσταση φόρτωσης	LCA	LCB	LCC	LCD
--------------------	-----	-----	-----	-----

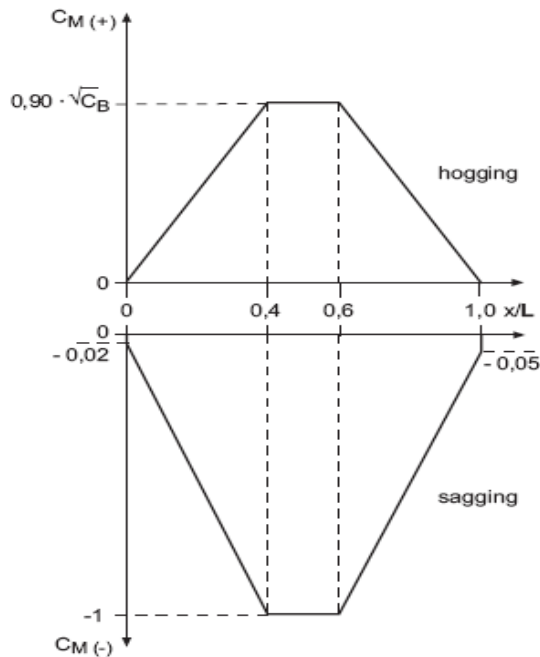
$\gamma_{stat.}$	1.25	1.05	1.0	1.0
$\gamma_{dyn.}$	1.25	1.05	1.0	1.0

Πίνακας 73. Συντελεστές ασφαλείας για στατική και δυναμική φόρτιση

Η καμπτική ροπή σε κυματισμό υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$M_{WV} = 0,24 \cdot L^2 \cdot B \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_V \cdot c_M$$

Ο παράγοντας c_M δίνεται από το παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 89. Κατανομή παράγοντα c_M

$c_M = -1$, για sagging condition

$c_M = 0,9 \cdot \sqrt{C_B} = 0,9 \cdot \sqrt{0,4716} = 0,61806$, για hogging condition

$$c_V = \sqrt[3]{\frac{V_0}{1,6 \cdot \sqrt{L}}} = \sqrt[3]{\frac{32}{1,6 \cdot \sqrt{100}}} = 1,5874$$

$$c_0 = \left[10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} \right] \cdot c_{RW} , \text{ για } 90 \leq L \leq 300 \text{ m}$$

$c_{RW} = 1$ for unlimited service range

Άρα :

$$c_0 = \left[10,75 - \left(\frac{300-100}{100} \right)^{1,5} \right] \cdot 1 = 7,92157$$

Έτσι με βάση τις προηγούμενες σχέσεις βρίσκουμε ότι για hogging και sagging condition έχουμε αντίστοιχα τις εξής καμπτικές ροπές :

$$M_{WV \text{ HOG}} = 0,24 \cdot L^2 \cdot B \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_V \cdot c_M = 0,24 \cdot 100^2 \cdot 14,2 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,587 \cdot 0,61806 = 181892,16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{WV \text{ SAG}} = 0,24 \cdot L^2 \cdot B \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_V \cdot c_M = 0,24 \cdot 100^2 \cdot 14,2 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot (-1) = -294296 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

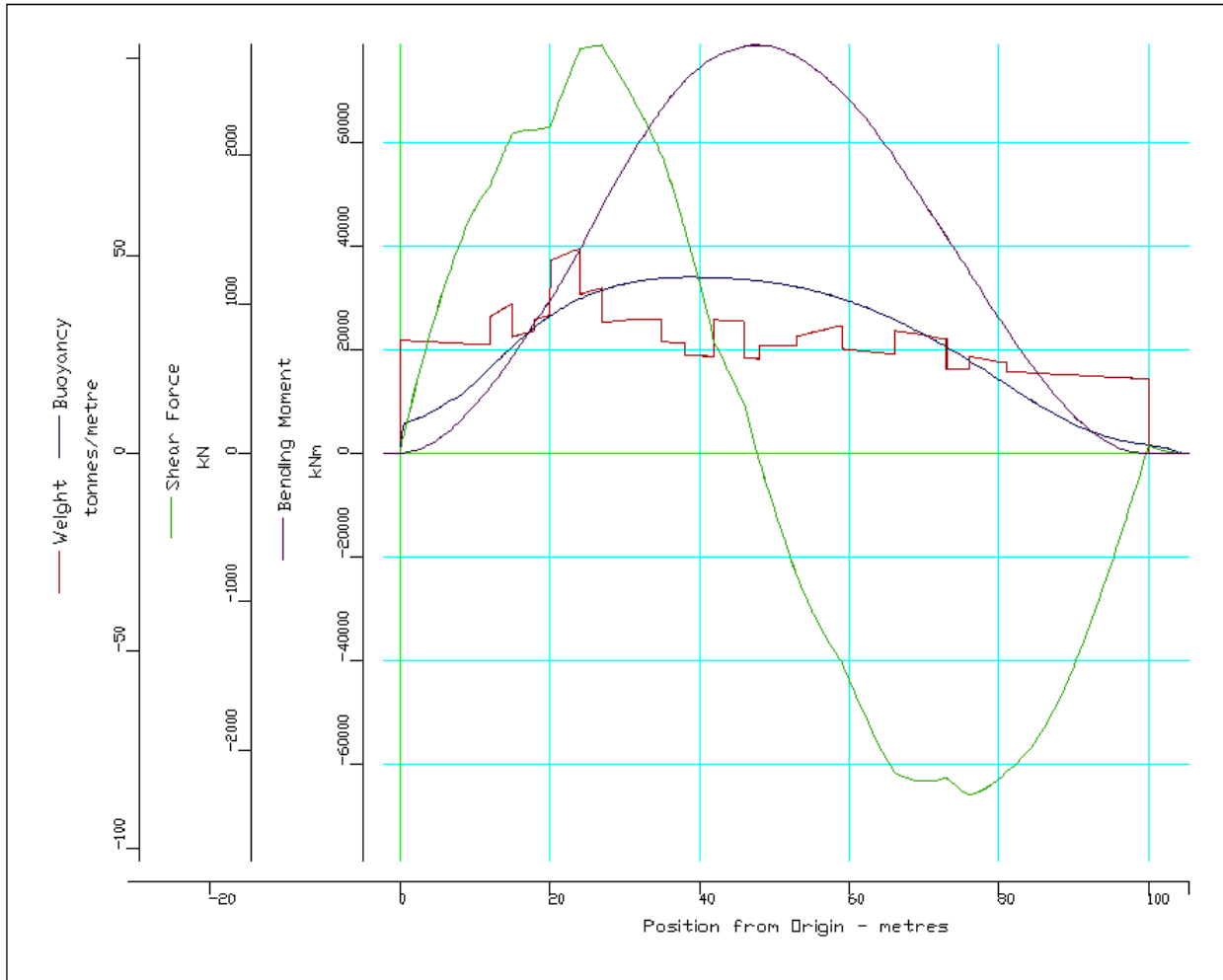
Η καμπτική ροπή σε ήρεμο νερό προκύπτει από το πρόγραμμα AVEVA και είναι :

$$M_{SW} = 79043,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

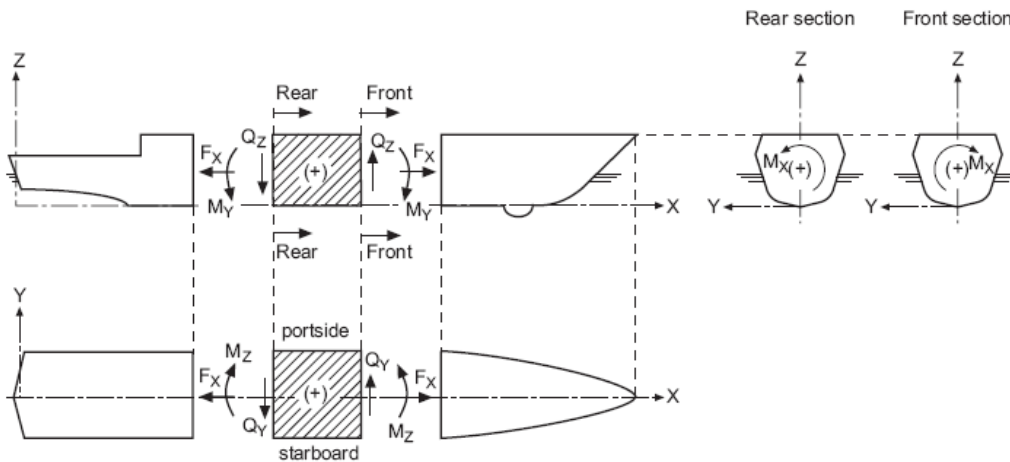
Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας και διάγραμμα της διατμητικής δύναμης και της καμπτικής ροπής σε ήρεμο νερό :

Shearing Force and Bending Moments

Distance from Origin (m)	Shearing Force (kN)	Bending Moment (kNm)
17.20	2175.5	23340.5
27.00	2750.3	47505.9
47.73	0.0	79039.5
70.32	-2212.3	47951.9
76.00	-2305.4	35271.5
99.70	0.0	-78.7
100.00	49.6	-76.1
104.27	0.0	0.0
104.82	0.0	0.0
<i>Maximum BM</i>		
48.00		79043.3
<i>Maximum SF</i>		
27.00	2750.3	



Σχήμα 90. Διάγραμμα καμπτικών ροπών, τεμνουσών δυνάμεων σε ήρεμο νερό



Σχήμα 91. Σύμβαση συμβόλων

Συνεπώς η συνολική καμπτική ροπή που ασκείται στο πλοίο είναι για τις καταστάσεις Sagging και Hogging αντίστοιχα :

Hogging Condition

$$M_{T \text{ Hogging}} = M_{SW} \cdot \gamma_{fstat} + M_{WV} \cdot \gamma_{fdyn} = 79043,3 \cdot 1,25 + 181892,1589 \cdot 1,25 = 326169,3236 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Sagging Condition

$$M_{T \text{ Sagging}} = M_{SW} \cdot \gamma_{fstat} + M_{WV} \cdot \gamma_{fdyn} = 79043,3 \cdot 1,25 + 181892,1589 \cdot 1,25 = -269066,0534 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ [kNm]	
STILL WATER	79043,3
HOGGING	326169,3236
SAGGING	-269066,0534

Τα κατασκευαστικά στοιχεία που θα λάβουν μέρος στον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της μέσης τομής του πλοίου είναι τα εξής :

- Ελάσματα κύριου και ενδιάμεσων καταστρωμάτων.
- Ελάσματα περιβλήματος , πυθμένα και εσωτερικού πυθμένα.
- Διαμήκη ενισχυτικά καταστρωμάτων , πλευρών , πυθμένα και εσωτερικών πλευρών και πυθμένα.
- Κεντρικές και πλευρικές σταθμίδες πυθμένα.

8.1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις διαστάσεις όλων των στοιχείων που αποτελούν τη μέση τομή του σκάφους μας , με βάση πάντα τους κανονισμούς του Γερμανικού Νηογνώμονα για πολεμικά πλοία.

Πάχος Ελασμάτων

Το ελάχιστο πάχος για τα ελάσματα που αποτελούν την μέση τομή του πλοίου υπολογίζονται ως εξής :

$$t \text{ [mm]} = t' + t_k \quad , \quad [12] \text{ (Section 4, B.1)}$$

t_k : προσαύξηση του πάχους ελάσματος λόγω διάβρωσης, εξαρτάται από τη θέση του ελάσματος. Οι τιμές του παρουσιάζονται παρακάτω :

$t_k = 0,5$ mm in general
 = 0,7 mm for lubrication oil, gas oil or equivalent tanks
 = 1,0 mm for water ballast, sewage tanks, sea chests
 = 2,0 mm for chain locker

$$t': \text{απαιτούμενο πάχος} \quad t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{P \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r, \quad [12] \text{ (Section 4, B.4)}$$

a : πλάτος της μικρότερης πλευράς του ελάσματος

p : αντίστοιχη συνολική πλευρική πίεση σχεδίασης $[kN/m^2]$

$$P = \gamma_{fstat} \cdot P_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot P_{dyn}$$

p_{stat} : στατική πλευρική πίεση $[kN/m^2]$, [12] (Section 5, C.1)

$$p_{stat} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z), \text{ για } z < T \\ = 0, \text{ για } z \geq T$$

p_{dyn} : δυναμική πλευρική πίεση $[kN/m^2]$, [12] (Section 5, C.1)

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T} \right)^{0,75} \right], \text{ για } z < T$$

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{z-T}{c_0}} \right] \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \text{ για } z \geq T$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q$$

f_Q : συντελεστής πιθανότητας

$$f_Q = 1, \text{ γενικά}$$

$$c_F = 1, \text{ για } 0,25 \leq x/L \leq 0,7$$

$$n_1 = n_2 = n_3 = 1 \text{ (παίρνουμε τη μέγιστη τιμή που μπορεί να έχουν)}$$

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}}, \text{ για ισοτροπικά ελάσματα}$$

σ_{perm} : επιτρεπτή τάση $[N/mm^2]$, [12] (Section 4, B.3)

$$\sigma_{perm} = 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right], \text{ για ελάσματα διαμήκους ενίσχυσης}$$

(μεγαλύτερη πλευρά ελάσματος παράλληλη στη διαμήκη κατεύθυνση του πλοίου)

$$\sigma_{perm} = 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,89 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right) \right], \text{ για ελάσματα εγκάρσιας ενίσχυσης}$$

(μεγαλύτερη πλευρά ελάσματος κάθετη στη διαμήκη κατεύθυνση του πλοίου)

c_a : συντελεστής που σχετίζεται με τον λόγο επιμήκους (aspect ratio) του ελάσματος

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}}$$

α : λόγος επιμήκους (aspect ratio) του ελάσματος

$\alpha = \frac{a}{b} \leq 1$, a : μικρότερη πλευρά του ελάσματος [m], b : μεγαλύτερη πλευρά του ελάσματος [m]

$c_r = 1$, για επίπεδα ελάσματα

Material	Material Number ¹	E [MPa]	R _{eH} or R _{p0.2} [MPa]	R _m [MPa]
Normal strength hull structural steel				
GL-A GL-B GL-D GL-E	1.0440 1.0442 1.0474 1.0476	2,06 x 10 ⁵	235	400 - 520
Higher strength hull structural steel				
GL-A 32 GL-D 32 GL-E 32	1.0513 1.0514 1.0515	2,06 x 10 ⁵	315	440
GL-A 36 GL-D 36 GL-E 36	1.0583 1.0584 1.0589	2,06 x 10 ⁵	355	490
GL-A 40 GL-D 40 GL-E 40	1.0532 1.0534 1.0560	2,06 x 10 ⁵	390	510
Liquid quenched and tempered structural steel				
GL-M550 GL-M700	1.6780 1.6782	2,00 x 10 ⁵	550 685	650 760
Austenitic steel				
X2CrNiMnMoN Nb21-16-5-3 X2CrNiMnMoN Nb23-17-6-3	1.3964 1.3974	1,95 x 10 ⁵	430 510	700 800

¹ defined in Key of Steels, Verlag Stahlstschlüssel Wegst GmbH, D-71672 Marbach/Neckar

Πίνακας 74. Ιδιότητες αντοχής χάλυβα

➤ **Πάχος ελάσματος πυθμένα (Bottom Plating)**

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος του πυθμένα υπολογίζεται με βάση τις προαναφερθείσες σχέσεις. Έτσι έχουμε :

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα ελάσματα του πυθμένα ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,34 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,34 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 111,06667$$

$$\tau_L = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{0}{355} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{111,06667}{355} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{111,06667}{355} \right] = 379,6512 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{stat} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 0) = 57,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T} \right)^{0,75} \right] = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[1 + \left(\frac{0}{4,1} \right)^{0,75} \right] = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{fstat} \cdot p_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{dyn} = 1,25 \cdot 57,4 + 1,25 \cdot 43,17722 = 125,7215 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{125,7215 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 379,6512}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 5,99 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 5,99 + 0,5 = 6,49 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάματος τρόπιδας (Flat keel)

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος της τρόπιδας δεν πρέπει να είναι μικρότερο από :

$$t = t_B + 1,5$$

,όπου t_B είναι το ελάχιστο πάχος του ελάσματος του πυθμένα. Έτσι έχουμε :

$$t = t_B + 1,5 = 6,49 + 1,5 = 7,99 \text{ mm}$$

,από πίνακα 4.3 Chapter 1 page 4 - 4 Section 4 έχουμε και την εξής σχέση :

$$t = 14 \cdot \sqrt{\frac{L}{R_{eH}}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{100}{355}} = 7,43 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάματος εσωτερικού πυθμένα (Inner Bottom Plating)

Το ελάχιστο πάχος του ελάσματος του πυθμένα υπολογίζεται με βάση τις προαναφερθείσες σχέσεις. Έτσι έχουμε :

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα ελάσματα του πυθμένα ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,34 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,34 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 111,06667$$

$$\tau_L = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{0}{355} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{111,06667}{355} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{111,06667}{355} \right] = 379,6512 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{stat} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 1,5) = 42,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T} \right)^{0,75} \right] = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[1 + \left(\frac{1,5}{4,1} \right)^{0,75} \right] = 63,4884 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{fstat} \cdot p_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{dyn} = 1,25 \cdot 42,4 + 1,25 \cdot 63,4884 = 132,3605 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{132,3605 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 379,6512}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 6,142 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 6,142 + 0,5 = 6,642 \text{ mm}$$

➤ Πάχος πλευρικού ελάματος (Shell Plating)

Το πλευρικό έλασμα χωρίζεται σε δύο τμήματα, ένα για $z \leq T$ και ένα για $z \geq T$. Το ελάχιστο πάχος του πλευρικού ελάματος του πρώτου τμήματος υπολογίζεται με βάση τις προαναφερόμενες σχέσεις. Έτσι :

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα πλευρικά ελάσματα ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,25 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,25 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 81,667$$

$$\tau_L = 0,15 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,15 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 49$$

$$\sigma_{perm} = 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] =$$

$$= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{49}{355}\right)^2} - 0,786 \cdot \left(\frac{81,667}{355}\right)^2 - 0,062 \cdot \frac{81,667}{355} \right] = 376,131 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{\text{stat}} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 2,05) = 36,9 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{dyn}} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T}\right)^{0,75} \right] = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[1 + \left(\frac{2,05}{4,1}\right)^{0,75} \right] = 68,8505 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{\text{fstat}} \cdot p_{\text{stat}} + \gamma_{\text{fdyn}} \cdot p_{\text{dyn}} = 1,25 \cdot 36,9 + 1,25 \cdot 68,8505 = 132,188 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{\text{perm}}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{132,188 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 376,131}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 3,997 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 3,997 + 0,5 = 4,497 \text{ mm}$$

Το ελάχιστο πάχος του πλευρικού ελάσματος του δεύτερου τμήματος υπολογίζεται με βάση τις προαναφερόμενες σχέσεις. Έτσι έχουμε :

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα πλευρικά ελάσματα ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,25 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,25 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 81,667$$

$$\tau_L = 0,15 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,15 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 49$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{perm}} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}}\right)^2} - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}}\right)^2 - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{49}{355}\right)^2} - 0,786 \cdot \left(\frac{81,667}{355}\right)^2 - 0,062 \cdot \frac{81,667}{355} \right] = 376,131 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{\text{stat}} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 6) = -2,6 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{dyn}} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{z - T}{c_0}} \right] \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{6 - 4,1}{7,9216}} \right] \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 71,737 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{fstat} \cdot p_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{dyn} = 1,25 \cdot (-2,6) + 1,25 \cdot 71,737 = 86,421 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{86,421 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 376,131}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 4,986 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 4,986 + 0,5 = 5,486 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάματος κύριου καταστρώματος (Strength Deck Plating)

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα ελάσματα καταστρώματος ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,46 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,46 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 150,267$$

$$\tau_L = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{0}{355} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{150,267}{355} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{150,267}{355} \right] = 364,489 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{stat} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 7,9) = -21,6 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{z - T}{c_0}} \right] \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{7,9 - 4,1}{7,9216}} \right] \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 61,8588 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{fstat} \cdot p_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{dyn} = 1,25 \cdot (-21,6) + 1,25 \cdot 61,8588 = 50,3235 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{50,3235 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 364,489}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 3,865 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 3,865 + 0,5 = 4,365 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάματος δεύτερου καταστρώματος (2nd Deck Plating)

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα ελάσματα καταστρώματος ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,46 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,46 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 150,267$$

$$\tau_L = 0$$

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{0}{355} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{150,267}{355} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{150,267}{355} \right] = 364,489 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{stat} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 5,5) = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{dyn} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{z - T}{c_0}} \right] \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[0,25 + \frac{1,75}{1 + \frac{5,5 - 4,1}{7,9216}} \right] \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 75 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{fstat} \cdot p_{stat} + \gamma_{fdyn} \cdot p_{dyn} = 1,25 \cdot (2,4) + 1,25 \cdot 75 = 96,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{perm}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{96,75 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 364,489}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 5,359 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 5,359 + 0,5 = 5,859 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάματος τρίτου καταστρώματος (Hold Deck Plating)

$$f_{pL} = \frac{R_m}{1,5 \cdot R_{eH}} = \frac{490}{1,5 \cdot 355} = 0,920188$$

Σε πρώτη προσέγγιση για τα ελάσματα καταστρώματος ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sigma_L = 0,46 \cdot R_{eH} \cdot f_{pL} = 0,46 \cdot 355 \cdot 0,920188 = 150,267$$

$$\tau_L = 0$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{perm}} &= 1,125 \cdot R_{eH} \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{\tau_L}{R_{eH}} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{\sigma_L}{R_{eH}} \right] = \\ &= 1,125 \cdot 355 \cdot \left[\sqrt{1,0 - 3 \cdot \left(\frac{0}{355} \right)^2 - 0,786 \cdot \left(\frac{150,267}{355} \right)^2} - 0,062 \cdot \frac{150,267}{355} \right] = 364,489 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$p_{\text{stat}} = 10 \cdot (1,4 \cdot T - z) = 10 \cdot (1,4 \cdot 4,1 - 3,1) = 26,4 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0 = 5 \cdot \sqrt{C_B} \cdot c_0 \cdot c_v \cdot f_Q = 5 \cdot \sqrt{0,4716} \cdot 7,9216 \cdot 1,5874 \cdot 1 = 43,17722 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{\text{dyn}} = p_0 \cdot c_F \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{T} \right)^{0,75} \right] = 43,17722 \cdot 1 \cdot \left[1 + \left(\frac{3,1}{4,1} \right)^{0,75} \right] = 78,187 \text{ kN/m}^2$$

$$p = \gamma_{\text{fstat}} \cdot p_{\text{stat}} + \gamma_{\text{fdyn}} \cdot p_{\text{dyn}} = 1,25 \cdot (26,4) + 1,25 \cdot 78,187 = 130,7337 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 0,5$$

$$c_a = \frac{\sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3 + 0,5^2} - 0,5}{\sqrt{3}} = 0,75216$$

$$t' = 15,81 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \gamma_m}{f_{pL} \cdot \sigma_{\text{perm}}}} \cdot c_a \cdot c_r = 15,81 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{130,7337 \cdot 1,1}{0,920188 \cdot 364,489}} \cdot 0,75216 \cdot 1 = 6,229 \text{ mm}$$

Άρα :

$$t = t' + t_k = 6,229 + 0,5 = 6,729 \text{ mm}$$

➤ Πάχος ελάσματος ζωστήρα (Sheerstrake)

Το πλάτος του ελάσματος του ζωστήρα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από , [12] (Section 7, A.2) :

$$b = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 100 = 1800 \text{ mm}$$

$$b_{\text{max}} = 1800 \text{ mm}$$

Το πάχος του ελάσματος του ζωστήρα σε γενικές γραμμές δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τις επόμενες δύο τιμές :

$$t = 0,5 \cdot (t_D + t_S)$$

t_D : ελάχιστο πάχος του ελάσματος του κυρίου καταστρώματος

t_D : ελάχιστο πάχος του πλευρικού ελάσματος

$$\text{,άρα : } t = 0,5 \cdot (t_D + t_S) = 0,5 \cdot (4,365 + 4,497) = 4,431 \text{ mm}$$

➤ Stringer Plating

Εάν το πάχος του ελάσματος του κυρίου καταστρώματος είναι μικρότερο από εκείνο του πλευρικού ελάσματος πρέπει να τοποθετηθεί ένα Stringer plate το οποίο θα έχει το πλάτος του ελάσματος του ζωστήρα και πάχος αυτό του πλευρικού ελάσματος.

8.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ

Η συνολική καμπτική ροπή των πρωτευόντων στοιχείων της μέσης τομής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$M_p = \frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^n A_{ei} \cdot R_{eHi} \cdot e_{pi}$$

,όπου :

n είναι ο αριθμός των κατασκευαστικών στοιχείων

A_{ei} είναι η επιφάνεια σε $[mm^2]$ του εκάστοτε κατασκευαστικού στοιχείου i

e_{pi} είναι η απόσταση σε $[mm]$ του κέντρου της επιφανείας A_{ei} από τον ουδέτερο άξονα

Στους παρακάτω πίνακες γίνεται ο υπολογισμός της καμπτικής ροπής και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των κατασκευαστικών στοιχείων, που συμβάλλουν στην διαμήκη αντοχή του πλοίου.

Επίσης :

b είναι το πλάτος και t το πάχος του κάθε κατασκευαστικού στοιχείου

h είναι η απόσταση σε $[mm]$ του κέντρου της επιφανείας A_{ei} από την baseline

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ								
ΣΤΟΙΧΕΙΟ	No	b [mm]	t [mm]	Area [mm ²]	h [mm] distance from BL	A*h [mm ³]	A*h ² [mm ⁴]	I = b*t ³ /12 , I = t*b ³ /12 [mm ⁴]
ΕΛΑΣΜΑΤΑ								
Έλασμα τρόπιδας	1	3270,2	14	45782,8	11,000	503610,8	5539718,8	747785,7
Ελάσματα πυθμένα	2	3520	12	84480	750,000	63360000,0	47520000000,0	1013760,0
Πλευρικά ελάσματα z < T	2	3400	8	54400	2800,000	152320000,0	426496000000,0	52405333333,3
Πλευρικά ελάσματα z > T	2	1424,9	8	22798,4	6000,000	136790400,0	820742400000,0	3857375307,0
Ελάσματα δεύτερου καταστρώματος	2	5000	10	100000	5500,000	550000000,0	3025000000000,0	833333,3
Ελάσματα ζωστήρα	2	3834	10	76680	6000,000	460080000,0	2760480000000,0	93930162840,0
Εσωτερικό πλευρικό έλασμα	2	2400	8	38400	6700	257280000,0	1723776000000,0	18432000000,0
Έλασμα κυρίου καταστρώματος	2	2717	10	54340	7900,000	429286000,0	3391359400000,0	452833,3
Stringer Plating	2	2500	10	50000	7900,000	395000000,0	3120500000000,0	416666,7
SUM				526881,2		2444620010,8	15315879339718,8	168628335859,4

Πίνακας 75. Υπολογισμός ροπής αντίστασης ελασμάτων μέσης τομής

ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ								
ΣΤΟΙΧΕΙΟ	No	A (mm ²)	A total (mm ²)	h(mm)	A*h (mm ³)	Ah ² (mm ⁴)	I(mm ⁴)	I total(mm ⁴)
Ενισχυτικά Πυθμένα								
ενισχυτικό	1	2240	2240	41,700	93408	3895113,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	83,4	186816	15580454,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	124,9	279776	34944022,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	171,9	385056	66191126,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	226,5	507360	114917040,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	288,6	646464	186569510,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	351,9	788256	277387286,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	424,6	951104	403838758,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	505,4	1132096	572161318,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	592,3	1326752	785835209,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	687	1538880	1057210560	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	790	1769600	1397984000	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	902,5	2021600	1824494000	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	1027	2300480	2362592960	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	1154,9	2586976	2987698582	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	1297,1	2905504	3768729238	24950000	24950000
Ενισχυτικά πλευρικού ελάσματος (κάτω)								
ενισχυτικό	1	2240	2240	1465,3	3282272	4809513162,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	1637,4	3667776	6005616422,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	1836,5	4113760	7554920240,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	2028,6	4544064	9218088230,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	2234,7	5005728	11186300361,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	2433,5	5451040	13265105840,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	2672,2	5985728	15995062361,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	2911,8	6522432	18992017497,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	3161,2	7081088	22384735385,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	3413,5	7646240	26100440240,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	3678,5	8239840	30310251440,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	3949,4	8846656	34938983206,4	24950000	24950000
Ενισχυτικά πλευρικού ελάσματος (άνω)								
ενισχυτικό	1	2240	2240	4237,000	9490880	40212858560,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	4533,1	10154144	46029750166,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	4833	10825920	52321671360,0	24950000	24950000

ενισχυτικό	1	2240	2240	5127,9	11486496	58901602838,4	24950000	24950000
Ενισχυτικά δεύτερου καταστρώματος								
ενισχυτικό	16	1520	24320	5500,000	133760000	735680000000,0	10440000	167040000
Ενισχυτικά ζωστήρα								
ενισχυτικό	1	2240	2240	5775,5	12937120	74718336560,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6097,6	13658624	83284825702,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6396,5	14328160	91650075440,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6695,4	14997696	100415573798,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6994,2	15667008	109578187353,6	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	7293,1	16336544	119144049046,4	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	7591,9	17005856	129106758166,4	24950000	24950000
Ενισχυτικά εσωτερικού πλευρικού ελάσματος								
ενισχυτικό	1	2240	2240	5800	12992000	75353600000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6100	13664000	83350400000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6400	14336000	91750400000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	6700	15008000	100553600000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	7000	15680000	109760000000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	7300	16352000	119369600000,0	24950000	24950000
ενισχυτικό	1	2240	2240	7600	17024000	129382400000,0	24950000	24950000
Ενισχυτικά ελάσματος stringer								
ενισχυτικό	7	1620	11340	7900	89586000	707729400000,0	13830000	96810000
Ενισχυτικά κύριου καταστρώματος								
ενισχυτικό	9	1620	14580	7900	115182000	909937800000,0	13830000	124470000
TOTAL			151040		676996928	4180042439398,4		1511070000
TOTAL S&P			302080		1353993856	8360084878796,8		3022140000

$\Sigma(I) (mm^4)$	171650475859,4
--------------------	----------------

Πίνακας 76. Υπολογισμός ροπής αντίστασης ενισχυτικών μέσης τομής

Ολικό Εμβαδόν μέσης τομής	828961,2	mm ²
Πρώτη Ροπή Επιφανείας	3798613866,8	mm ³
Δεύτερη Ροπή Επιφανείας	23675964218515,6	mm ⁴
Ουδέτερος άξονας από πυθμένα	4582,378	mm
Ροπή Αδράνειας από πυθμένα	23847614694375	mm ⁴
Ροπή Αδράνειας από Ο.Α	6440928701055,59	mm ⁴
Ροπή Αντίστασης από πυθμένα	1405586398,714	mm ³
Ροπή Αντίστασης από κατάστρωμα	-1408013808,283	mm ³
Reh	355	N/mm ²
γm	1,1	
Mr	498983,1715	kNm
Mr/γm	453621,065	kNm
Mτ	326169,3236	kNm

Πίνακας 77. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών καμπτικής ροπής και έλεγχος

Όπως παρατηρούμε η μέση τομή με την επιλεγμένη ενίσχυση και διαστασιολόγηση πληρεί την απαιτούμενη συνθήκη $\frac{M_P}{\gamma_m} \geq M_T$, που θέσαμε στην αρχή του κεφαλαίου.

Στο σκαρίφημα της μέσης τομής που ακολουθεί, όπως και στους υπολογισμούς νωρίτερα, έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής τύποι ενισχυτικών.

Θέση	No	Τύπος
Ενισχυτικά πυθμένα	16	180x54x10
Ενισχυτικά πλευρικού ελάσματος κατω	12	180x54x10
Ενισχυτικά πλευρικού ελάσματος πάνω	4	180x54x10
Ενισχυτικά ζωστήρα (sheerstrake)	7	180x54x10
Ενισχυτικά εσωτερικού πλευρικού ελάσματος	7	180x54x10
Ενισχυτικά ελάσματος stringer	7	160x50,5x8
Ενισχυτικά κυρίου καταστρώματος	9	160x50,5x8
Ενισχυτικά δευτερου καταστρώματος	16	140x38x9

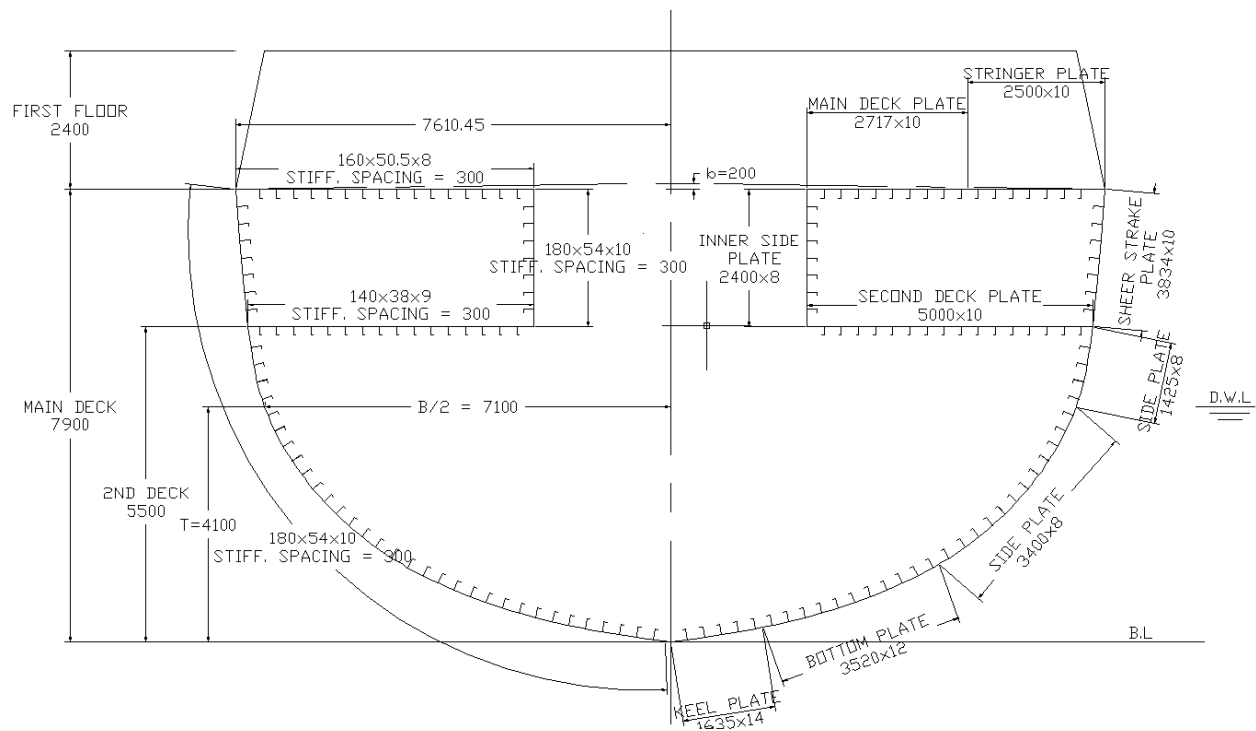
Πίνακας 78. Τύποι και αριθμός ενισχυτικών μέσης τομής

Το βάρος χάλυβα ανά τρέχον μέτρο δίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Βάρος Χάλυβα ανά Τρέχον Μήκος		
Σ(A)	866621,200	mm ²
ή	0,8666212	m ²
ρ	7,85	t/m ³
Βάρος ανα τρέχον μέτρο		
w	6,803	t/m

Πίνακας 79. Βάρος χάλυβα ανά τρέχον μέτρο

Ακολουθεί το σχέδιο της μέσης τομής της κορβέτας σε σμίκρυνση, όπου φαίνονται οι βασικές διαστάσεις, τα πάχη των ελασμάτων και τα είδη των ενισχυτικών.



Σχήμα 92. Σχέδιο μέσης τομής

Βιβλιογραφία

- [12] G. Lloyd, Rules for Classification and Construction, Vols. III Naval Ship Technology, 1.Surface Ships - 1.Hull Structures and Ship Equipment, Edition 2012.
- [47] Π. Καρύδης, Επιθεώρηση και Συντήρηση της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π, 2002.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ SHIPFLOW

« Το ρώτησε ξαφνιασμένη τι έχει, κ' εκείνο δεν ήξερε ν' αποκριθεί και δεν είπε τίποτα. Όμως μια μητέρα είναι το πιο βαθύ πλάσμα του κόσμου, κ' η δική μου, που κατάλαβε, με πήρε από τότε πολλές φορές και πήγαμε ψηλά στα Κιμιντένια, απ' όπου μπορούσα να βλέπω τη θάλασσα. Κ' ενώ εγώ αφαιριόμουνα στη μακρινή μαγεία του νερού, εκείνη δε μου μιλούσε, για να αισθάνομαι πως είμαστε μονάχοι, η θάλασσα κι εγώ. Περνούσε πολλή ώρα έτσι, τα μάτια μου κουράζονταν να κοιτάνε και γέροναν, έγερνα κι εγώ στη γη. Τότε τα δέντρα που με τριγύριζαν γίνονταν καράβια με ψηλά κατάρτια, τα φύλλα που θροούσαν γίνονταν πανιά, ο άνεμος ανατάραζε το χώμα, το σήκωνε σε ψηλά κύματα, τα μικρά τριζόνια και τα πουλιά ήταν χρυσόψαρα και πλέανε, κι εγώ ταξίδευα μαζί τους.

Σαν ξυπνούσα, έβλεπα από πάνω μου τα μάτια της μητέρας μου να περιμένουν.

- Ήταν ωραία, αγόρι; με ρωτούσε χαμογελώντας γλυκά.

- Αχ, μητέρα, πάντα είναι ωραία με τη θάλασσα ! »

*Ηλίας Βενέζης,
«Αιολική Γή»*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ SHIPFLOW

9.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η υπολογιστική ρευστομηχανική (CFD) είναι ένας κλάδος της μηχανικής των ρευστών που χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους και αλγορίθμους, προκειμένου να αναλύσει και να επιλύσει προβλήματα που αφορούν στην ροή των ρευστών. Η θεμελιώδης βάση όλων σχεδόν των προβλημάτων CFD είναι οι εξισώσεις Navier – Stokes, οι οποίες καθορίζουν τη ροή του ρευστού.

Εξισώσεις Navier – Stokes για ασυμπίεστο ρευστό σταθερής συνεκτικότητας :

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

Η ροή γύρω από ένα σώμα μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως συνάρτηση της πίεσης του ρευστού και των τριών συνιστωσών της ταχύτητας Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί μια σειρά από εξισώσεις κίνησης, όπως οι Range Average Navier – Stokes equation (RANS) για τυρβώδη ροή και να επιλυθούν με συγκεκριμένες οριακές συνθήκες. Οι εξισώσεις αυτές είναι συχνά περίπλοκες ως προς την επίλυσή τους και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι βασισμένες σε απλοποιημένες εξισώσεις RANS. Όσο οι CFD κώδικες γίνονται πιο αξιόπιστοι και αποδοτικοί στη χρήση τους, η χρήση συντελεστών αντίστασης, που εξάγονται από πειραματικές μεθόδους, γίνεται ολοένα και λιγότερο αναγκαία. Χρησιμοποιώντας τους κώδικες σε ένα ενδιάμεσο στάδιο, μπορούν να συντελέσουν στη μείωση σφαλμάτων κλίμακας μεταξύ πειραματικού μοντέλου και πραγματικού πλοίου.

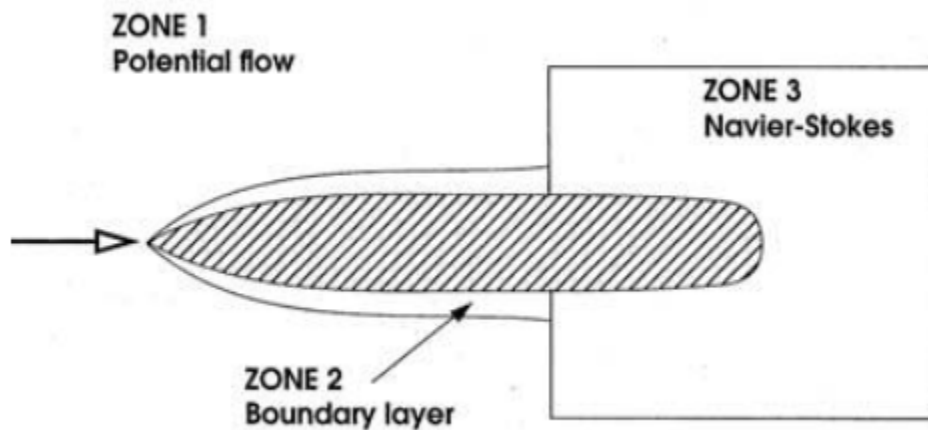
Το Shipflow είναι πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD) ειδικά σχεδιασμένο για την υδροδυναμική του πλοίου. Γενικά, η υδροδυναμική του πλοίου διαφοροποιείται από τους άλλους τομείς της μηχανικής των ρευστών, λόγω της ύπαρξης ελεύθερης επιφάνειας, με άμεση συνέπεια τη δημιουργία κυματισμών, οι οποίοι προσθέτουν αντίσταση στην κίνηση του πλοίου. Ο τρόπος με τον οποίο το Shipflow αντιμετωπίζει τα υπολογιστικά προβλήματα της υδροδυναμικής του πλοίου είναι ο χωρισμός σε τρεις περιοχές.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΖΩΝΗΣ (ZONAL APPROACH) :

Όταν χρησιμοποιούνται εξισώσεις RANS από τους κώδικες CFD υπάρχουν οι εξής δύο διαφορετικές διαθέσιμες προσεγγίσεις :

Global approach : Με αυτήν την προσέγγιση οι εξισώσεις RANS εφαρμόζονται σε ολόκληρη την υπολογιστική περιοχή και είναι δυνατόν να υπολογιστούν όλα τα απαραίτητα μεγέθη. Ωστόσο είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ.

Zonal approach : Αυτή η προσέγγιση προτάθηκε από τον Larsson (1993) και μειώνει τον υπολογιστικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τρεις ξεχωριστές κύριες μεθόδους, κάθε μία εφαρμόσιμη στην περιοχή του ρευστού, όπου εμφανίζει την καλύτερη απόδοση.



Σχήμα 93. Απεικόνιση των τριών περιοχών που ορίζονται στην προσέγγιση Ζώνης (Zonal Approach)

1^η Ζώνη : Ροή δυναμικού (Potential Flow)

Εάν το διανυσματικό πεδίο της ταχύτητας ροής \vec{u} είναι αστρόβιλο, δηλαδή $\vec{\nabla} \times \vec{u} = 0$, τότε το \vec{u} σε αναλογία με το πεδίο βαρυτικής δύναμης μπορεί να γραφεί με τη βοήθεια ενός βαθμωτού δυναμικού ταχύτητας $\Phi(\vec{r})$ ως :

$$\vec{u} = -\vec{\nabla}\Phi(\vec{r})$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι κατ' επιλογή η ροή θα είναι στην κατεύθυνση ελάττωσης του $\Phi(\vec{r})$ και κάθετη στις ισοδυναμικές επιφάνειες. Άρα οι γραμμές ροής θα είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες. Η ύπαρξη μιας συνάρτησης δυναμικού βασίζεται στο θεώρημα Stokes, που μας βεβαιώνει ότι το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα της ταχύτητας ανάμεσα σε δύο σημεία στο χώρο είναι ανεξάρτητο της διαδρομής και εξαρτάται μόνο από τα δύο σημεία. Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτό είναι στην κλειστή

επιφάνεια μεταξύ δύο διαδρομών να μηδενίζεται ο στροβιλισμός του πεδίου ταχύτητας. Κι αυτό γιατί σύμφωνα με το θεώρημα Stokes το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα για κλειστή διαδρομή για αστρόβιλο πεδίο μηδενίζεται.

Εάν επιπλέον η ροή είναι και ασυμπίεστη ($\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0$), τότε το δυναμικό ταχύτητας ικανοποιεί την εξίσωση Laplace :

$$\nabla^2 \varphi = 0$$

Στην περίπτωση αυτή έχουμε ροή δυναμικού (potential flow). Οι υποθέσεις της ροής δυναμικού χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποποιηθούν οι εξισώσεις Navier – Stokes, οι οποίες παίρνουν την παρακάτω μορφή :

$$\frac{1}{2} \nabla V^2 = \rho g - \nabla p$$

Η τρίτη συνθήκη που ισχύει συνεπακόλουθα είναι αυτή του ατριβούς ρευστού (ρευστό με μηδενικό ιξώδες). Σύμφωνα με το θεώρημα διατήρησης της κυκλοφορίας του Kelvin για ατριβή ροή, εάν σε μια περιοχή του ρευστού η στροβιλότητα είναι μηδέν θα παραμείνει μηδέν, σε αντίθετη περίπτωση έχουμε διάχυση της στροβιλότητας. Έτσι εάν υποθέσουμε αστρόβιλο πεδίο, για να παραμείνει έτσι, πρέπει να υποθέσουμε υποχρεωτικά και ατριβή ροή.

Το ρευστό λοιπόν, όπως εξηγήσαμε, θεωρείται αστρόβιλο, ασυμπίεστο και ατριβές. Αυτές οι παραδοχές είναι αποδεκτές για ροή πέριξ του πλοίου, καθώς ο αριθμός Reynolds είναι σχετικά μεγάλος και η επίδραση της συνεκτικότητας περιορίζεται σε ένα λεπτό στρώμα κοντά στην γάστρα και τον ομόρου (βλέπε επόμενη ζώνη). Έτσι μέσω της κατάλληλης συνάρτησης δυναμικού υπολογίζονται οι πιέσεις και οι ταχύτητες. Από το δυναμικό ροής προκύπτει η πίεση και η ταχύτητα πάνω στη βρεχόμενη επιφάνεια και με την ολοκλήρωση των καθέτων επί της γάστρας πιέσεων προκύπτει η αντίσταση κυματισμού.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να αναλύσει τη ροή του ρευστού στην απομακρυσμένη από το σώμα – πλοίο περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας, η οποία ορίζεται στο σχήμα ως Ζώνη 1. Στην περιοχή αυτή το ρευστό αναλύεται σε συνεχείς ροϊκές γραμμές οι οποίες εκκινούν από το πρωαίο άκρο του πλοίου και τερματίζουν στο πρυμναίο.

2^η Ζώνη : Οριακό στρώμα (Boundary Layer)

Η περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας που περιγράφει το λεπτό οριακό στρώμα κατα μήκος της γάστρας του πλοίου ορίζεται ως Ζώνη 2. Η φύση του ρευστού αλλάζει καθώς κινείται κατά μήκος της ζώνης. Τα χαρακτηριστικά της ροής υπολογίζονται με χρήση της θεωρίας οριακού στρώματος. Η ροή ξεκινά από το σημείο ανακοπής ως στρωτή, αποκλίνει σταδιακά καθώς διατρέχουμε κατά μήκος τη γάστρα και όταν φτάσει το σημείο μετάβασης της κατάστασης, όπου οι δυνάμεις συνεκτικότητας δεν μπορούν να “συγκρατήσουν” τις ροϊκές γραμμές, γίνεται τυρβώδης. Στη Ζώνη 2 η ανάπτυξη του οριακού στρώματος διερευνάται χρησιμοποιώντας ολοκληρωτικές εξισώσεις και το αποτέλεσμα είναι συνήθεις διαφορικές εξισώσεις, που επιλύονται με Runge – Kutta. Αυτή η μέθοδος, όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή της πρύμνης του πλοίου, όπου δημιουργείται μια περιοχή με πυκνές συγκλίνουσες ροϊκές γραμμές

3^η Ζώνη : Μέθοδος Navier – Stokes

Το Shipflow έχει και τη δυνατότητα «επέκτασης» και στη Ζώνη 3, η οποία περιλαμβάνει την πρύμνη του πλοίου, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πλήρως τυρβώδη ροή, περιλαμβάνει τον ομόρρου του πλοίου και εκτείνεται πολύ πέρα από το σημείο μετάβασης της ροής, που βρίσκεται συνήθως περί το μέσο του πλοίου. Εδώ εφαρμόζεται θεωρία Navier – Stokes για τον υπολογισμό της ενέργειας και κατά συνέπεια της αντίστασης που προκύπτει. Στην περιοχή αυτή χρησιμοποιούνται εξισώσεις Navier-Stokes (RANS) και διατήρησης της μάζας για την περιγραφή της ροής. Η λύση των σύνθετων αυτών εξισώσεων απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο και για αυτό το λόγο περιορίζεται στην πρύμνη του πλοίου μόνο, όπου δημιουργείται μια πυκνότερη διακριτοποίηση της επιφάνειας.

9.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ

Υπάρχουν δύο τρόποι για τον υπολογισμό αντίστασης κυματισμού του πλοίου : μέθοδος ολοκλήρωσης των πιέσεων (pressure integration) και ανάλυση τομής κύματος (wave cut analysis).

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΙΕΣΕΩΝ

Η μέθοδος ολοκλήρωσης των πιέσεων (pressure integration analysis) καθορίζει την αντίσταση κυματισμού με την ολοκλήρωση της πίεσης στο πάνελ της γάστρας. Η πίεση στη γάστρα αποτελείται από την υδροστατική και την υδροδυναμική πίεση. Για τη γραμμική λύση η υδροστατική πίεση αθροιστικά μηδενίζεται και αυτό συνεπάγεται την ολοκλήρωση μόνο της δυναμικής πίεσης, για να πάρουμε το αποτέλεσμα της αντίστασης κυματισμού. Για τις μη γραμμικές λύσεις η υδροστατική πίεση δεν μηδενίζεται και έτσι και οι δύο πιέσεις πρέπει να ολοκληρωθούν. Το μέγεθος της υδροστατικής πίεσης είναι συχνά μεγαλύτερο από αυτό της υδροδυναμικής, με αποτέλεσμα να προκαλούνται κάποια προβλήματα σχετικά με την ακρίβεια της μεθόδου. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να χρησιμοποιηθεί ένας επαρκής αριθμός από πάνελ στην επιφάνεια της γάστρας.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΜΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Η ανάλυση τομής κύματος (wave cut analysis) προσδιορίζει την αντίσταση κυματισμού αναλύοντας την κυματομορφή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαμήκεις ή εγκάρσιες τομές κύματος, αλλά η εγκάρσια μέθοδος προτιμάται, επειδή απαιτεί μικρότερη έκταση ελεύθερης επιφάνειας. Ο μέθοδος προσδιορίζει την ανύψωση κύματος σε μια σειρά από εγκάρσιες τομές κύματος πίσω από το πλοίο. Η πρώτη προϋπόθεση σε σχέση με την θέση των τομών κύματος, είναι ότι οι τομές πρέπει να είναι σε μια περιοχή, όπου η κυματομορφή είναι σχετικά ομαλή. Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη τομή δεν μπορεί να είναι πολύ

κοντά στην πρύμνη του πλοίου. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι ότι οι τομές πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον ένα μήκος κύματος και η κατανομή των τομών κύματος δεν μπορεί να είναι σε ίσες αποστάσεις. Η μέθοδος προσεγγίζει την ανύψωση κύματος σε κάθε τομή από το άθροισμα ενός συνόλου από στοιχειώδη κύματα. Η αντίσταση κυματισμού προσδιορίζεται από το αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι, ότι είναι λιγότερο εξαρτημένη από τον αριθμό των πάνελ στη γάστρα. Αυτό καθιστά τη μέθοδο ανάλυσης τομής κύματος πιο εύρωστη (robust) από τη μέθοδο ολοκλήρωσης των πίεσεων για γάστρες με πιο περίπλοκη γεωμετρία (γάστρες με μεγάλο αριθμό περιοχών έντονης καμπυλότητας). Σε CFD προγράμματα όπως το Shipflow, συνήθως παρέχονται συντελεστές και για τις δύο μεθόδους. Οι συντελεστές της μεθόδου τομής κύματος, ωστόσο, προτιμώνται στις διαδικασίες βελτιστοποίησης λόγω της μεγαλύτερης ευρωστίας τους σε σχέση με τη μέθοδο ολοκλήρωσης των πίεσεων.

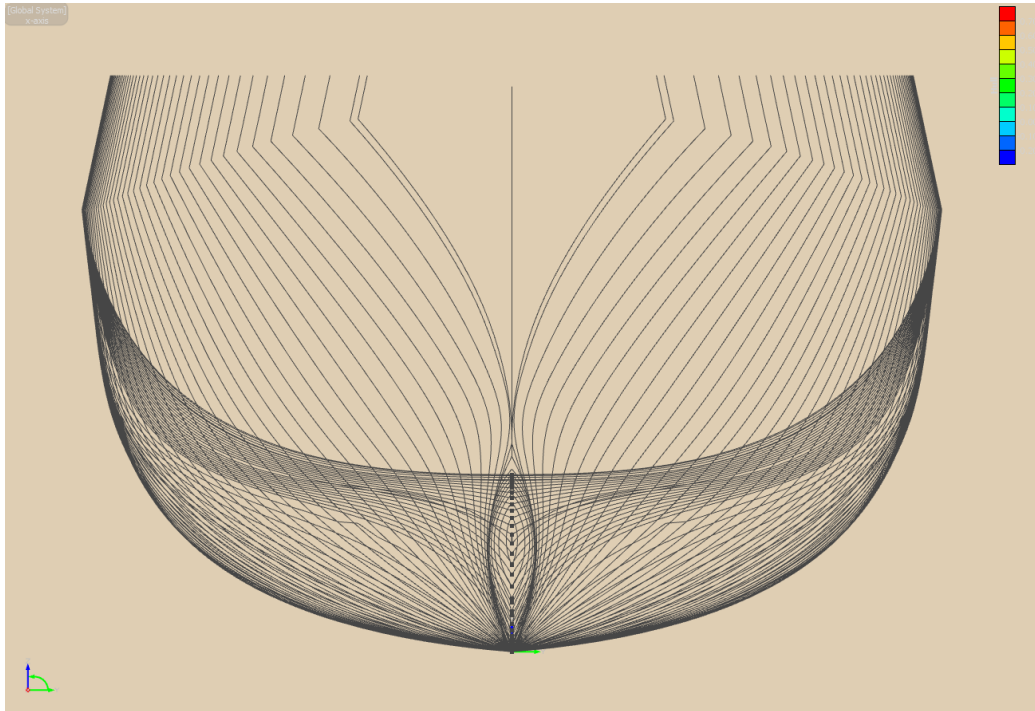
9.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟ SHIPFLOW

Σκοπός της ανάλυσης αυτής, είναι η εκτίμηση της αντίστασης κυματισμού της κορβέτας, ώστε να επαληθευθούν και να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα της εμπειρικής μεθόδου του Holtrop που ακολουθήθηκε στο κεφάλαιο 6.

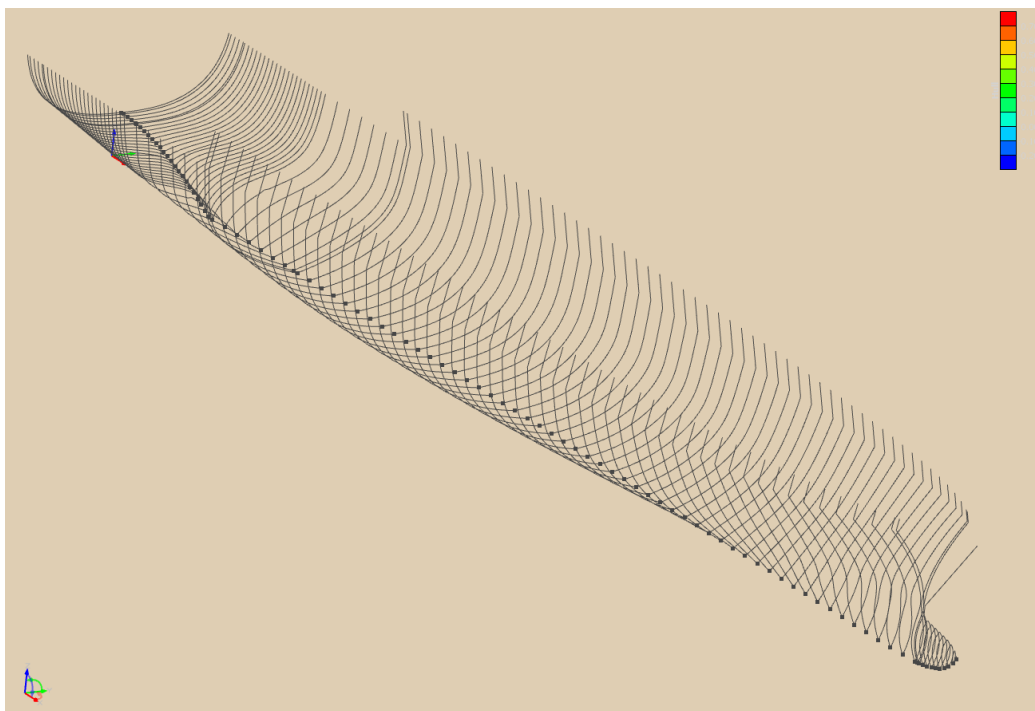
9.3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟ AVEVA

Η κατασκευασθείσα γεωμετρία της γάστρας με το πρόγραμμα AVEVA Lines δόθηκε με μορφή offsets στο Shipflow μέσω αρχείου text, στο οποίο υπήρχαν οι συντεταγμένες x y z των σημείων των νομέων. Για να κατασκευαστεί το αρχείο σε μορφή αναγνώσιμη από το πρόγραμμα χωρίστηκε το σύνολο των νομέων σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη θέση τους πάνω στο πλοίο, σε bulb, hull και stern. Το πρώτο σημείο κάθε νομέα σηματοδοτείται με τον αριθμό 1 και τα επόμενα με τον αριθμό 0, ενώ το τελευταίο σημείο του τελευταίου νομέα κάθε ομάδας σηματοδοτείται με τον αριθμό 9. Μετά την εγγραφή των νομέων στο αρχείο με την παραπάνω δομή, η γεωμετρία διαβάζεται από το Shipflow και έχει τη μορφή που φαίνεται στα *σχήματα* 94,95.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί, ότι η κεκλιμένη πρύμνη καθρέπτη, που είχαμε αρχικά σχεδιάσει στο AVEVA δεν ήταν δυνατό να διατηρηθεί και στο παρόν μοντέλο, καθώς το πρόγραμμα παρουσίαζε δυσκολία στη δημιουργία της ελεύθερης επιφάνειας πίσω από τον κεκλιμένο καθρέπτη και άρα αδυναμία στην εκτίμηση της αντίστασης. Για το λόγο αυτό, η κλίση αφαιρέθηκε και ο καθρέπτης δόθηκε κατακόρυφος.



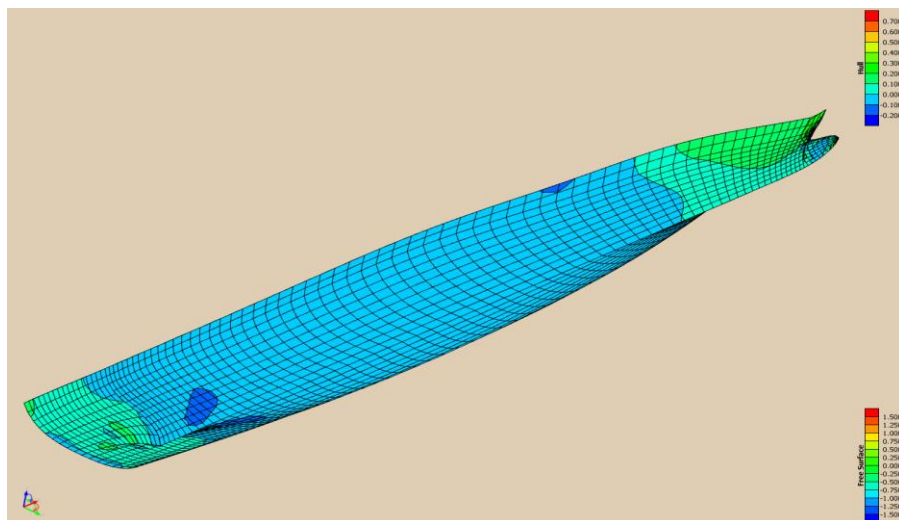
Σχήμα 94. Απεικόνιση νομέων της γάστρας μετά τη μεταφορά της γεωμετρίας από το AVEVA στο Shipflow



Σχήμα 95. Απεικόνιση νομέων, όπου διακρίνονται με διαφορετική πύκνωση οι τρεις ομάδες bulb, hull, stern

9.3.2 SHIPFLOW CONFIGURATION

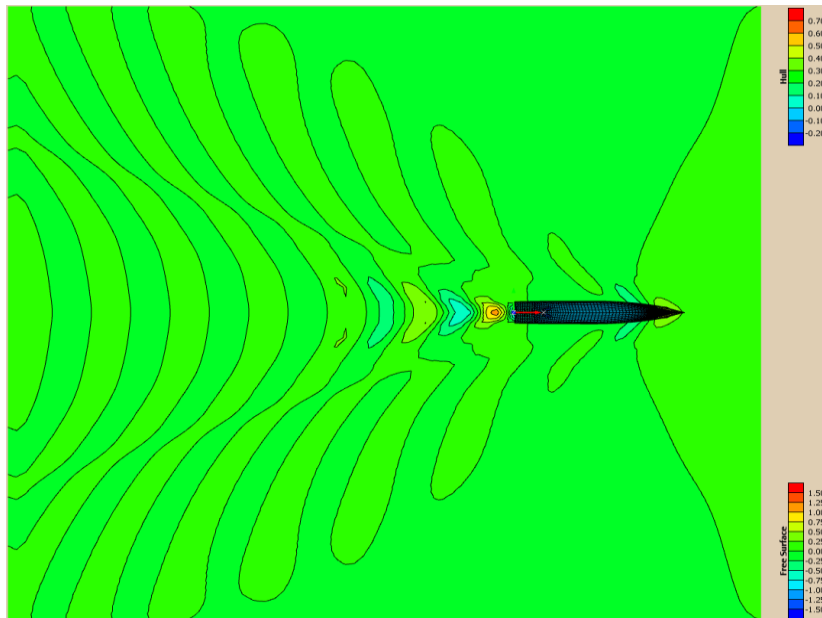
Κατόπιν δημιουργήθηκαν τα Configuration και Computation αρχεία με τα οποία παράχθηκαν τα πάνελ της γάστρας και της ελεύθερης επιφάνειας και υπολογίστηκαν οι συντελεστές αντίστασης. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δεν κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν υπολογισμοί για συνεκτική ροή (viscous flow) καθώς απαιτείται τεράστιος αριθμός επαναλήψεων από το πρόγραμμα προκειμένου η διαδικασία να συγκλίνει. Έτσι περιοριστήκαμε στην πρώτη μέθοδο ανάλυσης της ροής, όπως την έχουμε περιγράψει νωρίτερα, τη ροή δυναμικού (potential flow). Έτσι η περιοχή, στην οποία στηρίζουμε τους υπολογισμούς και τα αποτελέσματά μας, είναι η πρώτη ζώνη του σχήματος, ενώ οι υπόλοιπες δύο παραβλέπονται. Το σκεπτικό που ακολουθούμε εδώ είναι, ότι και με αυτήν την προσεγγιστική διαδικασία, μπορούμε να πάρουμε ικανοποιητική ακρίβεια αποτελεσμάτων, ώστε να τα συγκρίνουμε με αυτά που έχουν προκύψει από τη μέθοδο Holtrop, το οποίο είναι και ο αρχικός μας στόχος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας XPAN του προγραμματιστικού πακέτου του Shipflow. XPAN είναι το πρόγραμμα επίλυσης ροής δυναμικού γύρω από τρισδιάστατα σώματα και βασίζεται σε μια μέθοδο διαχωρισμού της επιφάνειας σε πάνελ. Η κατασκευή των πάνελ, κατόπιν, έγινε με χειροκίνητη ρύθμιση των παραμέτρων, με τη χρήση του προγράμματος XMesh. XMesh είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας πάνελ για τον κώδικα υπολογισμού ροής δυναμικού XPAN. Μπορεί να εκτελεστεί ως ένα ξεχωριστό πρόγραμμα για τον έλεγχο της δημιουργίας πάνελ στην επιφάνεια του σώματος και την ελεύθερη επιφάνεια, πριν να εκτελεστεί η διαδικασία υπολογισμού της ροής. . Οι ομάδες, στις οποίες κατασκευάστηκαν τα πάνελ, είναι : γάστρα (stern, hull, bulb) και ελεύθερη επιφάνεια (free surface, transom). Οι παράμετροι της διαδικασίας τοποθέτησης των πάνελ, δόθηκαν με κριτήριο το πλέγμα να είναι καταλλήλως πυκνό και τα γειτονικά πάνελ κατά το δυνατό ισομεγέθη, ενώ στην ελεύθερη επιφάνεια, ειδικότερα, σημασία δόθηκε στην κάλυψη ολόκληρου του συστήματος κυματισμών, ώστε να συμπεριληφθεί πλήρως η ενέργεια κυματισμού. Τα πάνελ που κατασκευάσαμε στα τρία τμήματα της γάστρας, καθώς και η κατανομή πιέσεων στην επιφάνεια, φαίνονται παρακάτω.



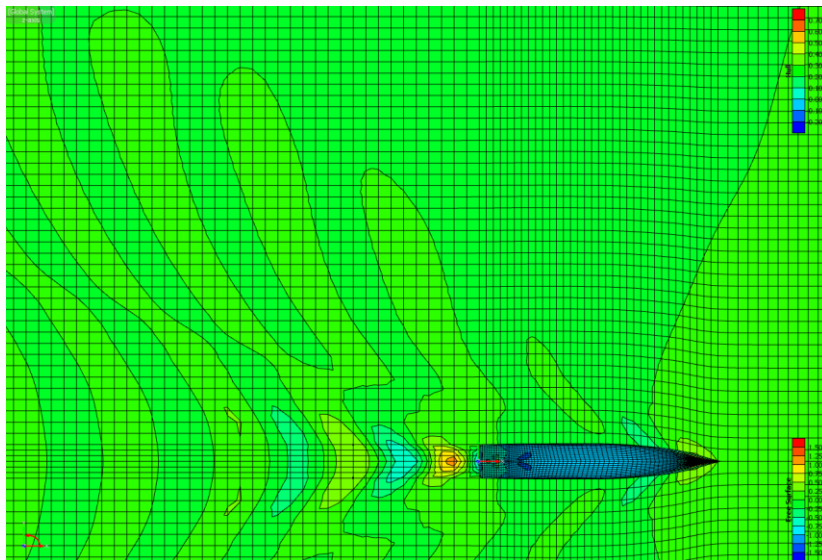
Σχήμα 96. Κατασκευή πάνελ στα τρία τμήματα της γάστρας

9.3.3 SHIPFLOW RESULTS

Για $V_s = 16 \text{ kn}$ ($F_n = 0,2628$), προκύπτει η ακόλουθη μορφή κυματισμών. Τα πάνελ της ελεύθερης επιφάνειας και οι διαφορετικές πυκνώσεις του πλέγματος πλώραθεν του σώματος, κατά μήκος και πρύμνηθεν, καθώς και πίσω από τον καθρέπτη, φαίνονται παρακάτω.



Σχήμα 97. Παραχθέν σύστημα κυματισμών στους 16 kn



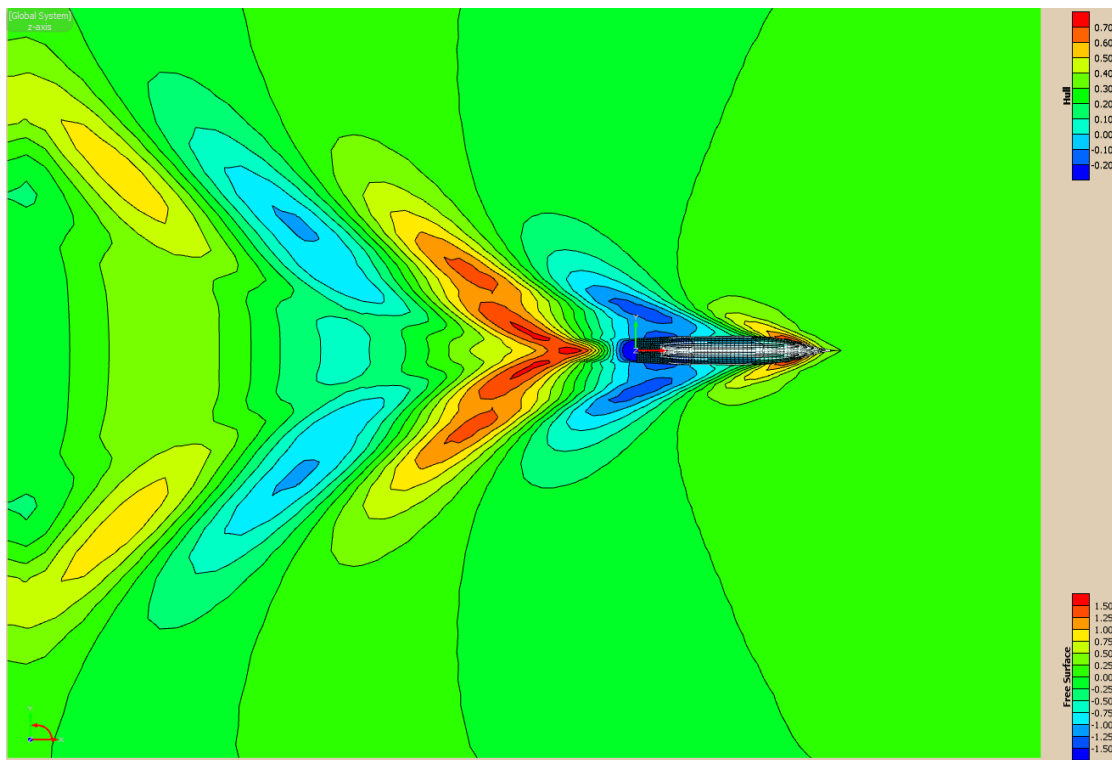
Σχήμα 98. Διαφοροποιήσεις στην πυκνωση του πλέγματος των πάνελ της ελεύθερης επιφάνειας

Οι συντελεστές αντίστασης προκύπτουν :

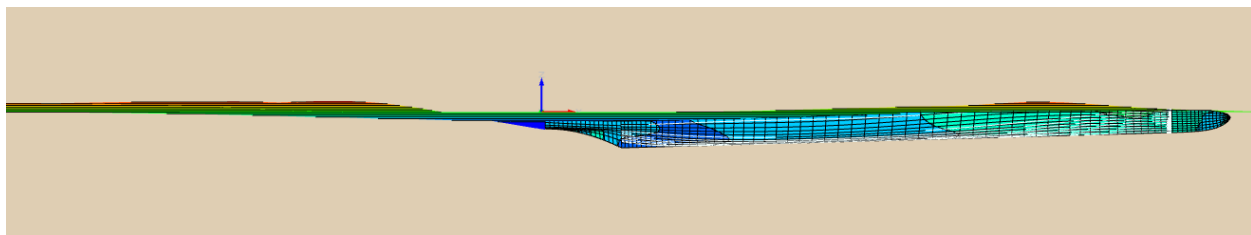
V ship [kn]	Cw	Cw	Απόκλιση %
	Holtrop	Shipflow	
16	0,000867839	0,001072070	23,5

Πίνακας 80. Συντελεστές αντίστασης από τις δύο μεθόδους στους 16 kn

Αντιστοίχως, για την ταχύτητα μάχης $V_s = 32$ kn ($F_n = 0,5257$) προκύπτει η ακόλουθη μορφή κυματισμών. Τα πάνελ της γάστρας παρέμειναν ίδια, ενώ η διακριτοποίηση της ελεύθερης επιφάνειας έγινε με πιο αραιό πλέγμα, λόγω της αδυναμίας του προγράμματος να συγκλίνει επιτυχώς σε τόσο υψηλό αριθμό Froude.



Σχήμα 99. Παραχθέν σύστημα κυματισμών στους 32 kn



Σχήμα 100. Αποκτούμενη γωνία διαγωγής triman = 1,58° και ύψος ακολουθούντων κυματισμών

Οι συντελεστές αντίστασης προκύπτουν :

V ship [kn]	Cw	Cw	Απόκλιση %
	Holtrop	Shipflow	
32	0,005503846	0,003953515	-28,2

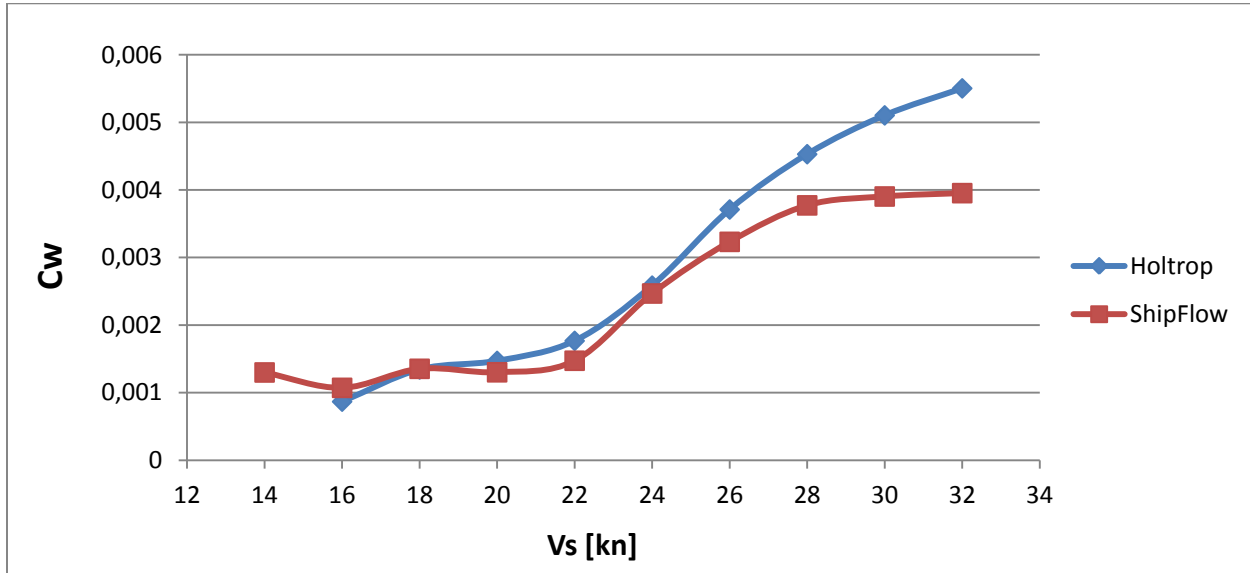
Πίνακας 81. Συντελεστές αντίστασης από τις δύο μεθόδους στους 32 kn

9.3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ SHIPFLOW / HOLTROP ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

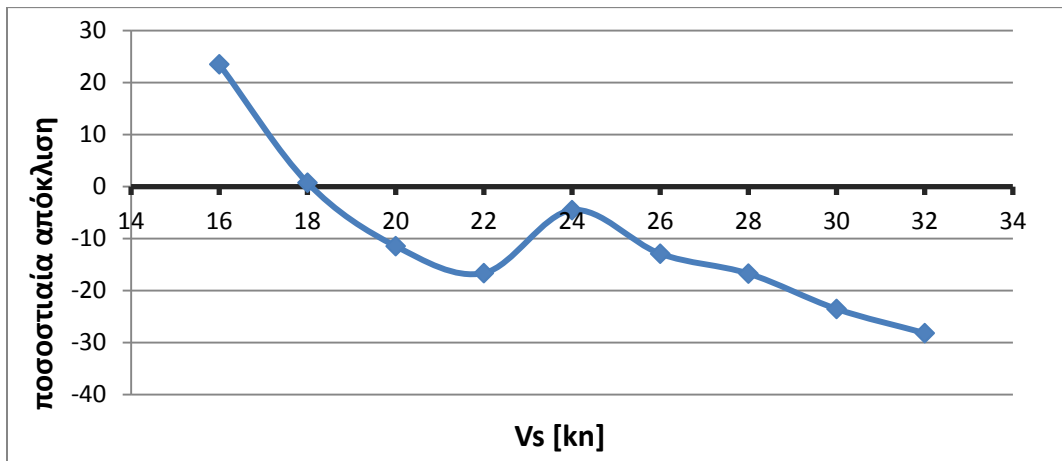
Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για ένα εύρος ταχυτήτων από 14 – 32 kn και κατασκευάζουμε την καμπύλη ταχύτητας – αντίστασης Shipflow, η οποία θα συγκριθεί με την αντίστοιχη που είχε προκύψει με την εμπειρική μέθοδο του Holtrop.

V ship [kn]	Cw	Cw	Απόκλιση %
	Holtrop HNC	Shipflow HNC	
14		0,001299540	
16	0,000867839	0,001072070	23,5
18	0,001343651	0,001353850	0,8
20	0,001470773	0,001302550	-11,4
22	0,001767254	0,001473390	-16,6
24	0,002584729	0,002467940	-4,5
26	0,003711078	0,003232490	-12,9
28	0,004529471	0,003772140	-16,7
30	0,005103913	0,003903580	-23,5
32	0,005503846	0,003953515	-28,2

Πίνακας 82. Σημεία καμπυλών ταχύτητας – συντελεστή αντίστασης Holtrop/Shipflow



Σχήμα 101. Καμπύλη ταχύτητας – συντελεστή αντίστασης κατά Holtrop και Shipflow αντίστοιχα



Σχήμα 102. Ποσοστιαία απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων συναρτήσει της ταχύτητας

Στην καμπύλη πειραματικών αποτελεσμάτων που προέκυψε από την ανάλυση ροής δυναμικού (potential flow) φαίνονται τα γνωστά τοπικά ελάχιστα για το συντελεστή αντίστασης κυματισμού στις ταχύτητες $F_n \cong 0,26 \square 0,27 \rightarrow V = 16 \text{ kn}$ και $F_n \cong 0,35 \rightarrow V = 21 \text{ kn}$ και το τοπικό μέγιστο για $F_n \cong 0,5 \rightarrow V = 31 \text{ kn}$. Μάλιστα το πρώτο τοπικό ελάχιστο στο $F_n = 0,26$ με δεδομένη την απαίτηση για ταχύτητα υπηρεσίας 16 kn ήταν και ο λόγος που οδηγηθήκαμε στην επιλογή του μήκους του πλοίου μας $L_{BP} = 100 \text{ m}$. Συνεπώς, η επιλογή μας δικαιώνεται από την πειραματική καμπύλη που προέκυψε, καθώς ακολουθεί πιστά στη μορφή την αντίστοιχη πειραματική καμπύλη του βιβλίου, την οποία συμβουλευτήκαμε στο κεφάλαιο.

Τόσο η μέθοδος Holtrop, όσο και η ανάλυση ολοκλήρωσης των πιέσεων (pressure integration) σε ροή δυναμικού (potential flow), έδειξε ότι ο συντελεστής αντίστασης κυματισμού είναι της ίδιας τάξης και σε

ποσοστιαίες μονάδες, σημαντική συνιστώσα της συνολικής αντίστασης του πλοίου, αφού ακόμα και για την ταχύτητα υπηρεσίας κινούμαστε σε υψηλούς αριθμούς Froude. Μάλιστα με την αύξηση της ταχύτητας, όσο πλησιάζουμε την ταχύτητα μάχης του πλοίου, η αντίσταση κυματισμού, ως ποσοστό της συνολικής αντίστασης αυξάνει δραματικά (βλ. Πίνακα 83).

Η αντίσταση στη μέθοδο Holtrop για τιμές της ταχύτητας από $F_n = 0,3 \rightarrow V=18$ kn και πάνω, υπερεκτιμάται σε σύγκριση με τη θεωρία ροής δυναμικού, όπως υλοποιείται από το Shipflow. Η απόκλιση σε ποσοστιαίες μονάδες δε από $F_n = 0,4 \rightarrow V = 24$ kn και πάνω αυξάνει διαρκώς μέχρι το 30% στην ταχύτητα μάχης.

Στο σημείο αυτό, χρήσιμο θα ήταν, να συνοψίσουμε τα αποτελέσματα της συνολικής αντίστασης, όπως αυτή προέκυψε από τις δύο μεθόδους, καταγράφοντας τις συνιστώσες που τη συναποτελούν και την αντίστοιχη ποσόστωση της κάθε μιας.

	16		18		20		22		24	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
HOLTROP										
R_F	76,3693	46,36	95,2254	40,46	116,0165	38,93	138,7197	36,01	163,3145	30,04
$R_{F(1+k1)}$	91,59008	55,60	114,2043	48,53	139,1392	46,69	166,3672	43,19	195,8639	36,02
R_{APP}	7,011813	4,26	8,743078	3,71	10,65201	3,57	12,73649	3,31	14,99465	2,76
R_W	41,35005	25,10	81,02673	34,43	109,4971	36,74	159,1993	41,33	277,0987	50,96
R_A	24,79155	15,05	31,37681	13,33	38,7368	13,00	46,87153	12,17	55,78099	10,26
R_{TOTAL}	164,7435		235,3509		298,0251		385,1745		543,7382	
SHIPFLOW										
R_W	51,08019	29,28	81,64037	34,60	96,97143	33,97	132,7249	37,00	264,5736	49,81
R_{TOTAL}	174,4736		235,9646		285,4994		358,7002		531,2131	

	26		28		30		32	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
HOLTROP								
R_F	189,7826	24,41	218,1073	21,42	248,2735	19,66	280,2671	18,56
$R_{F(1+k1)}$	227,6072	29,28	261,5772	25,68	297,7556	23,58	336,1257	22,26
R_{APP}	17,4248	2,24	20,02543	1,97	22,79512	1,81	25,7326	1,70
R_W	466,9213	60,06	660,9375	64,90	854,9538	67,71	1048,97	69,47
R_A	65,46519	8,42	75,92413	7,45	87,1578	6,90	99,1662	6,57
R_{TOTAL}	777,4185		1018,464		1262,662		1509,995	
SHIPFLOW								
R_W	406,6992	56,71	550,4188	60,62	653,8754	61,59	753,4818	62,04
R_{TOTAL}	717,1964		907,9456		1061,584		1214,506	

Πίνακας 83. Σύγκριση συνολικής αντίστασης και ποσοστώσεων αυτής όπως προέκυψαν από τις δύο μεθόδους

Σε γενικές γραμμές, οι τιμές της αντίστασης κυματισμού και κατ' επέκταση της συνολικής αντίστασης, που υπολογίζουμε με τη μία και την άλλη μέθοδο, είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους. Αυτό επιβεβαιώνει, ότι η εμπειρική μέθοδος Holtrop είναι μια πολύ ακριβής πρόβλεψη για την αντίσταση των πλοίων. Αν θέλουμε να κάνουμε μια εκτίμηση της εγκατεστημένης ισχύος στο στάδιο της προμελέτης, στο οποίο βρισκόμαστε, χωρίς να αναγκαστούμε να εμπλακούμε με προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής, η μέθοδος κρίνεται απόλυτα ικανοποιητική. Αν θέλουμε, όμως, την αντίσταση σε υψηλό αριθμό Froude, όπως συνέβη στη δική μας περίπτωση, συνιστάται η εκτίμηση να γίνει με κώδικες υπολογιστικής ρευστομηχανικής και χρήση της θεωρίας δυναμικού ροής, όπως κάνει το Shipflow. Σε επόμενο στάδιο ακριβείας μπορούμε, αν διαθέτουμε την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ, να κάνουμε χρήση της θεωρίας Navier – Stokes και να εκτιμήσουμε την αντίσταση λαμβάνοντας υπ όψιν και τις ζώνες υπολογισμού 2 και 3, όπως αυτές περιγράφησαν ανωτέρω.

Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Πολίτη, Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [8] J. Holtrop και G. J. Mennen, «An Approximate Power Prediction Method».
- [9] J. Holtrop, «A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data».
- [18] Σ. Τσαγγάρης, Μηχανική των Ρευστών, Αθήνα: Συμεών, 2005.
- [19] Γ.Μπεργελές, Υπολογιστική Ρευστομηχανική, Αθήνα: Συμεών, 2006.
- [20] Flowtech International AB, «Shipflow Tutorials Basic».
- [23] K.J. Van Mierlo, "Trend Validation of Shipflow based on the bare hull upright resistance of the Delft series," January, 2006.
- [26] G.L. Koutroukis, «Parametric Design and Multi-objective Optimization-Study of an Ellipsoidal Containership,» Athens, January, 2012.
- [27] Δ. Μακρής, «Δυνατότητες της παραμετρικής μοντελοποίησης για τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης πλοίων,» Αθήνα, 2012.
- [29] L.Nikolopoulos, «A Holistic Methodology for the Optimization of Tanker Design and Operation and its Applications,» Athens, July, 2012.
- [31] Flowtech International AB, «Design Tutorial».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΤΟΠΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ FRIENDSHIP – FRAMEWORK

« Είναι χυτές πρύμη πλώρη κι έχουν τις αρματωσιές τους βασιλικές και κείνες. Τα κατάρτια τους ατόφια μπρούτζινα, από κάτω στη σιάτσα ως απάνω στη γαλέτα. Τις αντένες όλες ατσαλένιες, σχοινιά και ξάρτια από καμηλότριχα και τα πανιά τους ολομέταξα. Αν ρωτάς για τις κουπαστές και τις μπαταρίες τους, στο σύρμα είναι ντυμένες. Κι έχουν στην πλώρη για θαλασσομάχο ένα διαμαντοκόλλητο σταυρό, τρόμο των στοιχειών και φρικη του κυμάτου. Στην πρύμη, επάνω στο τιμόνι, έχουν το άγιο Βαγγέλιο και στο μεσανό κατάρτι ψηλά σ' ένα δικέφαλον αητό την Παναγιά, που λάμπει – προσκυνώ τη χάρη της – σαν αυγερινός. Κάθε αυγή, με το πρώτο ανάβλεμμα του ηλιού, οι φρεγάδες αστραποβολούν στα γαλανά νερά. Τώρα ψυχή δεν έχουν· έρμες είναι από ναύτες κι από καπετάνιους. Όμως θα έρθει η ώρα που ψυχή θα πάρουν και γοργόνες καστρορίχτισσες θα σμιζούν και θα σύρουν πάλι στο δρόμο τους. Και θα γυρίσουν νικηφόρες πίσω στα πατρογονικά μας τα λιμάνια, στο δοξασμένο θρόνο του αναστημένου μας του Βασιλιά. »

Ανδρέας Καρκαβίτσας,

*«Οι φρεγάδες»
Λόγια της Πλώρης*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΤΟΠΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΑΣΤΡΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ FRIENDSHIP – FRAMEWORK

Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της μελέτης, θα ασχοληθούμε με την τοπική βελτιστοποίηση της γάστρας της κορβέτας, εξετάζοντας κυρίως την παράμετρο της ελαχιστοποίησης της αντίστασης κυματισμού. Η διαδικασία βελτιστοποίησης θα εντοπιστεί αποκλειστικά στο τμήμα του βολβού, ο σχεδιασμός του οποίου έγινε στο AVEVA Lines, ακολουθώντας τις οδηγίες από τη δημοσίευση των R.Sharma, O.P.Sha *'Hydrodynamic design of integrated bulbous bow / Sonar dome for naval ships'* [3]. Το υπόλοιπο τμήμα της γάστρας θα παραμείνει αμετάβλητο, όπως σχεδιάστηκε αρχικά.

Η αναγκαιότητα της βελτιστοποίησης προέκυψε από το γεγονός, ότι υπήρχε έλλειψη στοιχείων και παραμέτρων για το σχεδιασμό βολβού για πολεμικά πλοία, καθώς η τοποθέτησή τους αποτελεί τάση των τελευταίων ετών, λόγω της ανάγκης για οικονομική λειτουργία στην ταχύτητα υπηρεσίας. Έτσι οι λιγότεροι παράμετροι με τις οποίες σχεδιάστηκε ο βολβός και έχουν καταγραφεί στο κεφάλαιο 3, δεν ήταν δυνατόν να περιγράψουν με ακρίβεια την τρισδιάστατη μορφή του βολβού. Έτσι προέκυψε η ανάγκη να σχεδιασθεί ένας παραμετρικός βολβός, από τον οποίο θα παραχθεί ένα σύνολο διαφορετικών μορφών, οι οποίες με τη σειρά τους θα εξετασθούν μια προς μια με το πρόγραμμα Shipflow για να υπολογισθεί η νέα αντίσταση κυματισμού του πλοίου. Τα εργαλεία που μας επέτρεψαν να υλοποιήσουμε την παραπάνω μεθοδολογία ήταν το παραμετρικό πρόγραμμα σχεδίασης FRIENDSHIP (CAESES – FFW) και η εύκολη σύνδεση που μας παρείχε με το πρόγραμμα Shipflow, επιτυγχάνοντας την επαναληπτική του κλίση εσωτερικά, κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης.

Στο τελευταίο τμήμα αυτού του κεφαλαίου, θα ασχοληθούμε με ένα άλλο σημαντικό ζήτημα της μορφής του πλοίου μας, που επηρεάζει την πλεύση του σε ήρεμο νερό, τη μορφολογία της πρύμνης. Όπως παρατηρήσαμε στην προηγούμενη ενότητα, «τρέχοντας» τη γάστρα μας για την ταχύτητα των 32 kn, προέκυψε σημαντική δυναμική διαγωγή, η οποία οριακά απείλησε να «ξεενερίσει» το βολβό. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι λόγω των γραμμών του πλοίου αλλά και του υψηλού αριθμού Froude στον οποίο κινείται σε κατάσταση μάχης, η κορβέτα αποκτά διαγωγή, δύσκολα διαχειρίσιμη αποκλειστικά με προσθαφαίρεση έρματος. Για το λόγο αυτό, μελετάται η τοποθέτηση σφήνας στον καθρέπτη του πλοίου, η οποία θα μειώνει η και θα μηδενίζει, ανάλογα με τις διαστάσεις της, τη διαγωγή στην υψηλή ταχύτητα.

Η συνύπαρξη αυτών των κριτηρίων (μειωμένη αντίσταση, διαγωγή) και η επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος σε δύο διαφορετικές ταχύτητες πλεύσης, καθιστά το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ακόμα πιο σύνθετο, καθώς η περιοχή βέλτιστης απόδοσης των παραμέτρων για τη μία ταχύτητα μπορεί να είναι περιοχή χαμηλής απόδοσης για την άλλη. Έτσι στο τέλος, επιχειρείται να δοθεί μια κατά το δυνατό συμβιβαστικότερη λύση και να προταθούν διάφοροι τρόποι για την υλοποίησή της.

10.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAE ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

Οι τεχνικές και τα εργαλεία, που χρησιμοποιούνται στη σχεδίαση πλοίου, έχουν εξελιχθεί θεαματικά τα τελευταία 40 χρόνια, από την παραδοσιακή σχεδίαση της ναυπηγικής σάλας, στη σύγχρονη ψηφιακή σχεδίαση. Στην εξέλιξη αυτή συνέδραμε φυσικά η τεχνολογική «έκρηξη» των τελευταίων δεκαετιών, με τους προσωπικούς υπολογιστές να γίνονται ισχυρότεροι και συνάμα οικονομικά προσιτοί σε όλους. Ακολουθώντας την τεχνολογική πρόοδο, οι εταιρείες ανέπτυξαν συστήματα CAD (Computer Aided Design systems), προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανάγκες σχεδίασης προϊόντων σύνθετης γεωμετρίας. Έτσι, η ραγδαία ανάπτυξη ισχυρών σχεδιαστικών πακέτων έδωσε τη δυνατότητα στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να δημιουργήσουν καινοτόμα προϊόντα ταχύτερα και αποδοτικότερα. Ταυτόχρονα συστήματα CAD/CAE (Computer Aided Engineering), το οποίο αναφέρεται στη σύνδεση της μοντελοποίησης και προσομοίωσης, αύξαναν σε συνθετότητα και εύρος δυνατοτήτων. Έτσι, το φθηνότερο λογισμικό και τα ισχυρότερα εργαλεία, αποτέλεσαν τα κίνητρα για πολλές εταιρείες να προχωρήσουν από τη 2D στην 3D – σχεδίαση. Η μεταφορά αυτών των ισχυρών αναλυτικών εργαλείων στον προσωπικό υπολογιστή, μετέδωσε ολόκληρο το εύρος δυνατοτήτων της τεχνολογίας CAE, στα χέρια ενός οποιουδήποτε σχεδιαστή. Ο απώτερος στόχος οποιουδήποτε εργαλείου τίθεται στην υπηρεσία της δραστηριότητας του ανθρώπου, είναι η επίτευξη μεγαλύτερης αποδοτικότητας, αποτελεσματικότητας και της βέλτιστης ποιότητας.

Μεγαλύτερη αποδοτικότητα σημαίνει λιγότερος χρόνος και εργασία, απαιτούνται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος. Η μεγαλύτερη αποδοτικότητα οδηγεί σε :

- Λιγότερο χρόνο για να φτάσουμε σε ένα συγκεκριμένο σχεδιαστικό στάδιο.
- Δυνατότητα γρήγορων αναλυτικών υπολογισμών
- Σύνδεση μεταξύ CAD – CAE
- Γρήγοροι γεωμετρικοί χειρισμοί
- Μεγαλύτερη ελευθερία στη σχεδιαστική διαδικασία (π.χ υπολογισμοί αντίστασης και ευστάθειας ,βασιζόμενες σε ένα προκαταρκτικό σχέδιο CAD, παρέχουν πιο ακριβή αποτελέσματα στο στάδιο της αρχικής σχεδίασης, γλιτώνοντας χρόνο και κόπο από τους επαναληπτικούς υπολογισμούς της σχεδιαστικής σπείρας.

Μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σημαίνει ότι μπορούν να αντιμετωπιστούν περισσότερα ζητήματα, κάτι το οποίο οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα. Για παράδειγμα :

- Η τρισδιάστατη απεικόνιση δίνει μια πληρέστερη και καλύτερη εικόνα σε όλους τους εμπλεκόμενους για τη γεωμετρία της γάστρας
- Υψηλότερη ακρίβεια του ορισμού της γάστρας

❖ *Συνδιασμός CAD – CFD*

Στην παρούσα εργασία, όπως έχουμε περιγράψει, επιχειρείται η συνένωση της τεχνολογίας CAD (Friendship) με εκείνη του CFD (Shipflow). Συνδυάζοντας την τεχνολογία CAD, ώστε να δημιουργήσουμε νέες μορφές γάστρας με εκείνη της υπολογιστικής ρευστομηχανικής CFD, ώστε να αναλύσουμε τις παραγόμενες μορφές, μπορούμε να διερευνήσουμε ταχύτατα διαφορετικές σχεδιάσεις

και παραλλαγές, χωρίς την κατασκευή πειραματικών μοντέλων. Με τη βοήθεια της ανάλυσης CFD είμαστε σε θέση να προεπιλέξουμε το σύνολο των σχεδίων εκείνων που δείχνουν να μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στους στόχους της βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια τα μοντέλα αυτά δοκιμάζονται για την επικύρωση των προβλεπόμενων χαρακτηριστικών απόδοσης στο σχεδιασμό και για να πάρουμε μια εκτίμηση εγκατεστημένης ισχύος αποδεκτή και ακριβή. Κατά συνέπεια, οι αιτήσεις για δοκιμές μοντέλων από πελάτες των ναυπηγείων, έχουν μειωθεί σημαντικά από τη δεκαετία του 1980.

10.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ FRIENDSHIP – FRAMEWORK

Το Friendship – Framework είναι ένα πακέτο CAE, που στοχεύει στο σχεδιασμό λειτουργικών επιφανειών. Προσφέρει ένα ευρύτατο φάσμα λειτουργιών CAD για τη συμβατική μοντελοποίηση με NURBS, τη μερικώς παραμετρική μοντελοποίηση με γεωμετρικές παραμορφώσεις και την πλήρως παραμετρική μοντελοποίηση. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει μια σειρά από ενσωματωμένες τεχνικές βελτιστοποίησης, μέσω αλγορίθμων. Αυτοί οι αλγόριθμοι συνδέονται άμεσα πάνω στη γεωμετρία του πλοίου και δημιουργούν αυτόματα ένα πλήθος παραλλαγών. Το πακέτο αυτό μας παρέχει τη δυνατότητα να συνδέσουμε οποιοδήποτε εξωτερικό πρόγραμμα ή εργαλείο σχεδίασης και ανάλυσης, κάνοντάς το εσωτερικό κομμάτι του Friendship. Στη δική μας περίπτωση ως εξωτερική σύνδεση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστομηχανικής Shipflow. Με τη μέθοδο αυτή τα αποτελέσματα της επίλυσης ροών που επιτυγχάνει το Shipflow, ενσωματώνονται στην πορεία της βελτιστοποίησης και καθοδηγούν τη σχεδιαστική διαδικασία. Εκτός από τη διαχείριση και εκτέλεση εξωτερικών προγραμμάτων, παρέχεται επιπλέον πληρέστατη παρουσίαση αποτελεσμάτων, που περιλαμβάνει την οπτικοποίηση τους, και τη δημιουργία πινάκων και διαγραμμάτων, έτσι ώστε να συγκεντρώνεται ολόκληρη η σχεδιαστική εμπειρία σε ένα και μόνο γραφικό περιβάλλον.

Το Friendship – Framework επιτρέπει τη σχεδίαση μέσα από τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας διαφόρων ειδών σημείων, καμπυλών και επιφανειών. Το πρόγραμμα, μάλιστα εισάγει, και ειδικές μορφές, πέραν των γνωστών (NURBS curves, lofted surfaces, Coons patch), όπως τις F-splines και τις Meta-surfaces. Οι τελευταίες θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα στη σχεδιάσή μας.

Meta-surfaces :

Οι Meta-surfaces είναι φορείς επιφανειών, που αναπτύχθηκαν για τη συλλογή πληροφοριών σε δύο κατευθύνσεις. Μπορούν να αποδώσουν σε καρτεσιανές συντεταγμένες κάθε σημείο της επιφάνειας για κάθε ζεύγος συντεταγμένων της επιφάνειας u και v . Είναι πιο ευέλικτες, από τις επιφάνειες Bezier ή τις B-spline, δεδομένου ότι δεν αντικατοπτρίζουν καμία συγκεκριμένη παράσταση. Η γεωμετρία της επιφάνειας που προκύπτει, μπορεί να τροποποιηθεί αποκλειστικά μέσω των δεδομένων εισόδου μιας curve engine (μηχανή παραγωγής οικογένειας καμπυλών). Αυτό συνεπάγεται, ότι δεν μπορεί να «πειραχθεί» απευθείας από το σχεδιαστή. Με αυτόν τον τρόπο η Meta-surface γίνεται το καταλληλότερο εργαλείο για την παραγωγή παραλλαγμένων μοντέλων της επιφάνειας και τη βελτιστοποίησή της.

Design engine :

Αυτά τα στοιχεία του προγράμματος περιλαμβάνουν σειρά από αλγορίθμους παραγωγής διαφοροποιημένων μορφών, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι από το Friendship για βελτιστοποιήσεις απλού ή πολλαπλών κριτηρίων (single – multi objective optimizations). Αναφέρουμε μερικούς : Sobol, Tsearch, NSGA-II, κλπ. Αρχικά επιλέγονται οι μεταβλητές της σχεδίασης που θα εμπλακούν στη δημιουργία παραλλαγών – βελτιστοποίηση. Στις περισσότερες μηχανές ζητείται να καθοριστεί το κατώτερο και το ανώτερο όριο του πεδίου τιμών, καθώς και η τρέχουσα τιμή. Στη συνέχεια, επιλέγονται τα κριτήρια αξιολόγησης, τα οποία είναι παράμετροι καθορισμένοι στη σχεδίαση και συμμετέχουν στη διαδικασία. Μετά το τρέξιμο, όλες αυτές οι ενδείξεις καταγράφονται σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα με την αντίστοιχη τιμή τους. Οι παράμετροι αξιολόγησης μπορούν να οριστούν ως στόχοι της βελτιστοποίησης και κατά τη διαδικασία να ελαχιστοποιηθούν.

10.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η ανάγκη βελτιστοποίησης του τμήματος του βολβού, οδήγησε, όπως προείπαμε, στην κατασκευή ενός παραμετρικού μοντέλου βολβού, το οποίο θα μπορεί να ελέγχεται από μια σειρά γεωμετρικών παραμέτρων, οι οποίες θα αλλάζουν τη μορφή του. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούμε ένα μοντέλο βολβού, από το οποίο παράγονται όσες μορφολογίες επιθυμούμε. Το εκάστοτε μοντέλο συντίθεται δια μέσου μιας επιλογής τιμών μέσα στο διακριτό εύρος των παραμέτρων, που έχουμε ορίσει. Η επιλογή αυτή γίνεται, όπως θα δούμε, με τη βοήθεια κάποιων αλγορίθμων. Η ανάγκη μείωσης της έντονης διαγωγής από την άλλη, οδήγησε στην κατασκευή ενός παραμετρικού μοντέλου σφήνας, το οποίο τοποθετούμε στην κάτω ακμή του καθρέπτη, καθορίζει σημαντικά το trim, ειδικά στις υψηλές ταχύτητες.

Οι παράμετροι, οι οποίες έχουμε επιλέξει να καθορίζουν τη γεωμετρία του βολβού, επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται ο καλύτερος και ακριβέστερος έλεγχος του τρισδιάστατου σχήματος και είναι οι εξής :

1. Bulb length : μήκος βολβού - από πρωραία κάθετο μέχρι την ακμή (tip)
2. Bulb low elevation at FP : z – συνιστώσα σημείου εκκίνησης του περιγράμματος του προφίλ του βολβού στην πρωραία κάθετο
3. Bulb low fullness : πληρότητα της επιφάνειας του προφίλ του βολβού από την ακμή και κάτω
4. Bulb low section fullness : πληρότητα των νομέων του βολβού από την ακμή και κάτω
5. Bulb top elevation at FP : z – συνιστώσα σημείου τερματισμού του περιγράμματος του προφίλ του βολβού στην πρωραία κάθετο
6. Bulb top fullness : πληρότητα της επιφάνειας του προφίλ του βολβού από την ακμή και πάνω
7. Bulb top section fullness : πληρότητα των νομέων του βολβού από την ακμή και πάνω
8. Bulb top tan at FP : γωνία εφαπτομένης που σχηματίζει η καμπύλη του προφίλ στον τερματισμό της στην πρωραία κάθετο

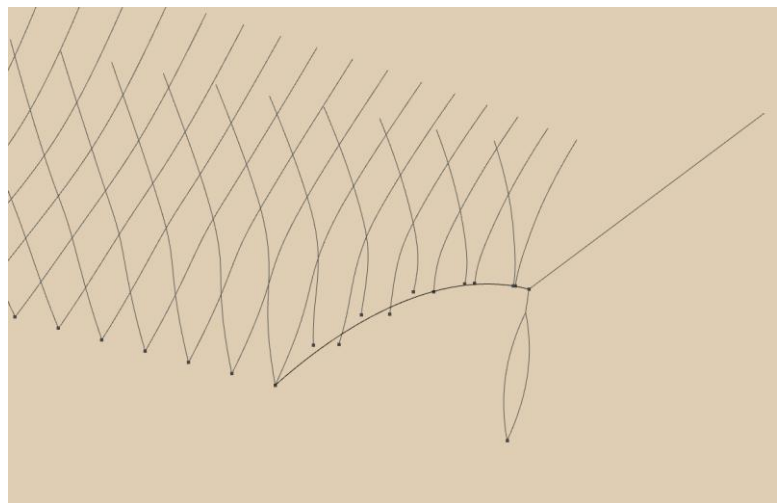
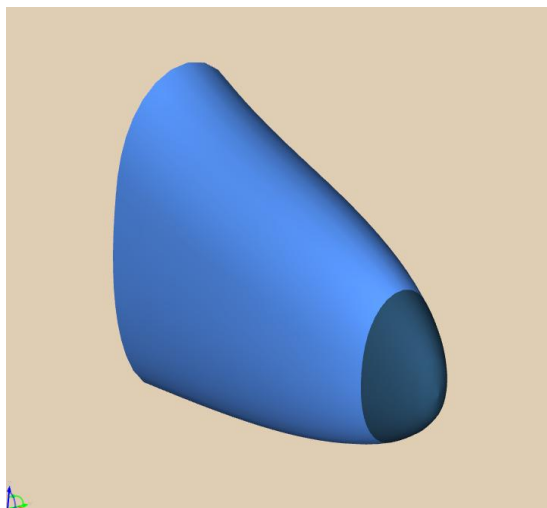
9. Half beam bulb at FP : πλάτος βολβού στην πρωραία κάθετο
10. Half beam elevation at FP : ύψος μέγιστου πλάτους του βολβού στην πρωραία κάθετο.
11. Half beam fullness : πληρότητα της επιφάνειας της προβολής του βολβού στο x-y επίπεδο
12. Tip elevation : z – συνιστώσα της ακμής του βολβού

Οι παράμετροι, οι οποίες επιλάξαμε να καθορίζουν τη γεωμετρία της σφήνας, αντίστοιχα, είναι :

1. x : μήκος προφίλ (βάση ορθογωνίου τριγώνου) της σφήνας
2. z : ύψος προφίλ (κάθετη ορθογωνίου τριγώνου) της σφήνας

Κατόπιν θα παρουσιαστεί συνοπτικά η κατασκευή της επιφάνειας του βολβού και των υπολοίπων τμημάτων της γάστρας.

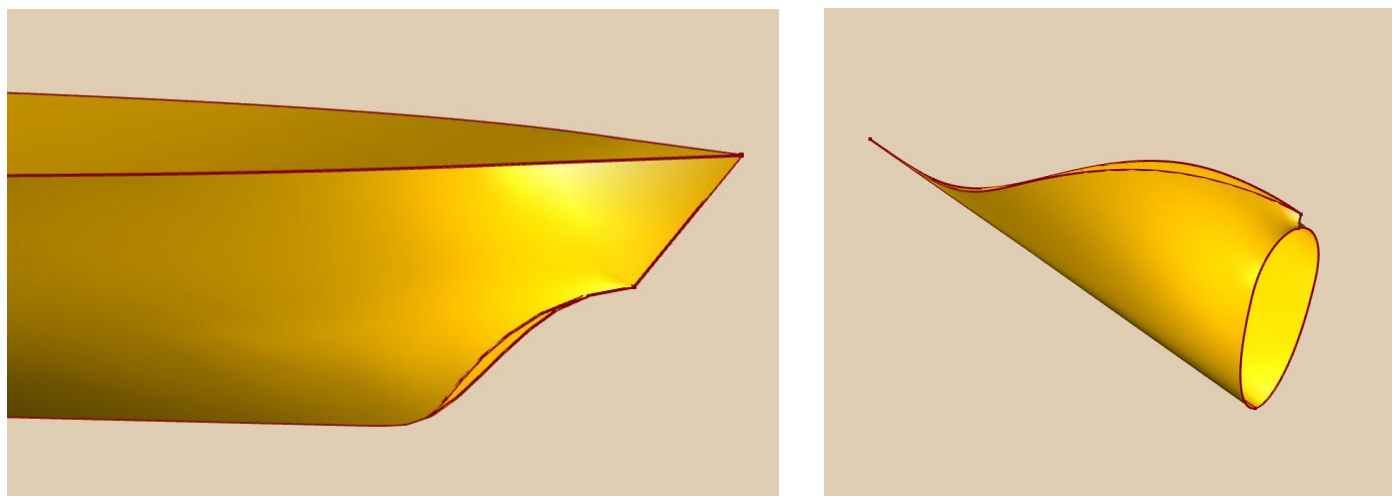
Η τελική επιφάνεια του βολβού είναι σύνθεση δύο επιφανειών τύπου Meta-surface (bulb1,bulb2), οι οποίες έχουν δημιουργηθεί με μια curve engine (“forBulb”). Η μετακίνηση της επιφάνειας στην πρωραία κάθετο γίνεται μέσω δύο αντίστοιχων Image-surface (“moved_bulb”1, “moved_bulb2”). Ως image transformation για την Image-surface δίνουμε μια συνάρτηση μετακίνησης F-translation (“toFp”) με $(Dx, Dy, Dz) \rightarrow (refer_section,0,0)$, όπου refer_section είναι μεταβλητή που δίνει την επιθυμητή μετακίνηση της επιφάνειας στον άξονα των x. Δίνοντας έτσι την τιμή 100, δημιουργούμε δύο πανομοιότυπες επιφάνειες στην πρωραία κάθετο.



Εικόνα 12. [Αριστερά] Παραμετρικός βολβός, με διαφορετικό χρώμα διακρίνονται οι δύο Meta-surfaces από τις οποίες αποτελείται. [Δεξιά] Πρωραίοι νομείς σταθερής γάστρας μετά την τομή με την cutting line (καμπύλη στην εικόνα)

Ακολουθώντας εισάγαμε τους νομείς της γάστρας, όπως ακριβώς στο Shipflow, χωρίς φυσικά να συμπεριλάβουμε αυτούς του βολβού, οι οποίοι θα αντικατασταθούν από τους καινούργιους, που θα περάσουν πάνω από τη νέα μεταβλητή μορφή. Η επιφάνεια της γάστρας (“lofting”) εδώ προκύπτει μέσω μιας B-spline surface, η οποία διέρχεται από τους νομείς και χωρίζεται σε main hull και stern, κατά τον ορισμό των ομάδων των νομέων στο Shipflow. Το πρόβλημα που συναντήσαμε εδώ, ήταν οι περιορισμοί που επέβαλε στη μορφή του βολβού, η καθορισμένη γεωμετρία του νομέα της F.P. Το αποτέλεσμα ήταν

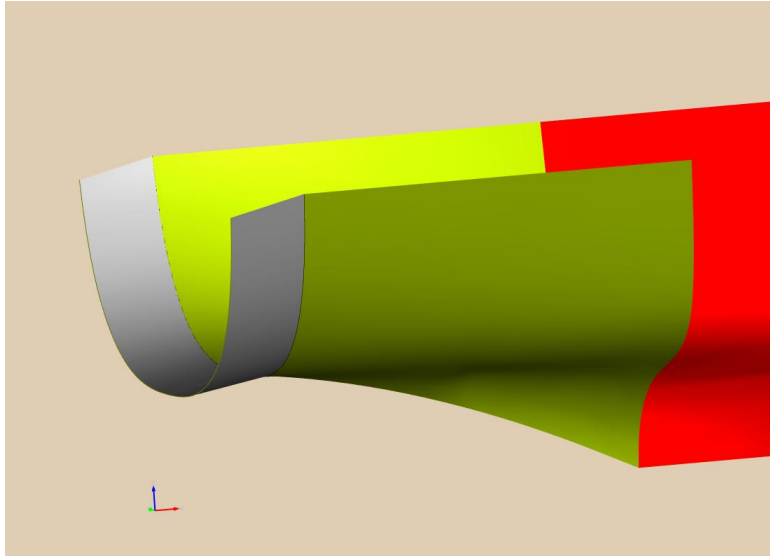
να έχουμε περιορισμένο εύρος ρεαλιστικών τμημάτων ένωσης γάστρας – βολβού. Η λύση τελικά δόθηκε εκτελώντας μια περικοπή των νομέων στο πρωραίο τμήμα της γάστρας κατά μήκος μιας καμπύλης (cutting line), ώστε να παρεμβληθεί μια επιφάνεια ένωσης (“fillet”) μεταξύ των δύο γεωμετριών.



Εικόνες 13. [Αριστερά] Τμήμα επιφανείας γάστρας “main_hull”, που διέρχεται από τους νομείς, τους οποίους διαμορφώσαμε για την προσθήκη του fillet. [Δεξιά] Επιφάνεια “fillet_surface”.

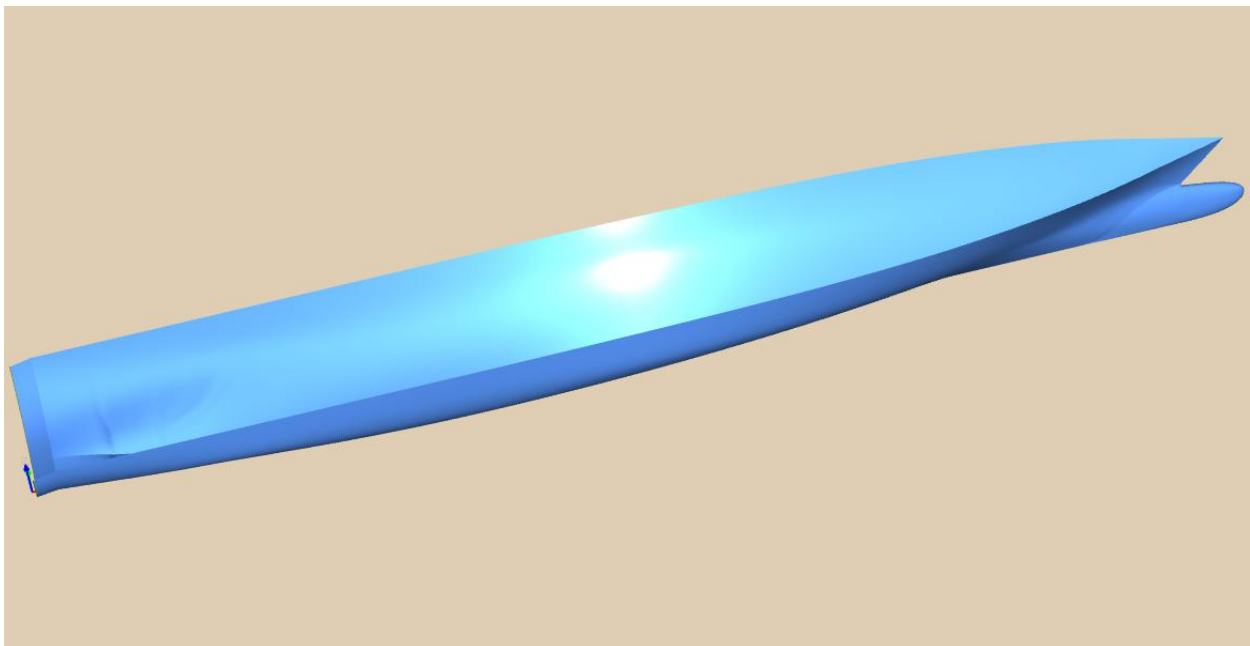
Έτσι δημιουργήσαμε μια επιπλέον παραμετρική επιφάνεια (“fillet_surface”), που σκοπό έχει να ενώνει τη σταθερή επιφάνεια της γάστρας με τον παραμετρικό βολβό, παρέχοντας μας την απαιτούμενη ευελιξία να αλλάζουμε τις παραμέτρους του δεύτερου κατά το δοκούν και πολύ πιο ελεύθερα από ότι πριν. Έτσι μπορούμε να δοκιμάσουμε βολβούς με αρκετά αυξημένο πλάτος (Half beam bulb at FP), σε σχέση με αυτόν που είχαμε σχεδιάσει και δοκιμάσει αρχικά στο Shipflow, καθώς η επιφάνεια ένωσης παρέχει τώρα πολύ πιο ομαλή μετάβαση από το ένα πλάτος στο άλλο. Η fillet_surface κατασκευάστηκε ως Lofted surface μεταξύ των καμπυλών moved_bulb1:edge 4 και fillet_image_curve. Η τελευταία αποτελεί Image-curve της καμπύλης lofting:edge1, η οποία είναι το άκρο της επιφάνειας της σταθερής γάστρας στο «επίμαχο» σημείο της ένωσης με το βολβό. Η παραμετρική αυτή επιφάνεια αλλάζει μόνο από το ένα της άκρο – αυτό που ενώνεται με το βολβό και άρα η μορφή της υπόκειται σε αλλαγές μόνο δια μέσου των 12 παραμέτρων του βολβού.

Τέλος στο πρυμναίο άκρο της γάστρας προσθέσαμε μια παραμετρική επιφάνεια σφήνας, η οποία δόθηκε μέσω μιας Ruled surface. Οι καμπύλες, από τις οποίες διέρχεται η Ruled surface, είναι η Surface curve “c1” και η Image curve “c2”. Η c1 αποτελεί την ακμή μιας Image surface της επιφάνειας της γάστρας stern, στην οποία ενώνεται η μπροστά ακμή της σφήνας. Η επιφάνεια stern δόθηκε μέσω image surface εδώ και όχι της ίδιας, ώστε να μπορεί να αυξομειώνεται ανάλογα με την παράμετρο x της σφήνας (το τελείωμα της μιάς να αποτελεί την αρχή της άλλης). Η c2 είναι Image curve της ακμής της αρχικής επιφάνειας stern στον καθρέπτη (“lofting:edge2reversed”) μετακινημένη κατακόρυφα προς τα κάτω σε ύψος dz που καθορίζεται από τη μεταβλητή z της σφήνας, μέσω συνάρτησης μεταφοράς Ftranslation “tt1” (Dx,Dy,Dz) → (0,0,z).



Εικόνα 14. Παραμετρική επιφάνεια σφήνας (γκρί) και ένωσή της με την Image surface (κίτρινο) της σταθερής επιφάνειας “lofting” (κόκκινο) της γάστρας

Το τελικό αποτέλεσμα προέρχεται από τη συνένωση των επιμέρους επιφανειών που περιγράψαμε. Η μορφή της γάστρας μας φαίνεται ακολούθως.



Εικόνα 15. Άποψη παραχθείσας τελικής γάστρας με διαμορφωμένο παραμετρικό – μεταβλητό βολβό και σφήνα στην περιοχή του καθρέπτη

10.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης περιλαμβάνει α) την επιλογή της σφήνας και β) την επιλογή του βολβού. Κριτήριο για την επιλογή α) θα αποτελέσει η μείωση της διαγωγής και η συνεπακόλουθη μείωση της αντίστασης, ενώ για την β) η μείωση αποκλειστικά της αντίστασης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αναμένουμε να είναι βέλτιστα σε μία εκ των δύο ταχυτήτων λειτουργίας του πλοίου. Επειδή, όμως, στη διάρκεια ζωής του θα πλέει και στις δύο, θα δοθούν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις, ανάλογα με τη βαρύτητα που θέλουμε να δώσουμε σε κάθε μια από τις δύο ταχύτητες. Η διαδικασία αυτή αφορά και στις δύο επιλογές μας, καθώς, στην περίπτωση της σφήνας, η επιλογή ενός μοντέλου που θα εμφανίζει την ελάχιστη διαγωγή στους 32 kn, οδηγεί σε μη επιθυμητή έμπρομη διαγωγή στους 16 kn, ενώ στην περίπτωση του βολβού, η επιλογή ενός μοντέλου που ελαχιστοποιεί την αντίσταση στους 16 kn, εμφανίζει μη βέλτιστα αποτελέσματα αντίστασης, σε σχέση με άλλους, στους 32 kn.

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε έχει ως εξής : Αρχικά θα επιλέξουμε, με έναν τυχαίο βολβό, τη σφήνα που συγκεντρώνει τα καλύτερα χαρακτηριστικά για τις δύο ταχύτητες. Κατόπιν, για δεδομένη σφήνα και διαγωγή, θα επιλέξουμε το βολβό που συγκεντρώνει τα καλύτερα χαρακτηριστικά για τις δύο ταχύτητες. Ο λόγος για την προτίμηση αυτής της σειράς, ήταν η ανεπιθύμητη ανάδυση βολβών πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, ιδιαίτερα εκείνων με αυξημένο μήκος, λόγω της έντονης διαγωγής του μοντέλου χωρίς σφήνα. Για να εκτιμήσουμε, λοιπόν, πλήρως τα ωφέλη της βελτιστοποίησης και να εκμεταλλευθούμε τα συμπεράσματα από όλο το εύρος των παραλλαγών, ακολουθούμε την προτεινόμενη σειρά.

Για να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τις διαφορετικές προτάσεις – επιλογές, θα εκτελέσουμε ένα τρέξιμο αρχικά σε μοντέλο αναφοράς χωρίς σφήνα και με τυπικό βολβό με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Μάλιστα για να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο τα αποτελέσματά μας, σκεφτήκαμε την εξής προαιρετική λύση. Μπορούμε να ερματίζουμε τις δεξαμενές του πλοίου κατάλληλα κάθε φορά, δηλαδή στους 16 kn να τοποθετείται έρμα στις πρυμναίες δεξαμενές, ενώ στους 32 kn στις πρωαίες, έτσι ώστε να προκύπτει ροπή αντίθετης κατεύθυνσης, που θα μειώνει την ένταση του φαινομένου κάθε φορά. Από το πρόγραμμα AVEVA Hydrostatics & Hydrodynamics υπολογίζουμε ότι ερματίζοντας τις δεξαμενές WB1, WB1 (P&S), WB2 αποκτάται έμπρομη διαγωγή 0,394 m. Αυτό δίνει γωνία διαγωγής :

$$\text{triman} = \frac{\text{trim}}{L_{BP}} = \frac{0,394}{100} = 0,226^\circ.$$

Αντίστοιχα ερματίζοντας τις πρωαίες δεξαμενές WB3, WB4, WB5, FPT αποκτάται έμπρομη διαγωγή 0,502 m, που μεταφράζεται σε γωνία διαγωγής :

$$\text{triman} = \frac{\text{trim}}{L_{BP}} = \frac{0,502}{100} = -0,2876^\circ.$$

Ο ερματισμός βελτιώνει πάντα ελαφρά τα αποτελέσματά μας, σε όλες τις περιπτώσεις για αυτό πραγματοποιείται και στο μοντέλο αναφοράς. Η νέα διαγωγή του πλοίου δίνεται στο Shipflow για να ληφθεί υπ' όψιν στους υπολογισμούς μέσα από την εντολή ipos. Έτσι σημειώνουμε :
Connections→config_16→xflow→ipos→trim = 0,226 και
Connections→config_32→xflow→ipos→trim = -0,288

Bulb Parameters	Value
bulb_Length	5
bulb_low elevation at Fp	0
bulb_low fullness	0,8
bulb low section fullness	0,8
bulb top elevation at Fp	3,8
bulb top fullness	0,75
bulb top section fullness	0,8
bulb top tan at Fp	100
half beam bulb at Fp	0,6
half beam elevation at Fp	1,85
half beam fullness	0,9
tip elevation	2

Πίνακας 84. Τυπικός βολβός μοντέλου αναφοράς

Τα αποτελέσματα έδωσαν :

Evaluations	
Name	Value
eval_TRIMAN_16	0,0360
eval_TRIMAN_32	1,6048
eval_CW_16	0,001695094
eval_CW_32	0,004085983

Πίνακας 85. Παράμετροι αξιολόγησης μοντέλου αναφοράς (με τυπικό βολβό – χωρίς σφήνα)

10.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΦΗΝΑΣ

Για να επιλέξουμε σφήνα, αρχικά εκτελέσαμε ένα τρέξιμο με τη μηχανή σχεδίασης Exhaustive Search, ώστε να περιορίσουμε κατά το δυνατό το πιθανό εύρος των παραμέτρων x, z . Αυτή η μηχανή σχεδίασης παράγει μια σειρά από ισαπέχοντα διαστήματα μεταξύ μιας καθορισμένης περιοχής (κάτω και άνω δοθέν όριο) μιας μεταβλητής σχεδίασης. Ως είσοδο για τη διαμέριση του διαστήματος παίρνει μια τιμή υποδιαίρεσης (subdivision). Στη συνέχεια, για κάθε μεταβλητή, παίρνει μια τιμή από κάθε διάστημα, που έχει δημιουργήσει και συνδιάζοντάς τη με μία κάθε φορά από τα διαστήματα των υπολοίπων μεταβλητών, παράγει το σύνολο των τιμών των παραμέτρων που καθορίζουν το μοντέλο.

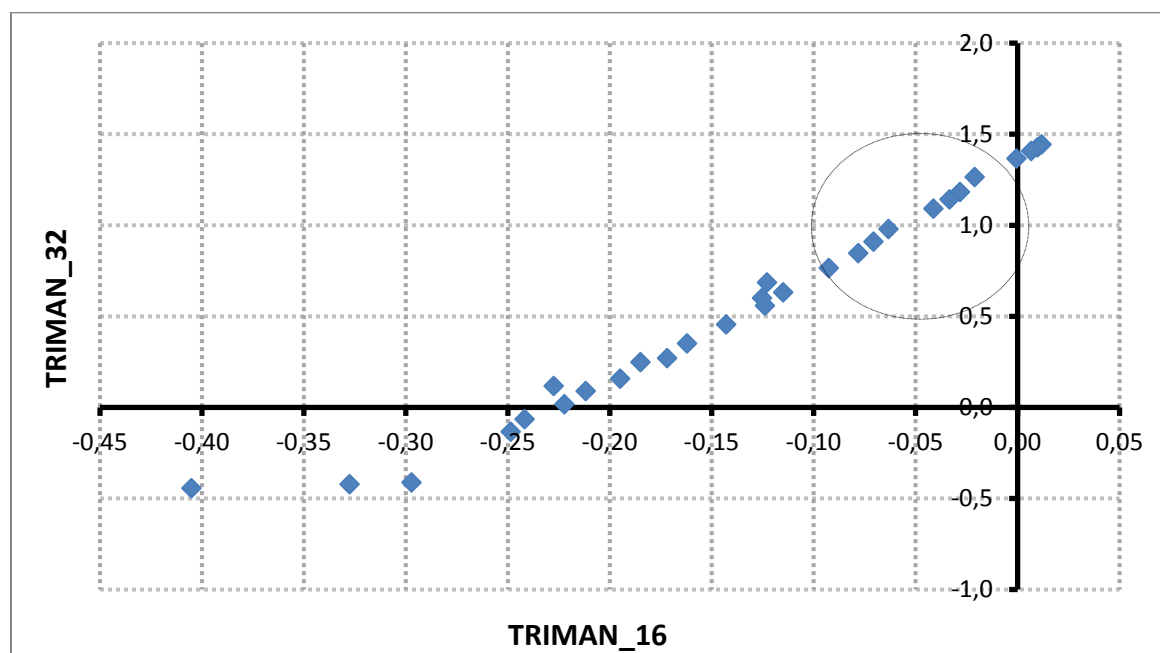
Όπως περιγράψαμε και προηγουμένως, ο βολβός δίνεται με σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι μόνες μεταβλητές της σχεδίασης είναι οι x, z . Το εύρος για τις δύο παραμέτρους και οι παράμετροι αξιολόγησης φαίνονται παρακάτω.

Design Variables		
Name	Lower Bound	Upper Bound
x	1	3
z	-1	-0,1

Evaluations		
Name	is objective	Περιγραφή
eval_CW_16	No	Συντελεστής αντίστασης στους 16 kn
eval_CW_32	No	Συντελεστής αντίστασης στους 32 kn
eval_TRIMAN_16	No	Γωνία διαγωγής [deg] στους 16 kn
eval_TRIMAN_32	No	Γωνία διαγωγής [deg] στους 32 kn

Πίνακας 86. Σχεδιαστικές παράμετροι, το εύρος τους και οι παράμετροι αξιολόγησης

Το εύρος των παραμέτρων υποδιαιρέθηκε καταλλήλως, ώστε να προκύψουν 36 διαφορετικά σχέδια σφηνών. Αρχικά επιλέξαμε ένα μικρό αριθμό μοντέλων προκειμένου να διαπιστώσουμε ποιά περιοχή του εύρους των παραμέτρων παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 103. Διάγραμμα Eval_TRIMAN_16 – Eval_TRIMAN_32 για την αρχική περιοχή διερεύνησης

Από το παραχθέν διάγραμμα των δύο κρίσιμων μεταβλητών αξιολόγησης παρατηρούμε ότι η γωνία διαγωγής στους 32 kn δύναται ακόμη και να μηδενιστεί τελείως. Στο σημείο αυτό, όμως, η γωνία διαγωγής στους 16 kn είναι περίπου $-0,25^\circ$, κάτι το οποίο είναι γενικά ανεπιθύμητο. Οι λύσεις που καθιστούν έμπρυσμη τη διαγωγή, από την άλλη στους 16 kn (πάνω δεξιά σημεία), αφορά μοντέλα με z κοντά στο $-0,1$ κάτι που σημαίνει ότι η σφήνα εκφυλλίζεται πλήρως και η τοποθέτησή της καθίσταται περιττή. Η λύση, συνεπώς, πρέπει να δοθεί με τρόπο τέτοιο, ώστε να μην έχουμε τα παραπάνω ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Αυτό που αποφασίσαμε είναι να επιλέξουμε μορφές σφηνάς, που δεν μηδενίζουν πλήρως την διαγωγή στους 32 kn, αλλά την αφήνουν κοντά στο $0,7^\circ - 1,2^\circ$ και στους 16 kn παρουσιάζουν διαγωγή από $-0,1^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$ σχεδόν μηδενική δηλαδή. Τα σημεία αυτά θα βρίσκονται μέσα

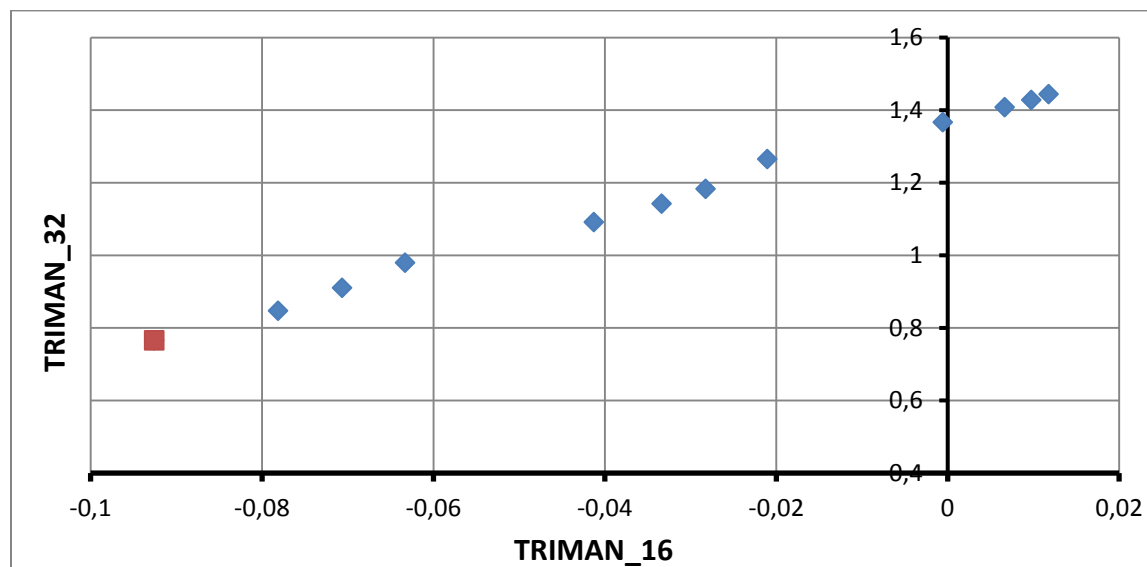
στο ελλειψοειδές που έχουμε σημειώσει. Τα σημεία που περικυκλώσαμε από την παρούσα διερεύνηση, έχουν παραμέτρους x, z σε ένα εύρος $\{[x],[z]\} \rightarrow \{[2 \sim 2,5], [-0,5 \sim -0,4]\}$. Το εύρος αυτό θα αποτελέσει και το νέο πεδίο διερεύνησης στο επόμενο στάδιο.

Έτσι επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με τα νέα δεδομένα. Το εύρος για τις δύο παραμέτρους φαίνεται παρακάτω. Οι παράμετροι αξιολόγησης παραμένουν, φυσικά, ίδιες. Ως μηχανή σχεδίασης επιλέγεται ξανά η Exhaustive Search.

Design Variables		
Name	Lower Bound	Upper Bound
x	2	2,5
z	-0,5	-0,4

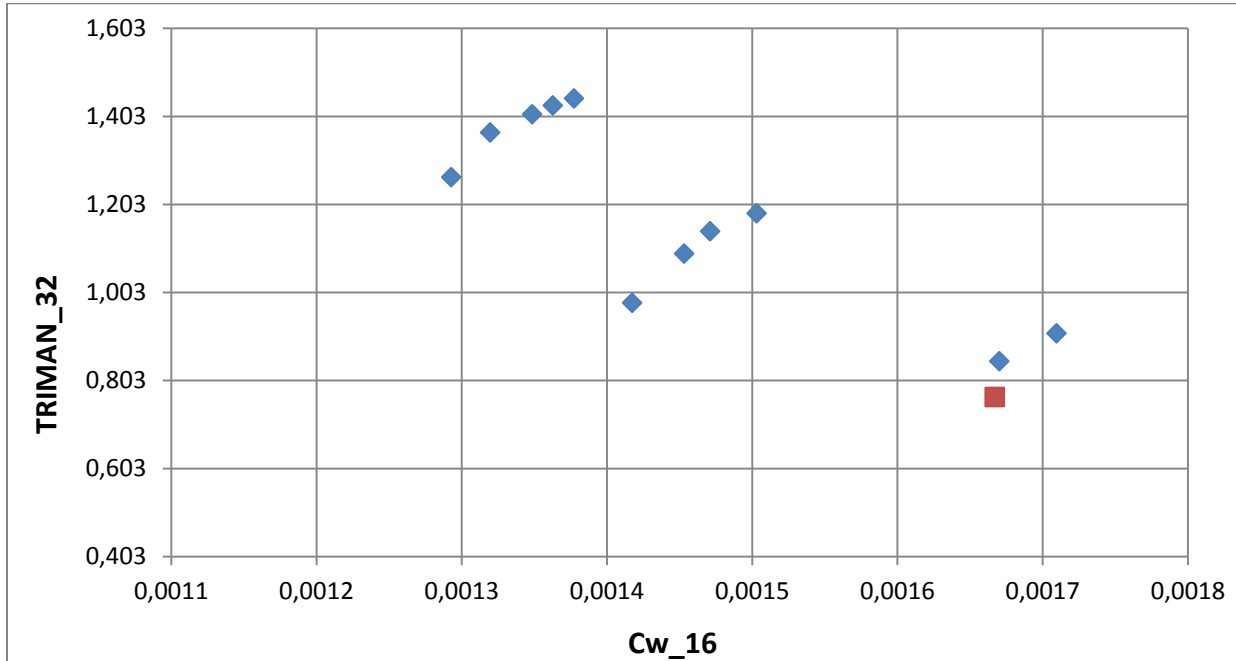
Πίνακας 87. Σχεδιαστικές παράμετροι και το νέο τους εύρος

Το εύρος των παραμέτρων υποδιαιρέθηκε καταλλήλως, ώστε να προκύψουν 49 διαφορετικά σχέδια σφηνών στη νέα εντοπισμένη περιοχή διερεύνησης. Από το διάγραμμα που προκύπτει, επιλέγουμε την τιμή που φαίνεται στο σχήμα, η οποία συμφωνεί με το αρχικό μας σκεπτικό η γωνία διαγωγής στους 32 kn να μειωθεί περί τις $0,7^\circ - 1,2^\circ$, ενώ η διαγωγή στους 16 kn να είναι σχεδόν μηδενική. Επιλέξαμε να αναζητήσουμε τη βέλτιστη λύση μέσα στα πλαίσια $-0,1 \leq \text{TRIMAN}_{16}$, το οποίο ήταν ένα τμήμα του συνόλου των αποτελεσμάτων που πήραμε και παρουσιάζεται από κάτω.



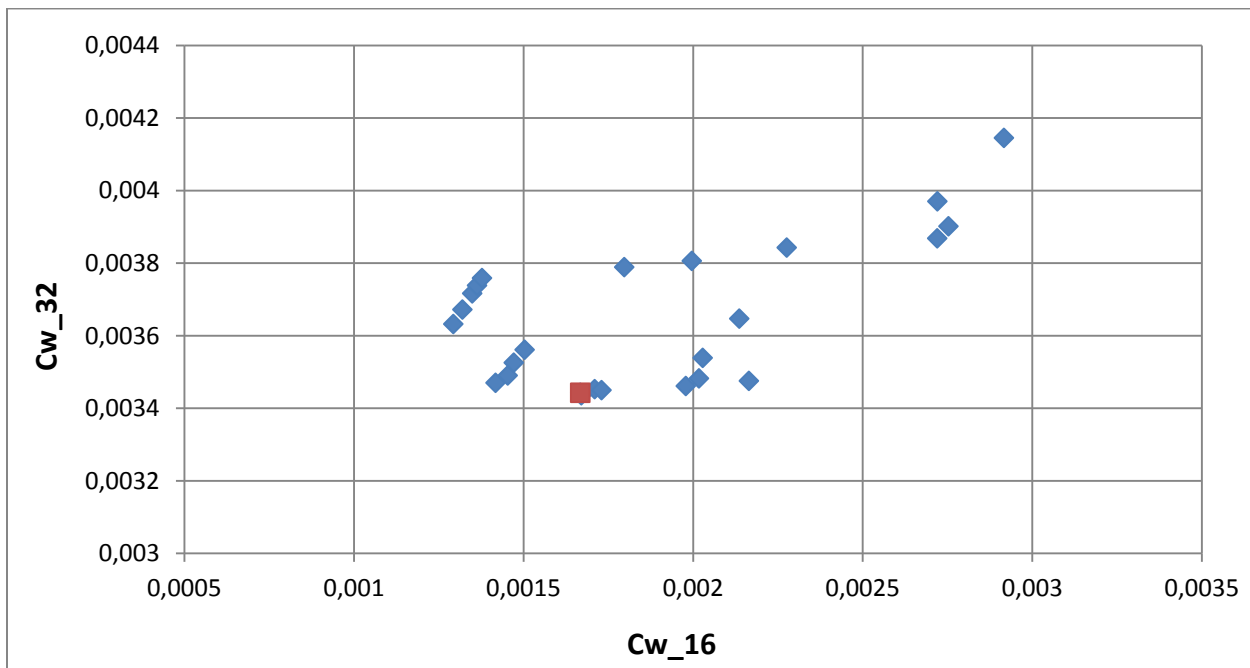
Σχήμα 104. Διάγραμμα $\text{TRIMAN}_{16} - \text{TRIMAN}_{32}$ και επιλεγμένη σφήνα για την εντοπισμένη περιοχή διερεύνησης

Προκειμένου να αιτιολογήσουμε την παραπάνω επιλογή μας (αφού προηγούνται άλλες επτά με μικρότερη τιμή TRIMAN_{16} στην επιθυμητή περιοχή) αρκεί να δούμε το επόμενο διάγραμμα $Cw_{16} - \text{TRIMAN}_{32}$. Η απαίτηση για όσο το δυνατό μικρότερη γωνία διαγωγής στους 32 kn ($\text{TRIMAN}_{32} \leq 0,9$) και αντίσταση όσο το δυνατό μικρότερη (συγκρίσιμη με εκείνη του μοντέλου αναφοράς – χωρίς σφήνα), μας αφήνει μοναδική επιλογή αυτήν στην οποία καταλήξαμε.



Σχήμα 105. Διάγραμμα Cw_16 – TRIMAN_32 και η επιλεγμένη σφήνα στην επιθυμητή περιοχή

Τέλος, παραθέτουμε το διάγραμμα Cw_16 – Cw_32 για να δείξουμε ότι το σημείο που επιλέξαμε έχει και μια από τις χαμηλότερες τιμές αντίστασης στους 32 kn.



Σχήμα 106. Διάγραμμα Cw_16 – Cw_32 και επιλεγμένη σφήνα

Το σημείο που επιλέξαμε είναι μια σφήνα με τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία αξιολόγησης :

ExhaustiveSearch_15_des 0015			
Design Variables			
Name	Lower Bound	Value	Upper Bound
x	2	1,8	2,5
z	-0,5	-0,46	-0,4
Evaluations			
Name	Value		
eval_TRIMAN_16	-0,0926		
eval_TRIMAN_32	0,7657		
eval_CW_16	0,001667016		
eval_CW_32	0,003452881		

Πίνακας 88. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά μοντέλου σφήνας des0015 και παράμετροι αξιολόγησης

Ακολουθεί η σύγκριση μεταξύ του μοντέλου με σφήνα και τυπικό βολβό και του μοντέλου αναφοράς.

$$\left. \begin{array}{l} \text{triman}_{32_{\text{without wedge}}} = 1,6048^\circ \\ \text{triman}_{32_{\text{with wedge}}} = 0,77^\circ \end{array} \right\} \rightarrow 52,3\% \downarrow \text{μείωση}$$

$$\left. \begin{array}{l} Cw_{16_{\text{without wedge}}} = 0,001695094 \\ Cw_{16_{\text{with wedge}}} = 0,001667016 \end{array} \right\} \rightarrow 1,7\% \downarrow \text{μείωση}$$

$$\left. \begin{array}{l} Cw_{32_{\text{without wedge}}} = 0,004085983 \\ Cw_{32_{\text{with wedge}}} = 0,00345881 \end{array} \right\} \rightarrow 15,3\% \downarrow \text{μείωση}$$

Παρατηρούμε, ότι η τοποθέτηση σφήνας επιφέρει μείωση της αντίστασης στην ταχύτητα μάχης (άμεση συνεπαγωγή της μείωσης της διαγωγής), ενώ στην ταχύτητα υπηρεσίας, παρατηρείται πολύ μικρότερη μείωση της τιμής της. Η γωνία διαγωγής, φυσικά, μειώνεται σημαντικά (σχεδόν στο μισό) αφού αυτός είναι και ο σκοπός της τοποθέτησής της.

Επομένως, το κατά πόσο η πρόταση της τοποθέτησης σφήνας αποτελεί παράγοντα ουσιαστικής οικονομίας συνολικά στον κύκλο ζωής του πολεμικού πλοίου, εξαρτάται αποκλειστικά από την κατανομή των ταχυτήτων στη διάρκεια πλεύσης. Εάν λοιπόν υποθέσουμε ότι το πλοίο σε συντριπτικό ποσοστό πλέει σε ταχύτητα υπηρεσίας, η τοποθέτηση σφήνας δεν θα αποδώσει τόσο σημαντικά οφέλη. Εάν όμως η διάρκεια πλεύσης στην ταχύτητα μάχης, αποτελεί σημαντικό ποσοστό της διάρκειας πλεύσης στη συνολική ζωή του πλοίου, τότε η τοποθέτησή της αποφέρει σημαντικά οικονομικά ωφέλη και συνιστάται ανεπιφύλακτα. Η βελτίωση της διαγωγής και άρα των χαρακτηριστικών της πλεύσης της κορβέτας, φυσικά, δεν υπόκειται στα πλαίσια του παραπάνω οικονομοτεχνικού συλλογισμού και άρα αποτελεί σημαντικό αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα σε κάθε περίπτωση.

10.4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΟΛΒΟΥ

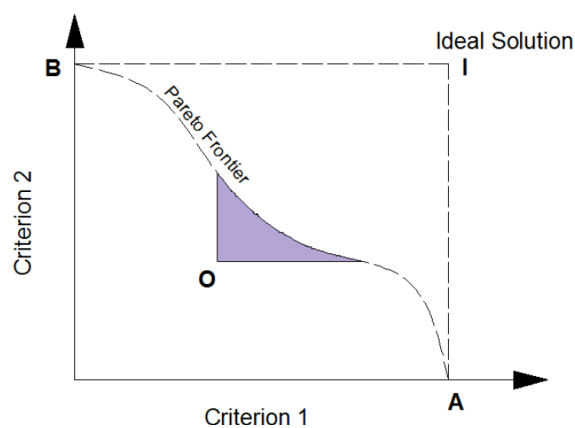
Έχοντας επιλέξει τη σφήνα με τα χαρακτηριστικά $x = 1,8 \text{ m}$, $z = -0,46 \text{ m}$, η μόνη μεταβλητή γεωμετρία πάνω στη γάστρα είναι ο βολβός. Η διερεύνηση για την επιλογή του βέλτιστου βολβού γίνεται στα παρακάτω διαστήματα των παραμέτρων. Οι παράμετροι αξιολόγησης παραμένουν οι γνωστές τέσσερις : eval_CW_16, eval_CW_32, eval_TRIMAN_16, eval_TRIMAN_32

Bulb Parameters	Lower Bound	Upper Bound
bulb_Length	4	6,5
bulb_low elevation at Fp	0	0,2
bulb_low fullness	0,75	0,85
bulb low section fullness	0,65	0,9
bulb top elevation at Fp	3,7	3,9
bulb top fullness	0,7	0,85
bulb top section fullness	0,65	0,9
bulb top tan at Fp	90	115
half beam bulb at Fp	0,38	0,8
half beam elevation at Fp	1	2,5
half beam fullness	0,8	1
tip elevation	1,7	2,5

Πίνακας 89. Όρια παραμέτρων περιγραφής του βολβού

Η μηχανή αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm). Ο διάσημος αυτός καινοτόμος πολυ – κριτηριακός αλγόριθμος αναπτύχθηκε από τον K. Deb στο εργαστήριο γενετικών αλγορίθμων του πανεπιστημίου Kanpur. Λαμβάνει ως εισόδους για τη βελτιστοποίηση τον αριθμό των γενεών (generation number) και το μέγεθος του πληθυσμού (population size). Τα αποδοτικότερα σχέδια επαναλαμβάνονται σταδιακά από γενιά σε γενιά μέσω επιλογής. Με την NSGA II παράγαμε 4 γενές 44^{ov} μοντέλων (δηλ. συνολικά 176 μοντέλα βολβών).

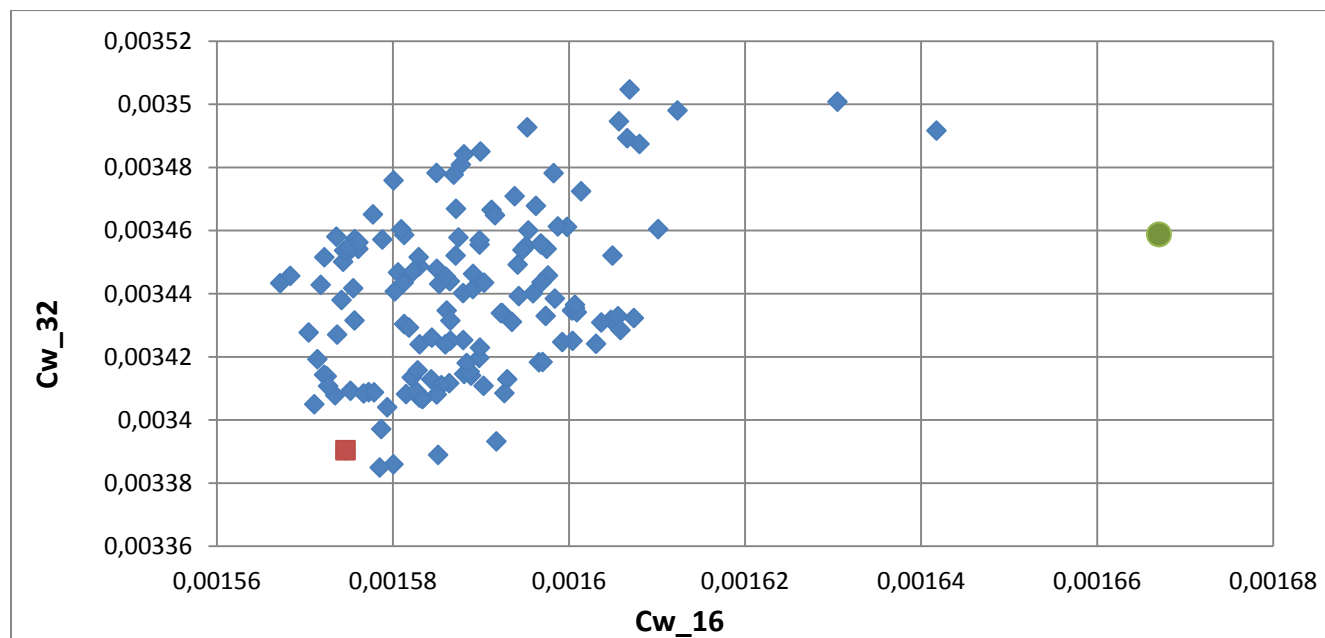
Ως στόχοι της βελτιστοποίησης (optimization objectives) θα τεθούν τα δύο κριτήρια αξιολόγησης που μας ενδιαφέρουν Cw_16, Cw_32. Η επιλογή του βολβού θα γίνει με βάση την ελαχιστοποίηση της αντίστασης στους 16 kn και τους 32 kn (dual – objective optimization). Η επιλογή, όμως, ενός βολβού, βέλτιστου στη μία ταχύτητα, δεν είναι και η καλύτερη δυνατή επιλογή για την άλλη (βλ.σχήμα 108). Συνεπώς, αντιλαμβανόμαστε ότι τα δύο αυτά κριτήρια είναι αντικρουόμενα και η επιλογή μας θα στηριχθεί στην εύρεση ενός βολβού που να βρίσκεται πάνω στο όριο Pareto (βλ. σχήμα 107). Με τον όρο αυτό εννοούμε την καμπύλη εκείνη, που περιλαμβάνει όλα τα σημεία ενδιαφέροντος



Σχήμα 107. Σύνορο βέλτιστων λύσεων Pareto

σε ένα διάγραμμα, όπως το σχήμα 107, καθώς κανένα άλλο σημείο πάνω στο διάγραμμα, εκτός της καμπύλης, δεν μπορεί παρά να είναι «χειρότερο» σε ένα από τα δύο κριτήρια, ή ανεύφικτο. Ο μελετητής, έχοντας στα χέρια του διαγράμματα που οπτικοποιούν το παραπάνω όριο, μπορεί εύκολα να ξεχωρίσει ένα σύνολο από πιθανές βέλτιστες λύσεις και να επιλέξει μια σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Ένα τέτοιο διάγραμμα είναι και το επόμενο, στο οποίο απεικονίζουμε όλες τις λύσεις – βολβούς, που προέκυψαν από τη μηχανή σχεδίασης NSGA II, σύμφωνα με τις τιμές τους στα δύο κριτήρια αξιολόγησης Cw_16, Cw_32.

Ο επιλεγείς βολβός είναι το des0049 και σημειώνεται με κόκκινο στο σχήμα που κολουθεί. Η αντίσταση γάστρας με τυπικό βολβό και σφήνα, που υπολογίσαμε προηγουμένως, σημειώνεται με πράσινο. Να σημειωθεί ότι η επιλογή του εύρους των παραμέτρων του βολβού πραγματοποιήθηκε κι αυτή σε δύο στάδια, όπως κάναμε στη σφήνα. Εδώ παρουσιάζουμε το τελικό, για αυτό και το σμήνος απέχει τόσο από το σχέδιο εκκίνησης της βελτιστοποίησης.



Σχήμα 108. Διάγραμμα κριτηρίων βελτιστοποίησης Cw_16 – Cw_32, Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας βελτιστοποίησης (από πράσινο σημείο σε κόκκινο)

Τα χαρακτηριστικά που συγκεντρώνει ο βολβός, καθώς και οι τιμές των παραμέτρων αξιολόγησης φαίνονται ακολούθως.

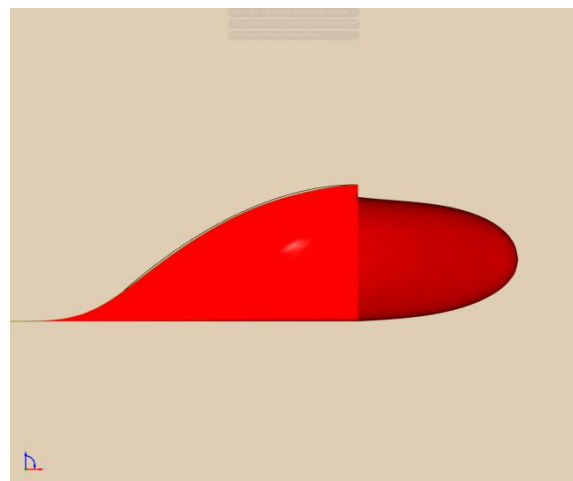
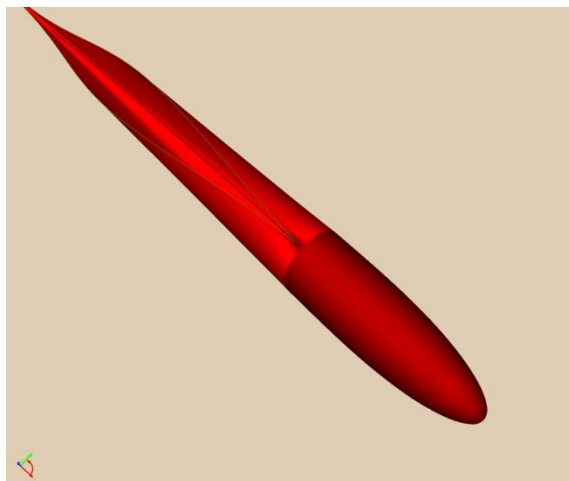
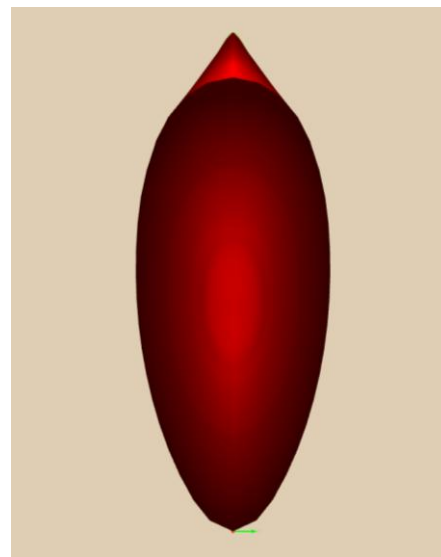
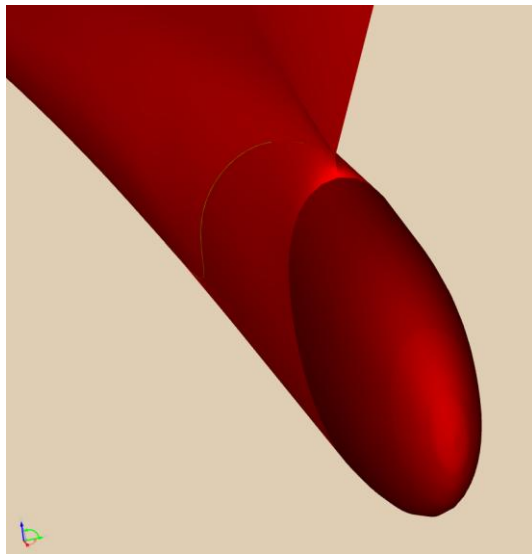
Bulb Parameters	Value
bulb_Length	4,8006
bulb_low fullness	0,7921
bulb low section fullness	0,7674
bulb top elevation at Fp	3,7295
bulb top fullness	0,7961

Evaluations	
Name	Value
eval_CW_16	0,001574603
eval_CW_32	0,003390443
eval_TRIMAN_16	0,86156319
eval_TRIMAN_32	0,86156319

bulb top section fullness	0,8210
bulb top tan at Fp	96,6420
half beam bulb at Fp	0,7636
half beam elevation at Fp	2,2908
half beam fullness	0,8990
tip elevation	1,8489

$$\left. \begin{array}{l} Cw_{16_{\text{reference bulb}}} = 0,001667016 \\ Cw_{16_{\text{optimized bulb}}} = 0,001574603 \end{array} \right\} \rightarrow 5,54\% \downarrow \text{μείωση}$$

$$\left. \begin{array}{l} Cw_{32_{\text{reference bulb}}} = 0,00345881 \\ Cw_{32_{\text{optimized bulb}}} = 0,003390443 \end{array} \right\} \rightarrow 1,98\% \downarrow \text{μείωση}$$



Εικόνα 16. Μορφή βελτιστοποιημένου τελικού βολβού

Βιβλιογραφία

- [3] R. Sharma και O. P. Sha, «Hydrodynamic design of integrated bulbous bow / Sonar dome for naval ships».
- [18] Σ.Τσαγγάρης, Μηχανική των Ρευστών, Αθήνα: Συμεών, 2005.
- [19] Γ.Μπεργελές, Υπολογιστική Ρευστομηχανική, Αθήνα: Συμεών, 2006.
- [21] Friendship Systems, «Friendship - Framework User Guide,» March, 2012.
- [24] E. Thornhill, D.Cusanelli, D. Cumming «Stern Flap Resistance Reduction for Displacement Hulls,» October, 2008.
- [25] Cumming, D. Pallard, R. Thornhill, E. Hally, D. Dervin, M., «Hydrodynamic design of a stern flap appendage for the HALIFAX Class».
- [26] G. L. Koutroukis, «Parametric Design and Multi-objective Optimization-Study of an Ellipsoidal Containership,» Athens, January, 2012.
- [27] Δ. Μακρής, «Δυνατότητες της παραμετρικής μοντελοποίησης για τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης πλοίων,» Αθήνα, 2012.
- [29] L.Nikolopoulos, «A Holistic Methodology for the Optimization of Tanker Design and Operation and its Applications,» Athens, July, 2012.
- [30] G. Karafiath, S. Fisher, «The Effect of Stern Wedges on Ship Powering Performance,» May, 1987.
- [41] A.Kracht, «Design of Bulbous Bows,» SNAME, 1978.
- [43] V. Bertram, «Practical Ship Hydrodynamics,» 2000.
- [44] M. Ventura, «Bulbous Bow Design and Construction».
- [45] V.Schneekluth, H. Bertram, «Ship Design for Efficiency and Economy, 1987».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

«...meanwhile the boat was still booming through the mist, the waves curling and hissing around us like the erected crests of enraged serpents.»

Herman Melville
«*Moby Dick*, 1851»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Το πλοίο είναι μια κατασκευή, η οποία λειτουργεί σε ένα περιβάλλον, το οποίο παρουσιάζει ποικίλες και έντονες αλλαγές και διακυμάνσεις ανάλογα με τον καιρό και τον κυματισμό. Σε συνδυασμό τώρα και με τον επιχειρησιακό σχεδιασμό του σκάφους, δηλαδή με την ταχύτητα με την οποία πρέπει να πλέει, την μεταφορική ικανότητα, την επιχειρησιακή σταθερότητα του κυρίου καταστρώματος αν αυτό προορίζεται για την μεταφορά οπλικών συστημάτων και εξοπλισμού που πρέπει να χρησιμοποιείται, την σωστή και εύρυθμη λειτουργία πληρωμάτων και επιβατών, τότε διαφαίνεται η δυσκολία σχεδιασμού ενός πλοίου, πόσο μάλλον πολεμικού πλοίου, το οποίο πρέπει να ανταποκριθεί υπό οποιεσδήποτε συνθήκες δύναται να συναντήσει. Καθίσταται αναγκαία η μελέτη του σκάφους στο φυσικό του περιβάλλον, δηλαδή στην θάλασσα στην οποία θα πλέει και μάλιστα την μελέτη και μοντελοποίηση των καταστάσεων θάλασσας, κυματισμού, καιρού της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής στην οποία θα επιχειρεί. Σε ένα πολεμικό σκάφος μάλιστα το οποίο πρέπει να έχει και το πλεονέκτημα έναντι του εχθρικού σκάφους, η θάλασσα πρέπει να αποτελεί ένα προβλέψιμο και μοντελοποιημένο παράγοντα, όσο αυτό είναι δυνατό φυσικά. Η επιστημονική περιοχή η οποία ασχολείται με την πρόβλεψη και την μοντελοποίηση αυτών των φαινομένων είναι η Υδροδυναμική και Δυναμική Θαλασσιών Συστημάτων. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει την Δυναμική και Υδροδυναμική επιπλέοντων σωμάτων, την Ευστάθεια και Πηδαλιουχία Πλοίου, την Δυναμική συμπεριφορά σε θαλάσσιους κυματισμούς. Ένας σημαντικός παράγοντας κατά τη μελέτη και σχεδίαση ενός πλοίου είναι και η συμπεριφορά του πλοίου στο θαλάσσιο περιβάλλον και ειδικότερα οι κινήσεις του σε θαλάσσιους κυματισμούς. Στην μελέτη αυτή θεωρούμε το πλοίο ως ένα συμπαγές επιπλέον σώμα του οποίου οι κινήσεις μπορούν να μοντελοποιηθούν, με την χρήση ενός αδρανειακού συστήματος, ακίνητου ως προς την γη, ενός κινούμενου συστήματος το οποίο κινείται με την μέση ταχύτητα του πλοίου και ενός σωματοπαγούς, το οποίο παρακολουθεί τις κινήσεις του πλοίου και είναι σταθερά συνδεδεμένο με αυτό. Η απόκριση του πλοίου σε θαλάσσιο περιβάλλον, μπορεί να μοντελοποιηθεί με τις κινήσεις σε έξι βαθμούς ελευθερίας, και τις αντίστοιχες ταχύτητες και επιταχύνσεις που προκύπτουν από τις πρώτες και δεύτερες παράγωγους των κινήσεων. Οι έξι βαθμοί ελευθερίας είναι :

- Διαμήκης οριζόντια ταλάντωση (surge)
- Εγκάρσια οριζόντια ταλάντωση (sway)
- Κατακόρυφη ταλάντωση (heave)
- Διατοιχισμός (roll)
- Προνευτασμός η πρόνευση (pitch)
- Στροφική οριζόντια ταλάντωση (yaw)

Αυτές οι έξι κινήσεις μπορούν να περιγράψουν πλήρως τις κινήσεις του πλοίου σε θαλάσσιο περιβάλλον και αποτελούν υδροδυναμικές αποκρίσεις του πλοίου, οι οποίες προκαλούνται από έναν εξωτερικό

διεγέρτη, ο οποίος είναι ο κυματισμός της θάλασσας. Οι ταχύτητες και οι επιταχύνσεις αυτών των κινήσεων αποτελούν και αυτές υδροδυναμικές αποκρίσεις που μαζί με τις παραπάνω κινήσεις περιγράφουν το πρόβλημα συμπεριφοράς του πλοίου.

Η έρευνα για τη συμπεριφορά ενός πλοίου σε κυματισμό (seakeeping) και οι επιπτώσεις της στο σχεδιασμό του ήταν από το παρελθόν ζήτημα, που παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε ειδικούς τύπους πλοίων (όπως το πολεμικά πλοία) και σε υπεράκτιες πλωτές κατασκευές. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματώνεται αυτή η έρευνα έχει αλλάξει ριζικά τα τελευταία χρόνια, καθώς σήμερα έχουν επικρατήσει αριθμητικές και πειραματικές μελέτες seakeeping. Οι μελέτες αυτές οδηγούν σε εκτιμήσεις σχετικά με την άνεση των επιβατών σε διάφορες καταστάσεις θάλασσας, αλλά και σε προβλέψεις των κινήσεων των πλοίων και των φορτίων σε ακραίες συνθήκες θαλασσοταραχής, όπως είναι απαραίτητο για την αξιολόγηση της ασφάλειας του πλοίου. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις επί του σχεδιασμού του πλοίου (ανάπτυξη μορφής γάστρας, ιδίως σχετικά με τη διαμόρφωση της ισάλου γραμμής σχεδίασης και της μορφής των νομέων στο προωραίο τμήμα της γάστρας πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια, καθώς και εν μέρει από την κατανομή βαρών), αλλά πάνω από όλα επί της ασφαλούς λειτουργίας του πλοίου σε διάφορες καταστάσεις θάλασσας (λειτουργικότητα, επιχειρησιακή ικανότητα).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι κύριες διαστάσεις του πλοίου και η μορφή της γάστρας (ιδιαίτερα το υποθαλάσσιο μέρος) καθορίζεται από άλλες παραμέτρους σχεδιασμού, αυτό που παραμένει ζητούμενο για το σχεδιαστή να, όσον αφορά τις σχεδιαστικές παραμέτρους για τη βελτίωση της συμπεριφοράς seakeeping του πλοίου είναι πολύ μικρή. Για να αποκτήσουμε μια βασική εικόνα για τις ιδιότητες seakeeping του πλοίου πρέπει αρχικά να μελατήσουμε τις φυσικές περιόδους ταλάντωσης του πλοίου στις κύριες κινήσεις που περιγράψαμε. Μεταξύ των έξι βαθμών ελευθερίας ενός πλοίου που κινείται υπό την επίδραση θαλάσσιου κυματισμού, οι τρεις πιο σημαντικοί είναι : η κατακόρυφη ταλάντωση (heave), ο προνευτασμός (pitch) και ο διατοιχισμός (roll). Οι φυσικές περίοδοι αυτών των τριών κινήσεων μπορούν να γραφούν σε μια πρώτη προσέγγιση (αμελώντας τις επιδράσεις απόσβεσης) :

$$T_z = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\rho \nabla + A_{33}}{\rho g A_w}}, \quad T_\theta = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\rho \nabla k_{yy}^2 + A_{55}}{\rho g \nabla GM_L}}, \quad T_\varphi = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\rho \nabla k_{xx}^2 + A_{44}}{\rho g \nabla GM}}, \quad [13]$$

,όπου ρ η πυκνότητα του νερού, ∇ το εκτόπισμα, A_{ii} η υδροδυναμική μάζα του σώματος για κάθε είδος κίνησης ($i=3$ για κατακόρυφη ταλάντωση, $i=4$ για διατοιχισμό, $i=5$ για προνευτασμό), g η επιτάχυνση της βαρύτητας, A_w η ίσαλος επιφάνεια, k_{yy} η ακτίνα αδρανείας της μάζας του πλοίου ως προς εγκάρσιο άξονα, GM_L το διάμηκες μετακεντρικό ύψος, k_{xx} η ακτίνα αδρανείας της μάζας του πλοίου ως προς διαμήκη άξονα και GM το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος. Ωστόσο, ο προσδιορισμός των υδροδυναμικών μαζών μπορεί να γίνει ευφηκτός μόνο με τη χρήση κατάλληλων θεωρητικών μεθόδων και υπολογιστικών προγραμμάτων (strip theory, 3-D panel methods). Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, λοιπόν, θα επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε τις ιδιοπεριόδους ταλάντωσης του πλοίου μας κάνοντας χρήση των εξής απλουστευμένων τύπων :

A. Ιδιοπερίοδοι (rough formulas, [Deltamarin, 1999])

$$T_z \approx 8,9 \sqrt{\frac{\nabla}{A_w g}}, \quad T_\theta \approx 2,2 \frac{L}{\sqrt{gGM_L}}, \quad T_\phi \approx 2,4 \frac{B}{\sqrt{gGM}}$$

Έτσι έχουμε :

$$T_z \approx 8,9 \cdot \sqrt{\frac{\nabla}{A_w g}} = 8,9 \cdot \sqrt{\frac{2743,283}{1112,49 \cdot 9,81}} = 4,462 \text{ sec}$$

$$T_\theta \approx 2,2 \cdot \frac{L}{\sqrt{gGM_L}} = 2,2 \cdot \frac{100}{\sqrt{9,81 \cdot 233,51}} = 4,596 \text{ sec}$$

$$T_\phi \approx 2,4 \cdot \frac{B}{\sqrt{gGM}} = 2,4 \cdot \frac{14,2}{\sqrt{9,81 \cdot 1,96}} = 7,772 \text{ sec}$$

B. Ιδιοπερίοδοι (formulas taken from “Parametric Design”, Michael Parsons, [14])

$$T_z = 2,007 \cdot \sqrt{(T \cdot C_B \cdot (B / 3 \cdot T) + 1,2) / C_{WP}} = 4,957 \text{ s}$$

$$T_\theta = 2,007 \cdot k_{22} / \sqrt{GM_L} = 3,2835 \text{ s}$$

k_{22} : pitch radius of gyration

$k_{22} = 0,25 \cdot L$ (Από υπολογισμούς στο AVEVA) ,ή εναλλακτικά

$$T_\theta = 1,776 \cdot C_{WP}^{-1} \cdot \sqrt{T \cdot C_B \cdot (0,6 + 0,36 \cdot B / T)} = 4,497 \text{ s}$$

$$T_\phi = 2,007 \cdot k_{11} / \sqrt{GM_T} = 7,532$$

k_{11} : roll radius of gyration

$k_{11} = 0,37 \cdot B$ (Από υπολογισμούς στο AVEVA)

Παρατηρούμε ότι οι τιμές των ιδιοπεριόδων από τις σχέσεις των δύο διαφορετικών πηγών συγκλίνουν, άρα μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε για τη συνέχεια των υπολογισμών. Επιλέγουμε να κάνουμε χρήση των τιμών της A. Ομάδας.

Η σύγκριση των τιμών που προέκυψαν για τις φυσικές περιόδους των κινήσεων heave pitch και roll με τις τιμές των περιόδων συνάντησης κυμάτων σε χαρακτηριστικές θαλάσσιες περιοχές, στις οποίες το πλοίο είναι πιθανό να καταπλεύσει κατά τη λειτουργία του, οδηγεί σε μια πρώτη εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων κινήσεων κατά την πλεύση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περίοδος συνάντησης κυμάτων ενός πλοίου, προσδιορίζεται με την εξέταση της περιόδου κυματισμού, την ταχύτητα του πλοίου και τη γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση του πλοίου με αυτήν του προσπίπτοντος κυματισμού [Lewis, E.V., ed., 1989)], [14].

Είναι προφανές, ότι ο αποτελεσματικότερος τρόπος για να ελαχιστοποιηθούν οι κινήσεις του πλοίου σε κυματισμό και να προστατευθεί το κατάστρωμα από διαβροχή και σφυρόκρουση κατά την πλεύση σε προσπίπτοντες μετωπικούς κυματισμούς 180° (head seas), είναι να αποφευχθεί ο συντονισμός με κύματα μήκους ίσου με αυτό του πλοίου ή μεγαλύτερου. Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του πλοίου, του μήκους κύματος και της φυσικής περιόδου ταλάντωσης, που καθορίζουν τις συνθήκες συντονισμού δίνεται ακολούθως.

Για ένα πλοίο που δέχεται μετωπικούς κυματισμούς 180° (head seas) και ακολουθούντες 0° (following seas), η περίοδος συνάντησης (encounter period) είναι, [14] :

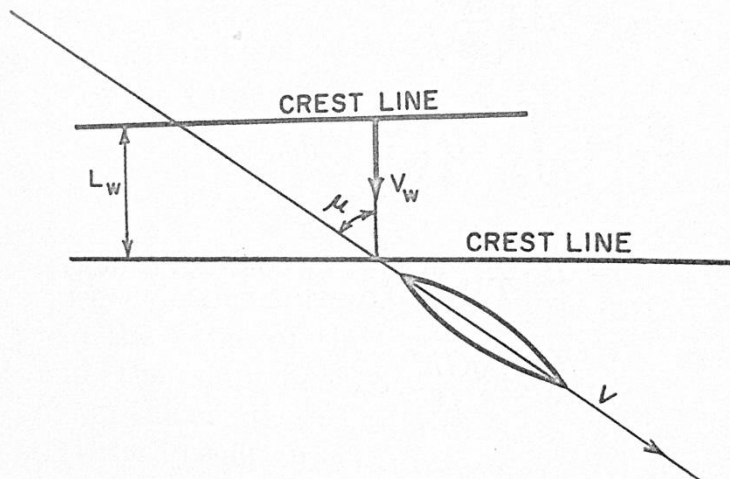
$$T_E = \frac{L_w}{V + V_w} \quad \text{και} \quad T_E = \frac{L_w}{V - V_w}, \quad \text{αντίστοιχα}$$

,όπου L_w είναι το μήκος κύματος, V η ταχύτητα του πλοίου, και V_w είναι η ταχύτητα του κύματος

$$V_w = (gL_w / 2\pi)^{1/2}$$

$$\text{Άρα : } T_E = \frac{L_w}{V + (g \cdot L_w / 2\pi)^{1/2}} \rightarrow \text{head seas}, \quad T_E = \frac{L_w}{V - (g \cdot L_w / 2\pi)^{1/2}} \rightarrow \text{following seas}$$

Για ένα πλοίο που δέχεται πλευρικούς κυματισμούς 90° , η περίοδος συνάντησης (encounter period) είναι :



Σχήμα 109. Κατεύθυνση του πλοίου σε σχέση με την κορυφογραμμή του κύματος

$$T_E = T_w + \frac{T_E \cdot V_s \cdot \cos \mu}{V_w} \quad \mu=90^\circ \Rightarrow T_E = T_w, \quad [14].$$

Εισάγοντας τους παράγοντες συντονισμού Λ έχουμε :

$$\Lambda = \frac{T_N}{T_E},$$

,όπου T_N η φυσική περίοδος ταλάντωσης στις τρεις εξεταζόμενες κινήσεις και T_E η περίοδος συνάντησης

Σύμφωνα με τα βασικά της θεωρίας ταλαντώσεων, η λειτουργία του πλοίου (δηλαδή η ταχύτητα και η διεύθυνση του κύματος σε δεδομένη κατάσταση θάλασσας) θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο παράγοντας Λ να μην παίρνει τιμές κοντά στο 1, το οποίο αντιστοιχεί σε κατάσταση συντονισμού κινήσεων. Αντίθετα το πλοίο θα πρέπει να λειτουργεί κάτω από αυτό το όριο ($\Lambda < 0,80$) ή πάνω από αυτό ($\Lambda > 1,20$). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη με αλλαγή της ταχύτητας και της πορείας πλεύσης από τον κυβερνήτη. [14]

Αυτό που μας μένει να κάνουμε είναι να βρούμε από ανεμολογικές παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών τα κυματικά χαρακτηριστικά διαφόρων περιοχών, ώστε να συγκροτήσουμε εκτιμήσεις των λόγων Λ , που θα μας επιτρέψουν μια πρώτη αξιολόγηση της επιχειρησιακής ικανότητας της κορβέτας.

Από πίνακες της διπλωματικής εργασίας “Εκτίμηση κυματισμών, αξιοποίηση διαθέσιμων δεδομένων και αξιολόγηση διαδικασιών πρόβλεψης” του φοιτητή Λιανού Νικόλαου, [15] συγκεντρώνουμε τα ζητούμενα κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από εξεργασία με το πρόγραμμα CEM από τις παρατηρήσεις των πλοίων και τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών. Οι περιοχές από όπου πάρθηκαν οι παρατηρήσεις είναι οι μετεωρολογικοί σταθμοί της Μεθώνης και της Κως. Οι περιοχές μελέτης που αφορούν οι εκτιμήσεις κυματισμών είναι αντίστοιχα η περιοχή νότια της Μεθώνης και το Νοτιο - Ανατολικό Αιγαίο. Τα κυματικά χαρακτηριστικά για κάθε περιοχή φαίνονται ακολούθως.

Επεξήγηση συμβόλων :

ΔA	:	Διεύθυνση ανέμου από παρατηρήσεις πλοίων	($^{\circ}$)
ΔA_{ANEM}	:	Διεύθυνση ανέμου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
U	:	Ταχύτητα ανέμου από παρατηρήσεις πλοίων	(m)
U_{ANEM}	:	Ταχύτητα ανέμου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
U_{10}	:	Ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10 h που προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
U_{10ANEM}	:	Ταχύτητα ανέμου διάρκειας 10 h που προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
V_{10}	:	Ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας που προέρχονται από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
V_{10ANEM}	:	Ταχύτητα ανέμου 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας που προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
CD	:	Συντελεστής CD προερχόμενος από παρατηρήσεις πλοίων	
CD_{ANEM}	:	Συντελεστής CD προερχόμενος από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
u^*	:	Ταχύτητα τύρβης προερχόμενη από τις παρατηρήσεις πλοίων	
u^*_{ANEM}	:	Ταχύτητα τύρβης προερχόμενη από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	
H_{mo}	:	Μέγιστος κυματισμός από τις παρατηρήσεις των πλοίων	(m)
H_{moANEM}	:	Μέγιστος κυματισμός από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(m)
T_p	:	Μέγιστη περίοδος από τις παρατηρήσεις πλοίων	(sec)
T_{pANEM}	:	Μέγιστη περίοδος από τους μετεωρολογικούς σταθμούς	(sec)

ΔΑ	ΔΑ AN EM	U	U AN EM	U10	U10 ANEM	V10	V10 ANEM	CD	CD ANEM	u*	u* ANEM	Hmo	Hmo ANEM	Tr	Tr ANEM
120	NA	21,1	20,7	15,76	15,517	21,099	20,699	0,00184	0,00182	0,9047	0,8841	8,249	8,062	12,39	12,3
130		30,9		21,491		30,899		0,00185		1,3298		12,13		14,09	
140		30		20,981		29,999		0,00183		1,2848		11,72		13,93	
150		23,2		17,024		23,199		0,0017		0,9554		8,711		12,62	
160	N	25,7	20,7	18,501	15,517	25,699	20,699	0,00175	0,00182	1,0743	0,8841	8,958	7,372	12,36	11,588
170		16,5		12,905		16,499		0,00155		0,6499		5,42		10,45	
180		21,1		15,76		21,099		0,00165		0,8575		7,15		11,47	
190		20		15,089		19,999		0,00163		0,807		6,729		11,24	
200	20,1	15,15	20,099	0,00163	0,8115	6,767	11,26								
210	NΔ	14,9	24,4	11,878	17,737	14,9	24,399	0,00152	0,00195	0,5801	1,0785	6,517	12,11	12,28	15,104
220		18		13,85		17,999		0,00158		0,7165		8,051		13,18	
230		18		13,85		17,999		0,00158		0,7165		8,051		13,18	
240		19		14,473		18,999		0,00161		0,7615		8,556		13,45	

Πίνακας 90. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από επεξεργασία με το μοντέλο CEM από τις παρατηρήσεις των πλοίων και του μετεωρολογικού σταθμού της Μεθώνης

Από τον παραπάνω πίνακα απομονώνουμε τη στήλη Tr, η οποία μας δίνει την περίοδο των κυματισμών και από τη σχέση που συνδέει την περίοδο με το μήκος κύματος και ισχύει για βαθύ νερό, έχουμε :

$$L_w = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \text{ και } V_w = L_w / T .$$

Κατόπιν με τις σχέσεις που υπολογίσαμε τις περιόδους συνάντησης σε μετωπικούς και ακολουθούντες κυματισμούς head seas και following seas, βρίσκουμε τα T_E_{-16} και T_E_{-32} για τις ταχύτητες των 16 kn και των 32 kn αντίστοιχα. Έτσι τελικά παίρνουμε τις ζητούμενες τιμές των παραγόντων συντονισμού σε Heave : $\Lambda_{-16} = T_z / T_E_{-16}$ και $\Lambda_{-32} = T_z / T_E_{-32}$ και σε Pitch : $\Lambda_{-16} = T_\theta / T_E_{-16}$ και $\Lambda_{-32} = T_\theta / T_E_{-32}$ για κάθε διεύθυνση προσπίπτοντος κυματισμού. Ακολουθεί τέλος ο έλεγχος των τιμών αυτών, έτσι ώστε να εντοπίσουμε αν βρίσκεται κάποιος μέσα στα ανεπιθύμητα όρια $0,80 < \Lambda < 1,20$, όπου παρατηρείται ταλάντωση της γάστρας μεγάλου πλάτους ή αν πλησιάζει κάποιος την τιμή 1, όπου έχουμε συντονισμό και ταλάντωση μέγιστου πλάτους. Σύμφωνα με τα παραπάνω συντάσσουμε, λοιπόν, τον πίνακα για την θαλάσσια περιοχή Νότια της Μεθώνης :

				Μετωπικοί κυματισμοί 180°						
				Enc. Period		Heave		Pitch		
ΔΑ	Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32	Λ_16	Λ_32	
120	NA	12,39	239,68	19,345	8,692	6,694	0,513	0,667	0,529	0,687
130		14,09	309,96	21,999	10,254	8,059	0,435	0,554	0,448	0,570
140		13,93	302,96	21,749	10,106	7,929	0,442	0,563	0,455	0,580
150		12,62	248,66	19,704	8,901	6,876	0,501	0,649	0,516	0,669
160	N	12,36	238,52	19,298	8,664	6,670	0,515	0,669	0,531	0,689
170		10,45	170,5	16,316	6,946	5,202	0,642	0,858	0,662	0,884
180		11,47	205,41	17,908	7,858	5,976	0,568	0,747	0,585	0,769
190		11,24	197,25	17,549	7,651	5,800	0,583	0,769	0,601	0,793
200		11,26	197,95	17,580	7,669	5,815	0,582	0,767	0,599	0,790
210	NΔ	12,28	235,44	19,173	8,592	6,607	0,519	0,675	0,535	0,696
220		13,18	271,22	20,578	9,414	7,322	0,474	0,609	0,488	0,628
230		13,18	271,22	20,578	9,414	7,322	0,474	0,609	0,488	0,628
240		13,45	282,44	21,000	9,663	7,540	0,462	0,592	0,476	0,610

				Ακολουθούντες κυματισμοί 0°						
				Enc. Period		Heave		Pitch		
ΔΑ	Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32	Λ_16	Λ_32	
120	NA	12,39	239,68	19,345	21,566	83,149	0,207	0,054	0,213	0,055
130		14,09	309,96	21,999	22,514	55,983	0,198	0,080	0,204	0,082
140		13,93	302,96	21,749	22,412	57,304	0,199	0,078	0,205	0,080
150		12,62	248,66	19,704	21,674	76,708	0,206	0,058	0,212	0,060
160	N	12,36	238,52	19,298	21,553	84,113	0,207	0,053	0,213	0,055
170		10,45	170,5	16,316	21,089	1164,685	0,212	0,004	0,218	0,004
180		11,47	205,41	17,908	21,226	142,038	0,210	0,031	0,217	0,032
190		11,24	197,25	17,549	21,169	181,457	0,211	0,025	0,217	0,025
200		11,26	197,95	17,580	21,173	177,019	0,211	0,025	0,217	0,026
210	NΔ	12,28	235,44	19,173	21,518	86,853	0,207	0,051	0,214	0,053
220		13,18	271,22	20,578	21,966	65,894	0,203	0,068	0,209	0,070
230		13,18	271,22	20,578	21,966	65,894	0,203	0,068	0,209	0,070
240		13,45	282,44	21,000	22,120	62,246	0,202	0,072	0,208	0,074

				Πλευρικοί κυματισμοί 90°				
				Enc. Period		Roll		
ΔΑ		Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32
120	NA	12,39	239,68	19,345	12,39	12,39	0,627286	0,627286
130		14,09	309,96	21,999	14,09	14,09	0,551602	0,551602
140		13,93	302,96	21,749	13,93	13,93	0,557938	0,557938
150		12,62	248,66	19,704	12,62	12,62	0,615854	0,615854
160	N	12,36	238,52	19,298	12,36	12,36	0,628809	0,628809
170		10,45	170,5	16,316	10,45	10,45	0,743739	0,743739
180		11,47	205,41	17,908	11,47	11,47	0,6776	0,6776
190		11,24	197,25	17,549	11,24	11,24	0,691466	0,691466
200		11,26	197,95	17,580	11,26	11,26	0,690238	0,690238
210	NA	12,28	235,44	19,173	12,28	12,28	0,632905	0,632905
220		13,18	271,22	20,578	13,18	13,18	0,589687	0,589687
230		13,18	271,22	20,578	13,18	13,18	0,589687	0,589687
240		13,45	282,44	21,000	13,45	13,45	0,57785	0,57785

Συμπεράσματα : Δεν παρατηρείται κανένας κίνδυνος συντονισμού και εμφάνιση ακραίων κινήσεων πέραν της περίπτωσης, όπου το πλοίο κινείται με 32 kn σε μετωπικό κυματισμό που προκαλείται από νότιους ανέμους διεύθυνσης 170° και εξαναγκάζεται σε κινήσεις pitch και heave μεγάλου πλάτους.

ΔΑ	ΔΑ ANEM	U	U ANEM	U10	U10 ANEM	V10	V10 ANEM	CD	CD ANEM	u*	u* ANEM	Hmo	Hmo ANEM	Tr	Tr ANEM
20	B	19	20,7	14,473	15,517	18,999	20,699	0,00176	0,00182	0,7982	0,8841	2,194	2,43	5,344	5,529
10		22,1		16,365		22,099		0,00167		0,9039		2,484		5,57	
0-360		25,2		18,208		25,199		0,00174		1,0503		2,887		5,856	
350		22,1		16,365		22,099		0,00167		0,9039		2,484		5,57	
340	BΔ	23,2	17,1	17,024	13,285	23,199	17,099	0,0017	0,0017	0,9554	0,7047	4,654	3,433	8,31	7,509
330		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		3,953		7,87	
320		20,1		15,15		20,099		0,00163		0,8115		3,953		7,87	
310		17		13,222		16,999		0,00156		0,672		3,274		7,391	
300		25,2		18,208		25,199		0,00174		1,0503		5,116		8,577	
290	Δ	18	20,7	13,85	15,517	17,999	20,699	0,00158	0,00182	0,7165	0,8841	3,074	3,793	6,937	7,441
280		17		13,222		16,999		0,00156		0,672		2,883		6,791	
270		28		19,837		27,999		0,00179		1,186		5,088		8,206	
260		15,9		12,522		15,9		0,00154		0,6236		2,675		6,623	
250		15,4		12,201		15,4		0,00153		0,6018		2,582		6,545	

Πίνακας 91. Κυματικά χαρακτηριστικά προερχόμενα από επεξεργασία με το πρόγραμμα CEM για τις παρατηρήσεις των πλοίων και του μετεωρολογικού σταθμού της Κως

Ακολουθως συντάσσεται ο πίνακας για τη θαλάσσια περιοχή του Νοτιο-ανατολικού Αιγαίου σύμφωνα με τις προαναφερθείσες σχέσεις :

ΔΑ		Μετωπικοί κυματισμοί 180°								
		Enc. Period			Heave		Pitch			
ΔΑ		Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32	Λ_16	Λ_32
20	B	5,344	44,588	8,3436	2,69	1,798	1,659	2,482	1,709	2,5572
10		5,57	48,439	8,6965	2,862	1,925	1,559	2,318	1,606	2,3874
0-360		5,856	53,542	9,143	3,082	2,091	1,448	2,134	1,492	2,1982
350		5,57	48,439	8,6965	2,862	1,925	1,559	2,318	1,606	2,3874
340	BΔ	8,31	107,82	12,974	5,084	3,663	0,878	1,218	0,904	1,255
330		7,87	96,703	12,288	4,713	3,364	0,947	1,327	0,975	1,3666
320		7,87	96,703	12,288	4,713	3,364	0,947	1,327	0,975	1,3666
310		7,391	85,289	11,54	4,314	3,046	1,034	1,465	1,066	1,5091
300		8,577	114,86	13,391	5,312	3,847	0,84	1,16	0,865	1,1947
290	Δ	6,937	75,133	10,831	3,942	2,753	1,132	1,621	1,166	1,6698
280		6,791	72,004	10,603	3,823	2,66	1,167	1,677	1,202	1,7278
270		8,206	105,14	12,812	4,996	3,591	0,893	1,242	0,92	1,2799
260		6,623	68,486	10,341	3,688	2,555	1,21	1,746	1,246	1,7989
250		6,545	66,882	10,219	3,625	2,507	1,231	1,78	1,268	1,8337

ΔΑ		Ακολουθούντες κυματισμοί 0°								
		Enc. Period			Heave		Pitch			
ΔΑ		Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32	Λ_16	Λ_32
20	B	5,344	44,588	8,3436	395,987	5,492	0,011	0,812	0,012	0,837
10		5,57	48,439	8,6965	104,069	6,238	0,043	0,715	0,044	0,737
0-360		5,856	53,542	9,143	58,708	7,315	0,076	0,610	0,078	0,628
350		5,57	48,439	8,6965	104,069	6,238	0,043	0,715	0,044	0,737
340	BΔ	8,31	107,82	12,974	22,730	30,915	0,196	0,144	0,202	0,149
330		7,87	96,703	12,288	23,839	23,165	0,187	0,193	0,193	0,198
320		7,87	96,703	12,288	23,839	23,165	0,187	0,193	0,193	0,198
310		7,391	85,289	11,54	25,778	17,327	0,173	0,258	0,178	0,265
300		8,577	114,86	13,391	22,258	37,404	0,200	0,119	0,207	0,123
290	Δ	6,937	75,133	10,831	28,900	13,342	0,154	0,334	0,159	0,345
280		6,791	72,004	10,603	30,358	12,289	0,147	0,363	0,151	0,374
270		8,206	105,14	12,812	22,950	28,805	0,194	0,155	0,200	0,160
260		6,623	68,486	10,341	32,465	11,188	0,137	0,399	0,142	0,411
250		6,545	66,882	10,219	33,647	10,713	0,133	0,417	0,137	0,429

				Πλάγιοι κυματισμοί 90°				
				Enc. Period		Roll		
ΔΑ		Tw	Lw	Vw	Te_16	Te_32	Λ_16	Λ_32
20	B	5,344	44,588	8,3436	5,344	5,344	1,454	1,454
10		5,57	48,439	8,6965	5,570	5,570	1,395	1,395
0-360		5,856	53,542	9,143	5,856	5,856	1,327	1,327
350		5,57	48,439	8,6965	5,570	5,570	1,395	1,395
340	BΔ	8,31	107,82	12,974	8,310	8,310	0,935	0,935
330		7,87	96,703	12,288	7,870	7,870	0,988	0,988
320		7,87	96,703	12,288	7,870	7,870	0,988	0,988
310		7,391	85,289	11,54	7,391	7,391	1,052	1,052
300		8,577	114,86	13,391	8,577	8,577	0,906	0,906
290	Δ	6,937	75,133	10,831	6,937	6,937	1,120	1,120
280		6,791	72,004	10,603	6,791	6,791	1,144	1,144
270		8,206	105,14	12,812	8,206	8,206	0,947	0,947
260		6,623	68,486	10,341	6,623	6,623	1,173	1,173
250		6,545	66,882	10,219	6,545	6,545	1,187	1,187

Συμπεράσματα : Κίνδυνος συντονισμού και εμφάνισης ακραίων κινήσεων παρατηρείται στην περίπτωση, όπου το πλοίο κινείται :

Σε ταχύτητα υπηρεσίας

- Δεχόμενο μετωπικό κυματισμό που προκαλείται από :
 - BΔ και Δ ανέμους διεύθυνσης 340°-250° → έντονες κινήσεις heave
 - BΔ και Δ ανέμους διεύθυνσης 340°-270° → έντονες κινήσεις pitch

- Δεχόμενο πλάγιο κυματισμό που προκαλείται από :
 - BΔ και Δ ανέμους διεύθυνσης 340°-250° → έντονες κινήσεις roll

Σε ταχύτητα μάχης

- Δεχόμενο μετωπικό κυματισμό που προκαλείται από :
 - BΔ ανέμους διεύθυνσης 340° και 300° → έντονες κινήσεις heave

- ΒΔ ανέμους διεύθυνσης 300° → έντονες κινήσεις pitch
- Δεχόμενο ακολουθούντα κυματισμό που προκαλείται από :
 - Β ανέμους διεύθυνσης 20° → έντονες κινήσεις heave
 - Β ανέμους διεύθυνσης 20° → έντονες κινήσεις pitch
- Δεχόμενο πλάγιο κυματισμό που προκαλείται από :
 - ΒΔ και Δ ανέμους διεύθυνσης 340° - 250° → έντονες κινήσεις roll

Βιβλιογραφία

[13] ASIA 2004, Section 4b. "Hydrodynamics".

[14] E. V. Lewis, "The Motion of Ships in Waves", Principles of Naval Architecture, Chapter IX, 1967.

[15] Ν.Λιανός «Εκτίμηση κυματισμών, αξιοποίηση διαθέσιμων δεδομένων και αξιολόγηση διαδικασιών πρόβλεψης» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.

[36] M.Parsons, "Parametric Design".

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση ενός πλοίου ειδικού τύπου και αποστολών, που θα εξυπηρετεί ανάγκες της εθνικής μας άμυνας. Πιο συγκεκριμένα έγινε η πλήρης προμελέτη της κορβέτας «ΥΔΡΑ», περιλαμβανομένης της προεκτίμησης των βαρών και των διαστάσεων αυτής με διάφορες μεθόδους, το σχέδιο των Ναυπηγικών Γραμμών και της Γενικής Διάταξης. Επιπλέον, έγινε μία πλήρης μελέτη για την ευστάθεια του άθικτου πλοίου και για την ευστάθεια μετά από βλάβη, εξετάζοντας αναλυτικά μία πληθώρα περιπτώσεων βλάβης σύμφωνα με τα κριτήρια του Αμερικανικού Ναυτικού. Πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί της αντίστασης, της πρόωσης και της διαμήκους αντοχής του υπό μελέτη πλοίου. Ενώ στο τέλος πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση του βολβού και δόθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προαιρετική πρόταση τοποθέτησης σφήνας στον καθρέπτη. Για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά λογισμικά προγράμματα του ΕΜΠ και οι ειδικοί κανονισμοί που αναφέρονται στα συγκεκριμένου τύπου πλοία. Τέλος πραγματοποιήθηκαν αρκετές ανακυκλώσεις της σχεδίασης, ώστε να έχουμε την επιθυμητή σύγκλιση των αποτελεσμάτων σε μία πλήρως ικανοποιητική σχεδιαστική λύση. Το υπό μελέτη πλοίο «ΥΔΡΑ» εκτιμάται ότι ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη – Π.Ν και των κανονισμών που ελέγχθησαν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Το κομβικό οπλικό σύστημα για τις Ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις των επόμενων δεκαετιών μπορεί και πρέπει να αποτελέσει ένα πολεμικό πλοίο επιφανείας, σχεδιασμένο εξαρχής να λειτουργήσει στο ελληνικό γεωστρατηγικό περιβάλλον. Το πλοίο αυτό θα μπορεί να συνδιαστεί με μια σειρά από οπλικά συστήματα, τεχνολογίες και επιχειρησιακές φιλοσοφίες, που αναμένεται να κυριαρχήσουν στις επόμενες δεκαετίες. Το πλέον σημαντικό στοιχείο για την αντιμετώπιση ενός εγγενώς ασαφούς και συνεχώς μεταβαλλόμενου μέλλοντος είναι η ικανότητα προσαρμογής και μια σχετικά μεγάλου μεγέθους ναυτική μονάδα επιφανείας είναι, κατά την άποψη του γράφοντος, η πλατφόρμα με τις μεγαλύτερες σχετικές δυνατότητες.

Σε ότι αφορά τις σχεδιάσεις κορβετών προκύπτει σημαντική αύξηση των δυνατοτήτων τους με την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών. Με προσεκτική σχεδίαση και καταμερισμό του μικρότερου σε σχέση με τις φρεγάτες εκτοπίσματός τους, τα πλοία αυτά μπορούν να αποτελέσουν βέλτιστες λύσεις κόστους – απόδοσης (cost – effectiveness). Ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου με τα γνωστά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (ένταση ανέμων, σημαντικό ύψος κύματος, περίοδοι κυματισμών) και τις αποστολές που καλείται να φέρει σε πέρας το Π.Ν, τα σκάφη αυτά θα μπορούσαν να γεφυρώσουν τους περιορισμούς επιχειρήσεων των ΤΠΚ σε υψηλούς κυματισμούς με το αυξημένο κόστος λειτουργίας των φρεγατών παρέχοντας υπηρεσίες υψηλού επιπέδου.

Τα πολεμικά πλοία επιφανείας μπορούν να αποτελέσουν ένα είδος « κινητών νησίδων ισχύος », ένα στοιχείο « μεταβλητής γεωγραφίας » του Αρχιπελάγους, το οποίο συνδυάζεται με τη φυσική γεωγραφία, δημιουργώντας ένα ενιαίο μέγεθος. Κατά κάποιο τρόπο τα πολεμικά πλοία επιφανείας αποτελούν τις ζεύξεις, που θα ενοποιήσουν τα νησιά σε μια ενιαία γεωστρατηγική οντότητα.

Τα πλοία αυτά «πρέπει» να κατασκευαστούν με την ενεργοποίηση και ουσιαστική συμβολή της εγχωρίου ναυπηγικής και ευρύτερης αμυντικής βιομηχανίας στα πλαίσια της πρωτοβουλίας του Π.Ν για το σχεδιασμό και τη ναυπήγηση του Εθνικού Πλοίου. Πρωτεύοντα ρόλο στην καινοτομική σχεδίαση δύνανται να αναλάβουν φορείς του ευρύτερου εθνικού δυναμικού, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, η Σχολή Ναυτικών Δοκίμων, Έμπειροι Μελετητές και Σύμβουλοι Ναυπηγοί Μηχανικοί.

Από σχεδιαστικής απόψεως και λαμβανομένης υπ' όψιν του επιπέδου της μελέτης στην παρούσα φάση, η κορβέτα είναι μια εν δυνάμει λύση. Σύμφωνα με τη συλλογιστική του κ. Γρίβα “αντί να επιδιώκεται (με σημαντική πιθανότητα σφάλματος) η πρόβλεψη του μέλλοντος με σκοπό τη δημιουργία, εκ των προτέρων, του « τέλειου » οπλικού συστήματος, αποδεικνύεται αποτελεσματικότερη η έμφαση στην προσαρμοστικότητα μιας κατά σύμβαση ατελούς επιλογής”. Στο μελλοντικό γεωστρατηγικό περιβάλλον, το οποίο είναι αδύνατο να προβλεφθεί με ακρίβεια σήμερα και με βεβαιότητα θα παραμείνει συνεχώς μεταβαλλόμενο, το υψηλής προσαρμοστικότητας σύστημα θα επιβιώσει και θα αποδειχθεί λειτουργικό. Υπό αυτό το πρίσμα η κορβέτα δεν είναι η τέλεια λύση. Είναι, ενδεχομένως, η κατάλληλη λύση δεδομένου ότι δύναται να αποτελέσει συστατικό στοιχείο και συνιστώσα του εθνικού δυναμικού.

