

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΥΔΗΝ**

Επιβλέπων Καθηγητής
Ζαραφονίτης Γεώργιος

Προπτυχιακός Φοιτητής
Κιμπουρόπουλος Γεώργιος

Αθήνα 2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	3
3 ΘΕΜΑΤΑ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	
3.1 Υδροστατική Ισορροπία Πλοίου	5
3.2 Υπολογισμός Όγκου Υφάλων και Κέντρο Όγκου	6
3.3 Υδροστατικό Διάγραμμα	7
3.4 Εκτόπισμα και Κέντρο Βάρους	10
3.5 Ευστάθεια Πλοίου στην Άθικτη Κατάσταση – Εγκάρσια Ευστάθεια	11
3.6 Παραμετρικές Καμπύλες Στατικής Ευστάθειας	16
3.7 Επίδραση Ελευθέρων Επιφανειών	17
3.8 Διαγωγή και Διαμήκης Ευστάθεια Πλοίου	19
4 ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ	
4.1 Το Πλοίο Δοκός	22
4.2 Διατμητικές Δυνάμεις & Καμπτικές Ροπές σε Ήρεμο Νερό	23
5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ	
5.1 Γενικά	26
5.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων	27
5.3 Διαδικασία Καθορισμού Φόρτωσης	31
5.4 Πυρήνας Εκτέλεσης Υπολογισμών	33
5.5 Εμφάνιση Αποτελεσμάτων Υπολογισμών	43
6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
6.1 Γενικά	44
6.2 «M/V Captain Joy», 7522 DWT General Cargo Carrier	45
6.2.1 Loading Condition 1: Partly Loaded with Ore Arrival	49
6.2.2 Loading Condition 2: Fully Load with Coal Departure	55
6.2.3 Loading Condition 3: Light Ballast Arrival	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΩΝ «M/V Captain Joy»	
6.3 «M/T Megan», 94284 DWT Oil Carrier	70
6.3.1 Loading Condition 1: Full Loaded on Departure	73
6.3.2 Loading Condition 2: Partly Loaded on Arrival	78
6.3.3 Loading Condition 3: Light Ballast Arrival	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΩΝ «M/T Megan»	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

Α/Α	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΝΝΟΙΑ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο		
1	L_{bp}	Μήκος μεταξύ καθέτων
2	L_{oa}	Ολικό Μήκος
3	B	Πλάτος στη Μέση τομή
4	T_M	Βύθισμα Αναφοράς
5	T	Βύθισμα Σχεδίασης
6	T_a	Βύθισμα στην Πρυμναία Κάθετο
7	T_f	Βύθισμα στην Πρωραία Κάθετο
8	D	Κοίλο στη Μέση τομή
9	trim, t	Διαγωγή
10	AP	Πρυμναία Κάθετος
11	FP	Πρωραία Κάθετος
12	AE	Πρυμναίο Άκρο
13	FE	Πρωραίο Άκρο
14	IMO	Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός
15	IACS	Διεθνής Συνεταιρισμός Νηογνομόνων
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο		
1	V	Όγκος Υφάλων - Εκτοπιζόμενος Όγκος
2	W	Βάρος
3	ρ	Πυκνότητα
4	A_x	Επιφάνεια Εγκάρσιας Τομής
5	M_x	Ροπή Επιφανείας Εγκάρσιας Τιμής
6	Δ	Εκτόπισμα
7	\underline{G}	Κέντρο Βάρους
8	LCG	Διαμήκης Θέση Κέντρου Βάρους
9	VCG	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Βάρους
10	TCG	Εγκάρσια Θέση Κέντρου Βάρους
11	B	Κέντρο Άντωσης
12	LCB	Διαμήκης Θέση Κέντρου Άντωσης
13	VCB	Κατακόρυφη Θέση Κέντρου Άντωσης
14	TCB	Εγκάρσια Θέση Κέντρου Άντωσης
15	WSA	Βρεχόμενη Επιφάνεια Γάστρας
16	TPC	Μεταβολή Εκτόπισματος ανά εκατοστό μεταβολής βυθίσματος
17	MTC	Ροπή για δημιουργία Διαγωγής ενός εκατοστού

18	LCF	Διαμήκης Θέση Κέντρου Πλευστότητας
19	C_b	Συντελεστής Γάστρας
20	C_M	Συντελεστής Μέσης Τομής
21	C_{WL}	Συντελεστής Ισάλου Επιφανείας
22	C_P	Πρισματικός Συντελεστής
23	W_{ST}	Βάρος Μεταλλικής Κατασκευής
24	W_{OT}	Βάρος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού
25	W_M	Βάρος Μηχανολογικής Εγκατάστασης
26	LS, Lightship	Βάρος Αφορτου Πλοίου
27	HFO	Βάρος Βαρέως Καυσίμου
28	DO	Βάρος Πετρελαίου Diesel
29	LO	Βάρος Λιπαντικών
30	FW	Βάρος Πόσιμου Νερού
31	PR	Βάρος Προμηθειών
32	CREW	Βάρος Πληρώματος - Αποσκευών
33	DWT	Συνολικό Πρόσθετο Βάρος
34	γ	Ειδικό Βάρος
35	GM_T	Εγκάρσιο Μετακεντρικό Ύψος
36	GM_L	Διάμηκες Μετακεντρικό Ύψος
37	GZ	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς
38	BM_T	Εγκάρσια Μετακεντρική Ακτίνα
39	BM_L	Διαμήκης Μετακεντρική Ακτίνα
40	φ	Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης
41	θ	Γωνία Διαμήκουσ Κλίσης
42	M_R	Εγκάρσια Ροπή Επαναφοράς
43	M_L	Ροπή Διαμήκουσ Κλίσης
44	I_T	Εγκάρσια Ροπή Αδράνειας Ισάλου Επιφάνειας
45	I_L	Διαμήκης Ροπή Αδράνειας Ισάλου Επιφάνειας
46	T_{LCF}	Βύθισμα στο κέντρο Πλευστότητας
47	KM_T	Ύψος Εγκαρσίου Μετακέντρου από την Τρόπιδα
48	KM_L	Ύψος Διαμήκουσ Μετακέντρου από την Τρόπιδα
49	KN	Μοχλοβραχίονας Στατικής Ευστάθειας για Μηδενικό VCG
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο		
1	α	Μικρή Βάση Τραπεζίου
2	β	Μεγάλη Βάση τραπεζίου
3	w(x)	Συνάρτηση Κατανομής Βάρους
4	b(x)	Συνάρτηση Κατανομής Άντωσης
5	p(x)	Συνάρτηση Κατανομής Φόρτισης

6	$Q(x)$	Συνάρτηση Κατανομής Διατμητικών Δυνάμεων
7	$M(x)$	Συνάρτηση Κατανομής Καμπτικών Ροπών
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο		
1	V_S	Ταχύτητα Υπηρεσίας
2	W_{tanks}	Βάρος Δεξαμενής
3	W_{holds}	Βάρος Αμπαριού
4	M_L	Διαμήκης Ροπή Βάρους
5	M_V	Κατακόρυφη Ροπή Βάρους
6	M_T	Εγκάρσια Ροπή Βάρους

ΣΥΝΟΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός προγράμματος, στο υπολογιστικό περιβάλλον Matlab, που εκτελεί τους βασικούς υπολογισμούς υδροστατικής, ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση και τον υπολογισμό της κατανομής καμπτικών ροπών και διατμητικών δυνάμεων πλοίων μεταφοράς φορτίου χύδην (υγρού και ξηρού), σε διάφορες καταστάσεις φόρτωσης. Το πρόγραμμα αλληλεπιδρά με το χρήστη για τον καθορισμό του πλάνου φόρτωσης και εμφανίζει στην οθόνη του τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Τα αποτελέσματα ελέγχονται σύμφωνα με τους κανονισμούς των νηογνομόνων και τα κριτήρια του IMO. Στην περίπτωση, που κάποια απαίτηση από τις ανωτέρω δεν ικανοποιείται, το πρόγραμμα ειδοποιεί το χρήστη με κατάλληλη ένδειξη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα προγράμματα φόρτωσης, κοινώς “Loadicators”, είναι υπολογιστικά εργαλεία, που εγκαθίστανται σε ξεχωριστούς υπολογιστές πάνω στο πλοίο και χρησιμοποιούνται από τον πλοίαρχο και τους αξιωματικούς του για το γρήγορο υπολογισμό των στοιχείων υδροστατικής, ευστάθειας και διαμήκους αντοχής, στην κατάσταση φόρτωσης που ορίζει. Τα αποτελέσματα, που προκύπτουν, δεν αντικαθιστούν τις πληροφορίες, που περιέχονται στα εγχειρίδια ευστάθειας και φόρτωσης. Λειτουργούν, όμως, συμπληρωματικά σε αυτές, ώστε να βοηθήσουν το χρήστη να εξακριβώσει, αν για την κατάσταση φόρτωσης που εξετάζει, πληρούνται οι απαιτήσεις ευστάθειας και διαμήκους αντοχής.

Σε ό,τι αφορά στις απαιτήσεις ευστάθειας, το πρόγραμμα ελέγχει, αν τα αποτελέσματα των υπολογισμών ικανοποιούν τα κριτήρια ευστάθειας, όπως αυτά έχουν θεσπιστεί από τον κώδικα άθικτης ευστάθειας του IMO (Resolution A.749(18)), για τον κάθε τύπο πλοίων. Αντίστοιχα για τη διαμήκη αντοχή, το πρόγραμμα ελέγχει αν οι τιμές των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, που προκύπτουν από τη φόρτωση που ορίζεται, βρίσκονται εντός των επιτρεπτών κατασκευαστικών ορίων, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του πλοίου.

Τα προγράμματα αυτά αναπτύσσονται, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, (Guidelines for Loading Computer Systems), που έχουν οριστεί από τον IACS, (International Association of Classification Societies), για τους διάφορους τύπους πλοίων. Οι νηογνώμονες ελέγχουν αν το πρόγραμμα εκτελεί όλους τους απαιτούμενους υπολογισμούς, καθώς επίσης και την ορθότητα των κριτηρίων ευστάθειας και των ορίων αντοχής, που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια, εξετάζουν αν τα αποτελέσματα των υπολογισμών κυμαίνονται εντός των αποδεκτών αποκλίσεων, σε σχέση με τις πραγματικές τιμές. Οι καταστάσεις φόρτωσης, στις οποίες γίνεται συνήθως ο έλεγχος της λειτουργίας των προγραμμάτων είναι:

- Η κατάσταση ερματισμού κατά την αναχώρηση ή κατά την άφιξη του πλοίου (Ballast Departure/Arrival).
- Η κατάσταση πλήρους φόρτωσης, κατά την αναχώρηση/άφιξη (Fully loaded on Departure/Arrival).
- Η κατάσταση μερικούς φόρτωσης, κατά την αναχώρηση/άφιξη (Partly loaded on Departure/Arrival).

Για κάθε πλοίο, ακολουθείται μια ξεχωριστή διαδικασία προετοιμασίας του προγράμματος, που πρόκειται να εγκατασταθεί, με την εισαγωγή των στοιχείων του πλοίου. Επιπλέον, εκδίδεται ξεχωριστό πιστοποιητικό, (specific approval), από το νηογνώμονα, που εγκρίνει τη λειτουργία του προγράμματος, για το συγκεκριμένο πλοίο.

Ανάλογα με το είδος των στοιχείων του πλοίου, που εισάγονται, τα προγράμματα φόρτωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτά που χρησιμοποιούν για τους υπολογισμούς τη γεωμετρία του πλοίου, (hull form based software), με ακριβή ορισμό της γάστρας (offsets) και των διαφόρων διαμερισμάτων.
- Αυτά που χρησιμοποιούν για τους υπολογισμούς μια βάση δεδομένων, στη οποία περιλαμβάνονται, υπό τη μορφή πινάκων όλα τα απαραίτητα στοιχεία, (υδροστατικά στοιχεία, καμπύλες ευστάθειας, καμπύλες bonjean κ.λ.π).

Ένας δεύτερος διαχωρισμός των προγραμμάτων φόρτωσης γίνεται με βάση τον τρόπο εισαγωγής των στοιχείων φόρτωσης από το χρήστη. Οι κατηγορίες, που προκύπτουν είναι:

- Παθητικά συστήματα, (passive systems), κατά τα οποία η εισαγωγή των δεδομένων φόρτωσης γίνεται χειροκίνητα από το χρήστη.
- Ενεργητικά συστήματα, (active systems), στα οποία η εισαγωγή γίνεται αυτόματα, μέσω της χρήσης αισθητήρων και μετρητικών οργάνων στα διαμερίσματα, που φορτώνονται.

Το πρόγραμμα φόρτωσης, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, εντάσσεται στην κατηγορία των παθητικών συστημάτων, που αντλεί τα απαραίτητα για τους υπολογισμούς στοιχεία, από μια βάση δεδομένων. Για την κατάσταση, που ορίζει ο χρήστης, εκτελούνται οι υπολογισμοί υδροστατικής, ευστάθειας στην άθικτη κατάσταση και διαμήκους αντοχής. Πριν ξεκινήσει η περιγραφή της βάσης δεδομένων και των μερών του κώδικα του προγράμματος, κρίνεται σκόπιμη μια σύντομη ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου των εννοιών αυτών.

2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί ορισμοί ναυπηγικών εννοιών, που θα επαναλαμβάνονται στη συνέχεια.

(Πηγή: Λουκάκης, Θ.Α. και Πέρας, Π.Τ., *Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου*)

Επιφάνεια αναφοράς: Η ιδεατή επιφάνεια της γάστρας, που παριστάνεται στο σχέδιο ναυπηγικών γραμμών.

Κατασκευαστικοί Νομείς (transverse frames): Τα εγκάρσια πλευρικά στοιχεία του σκελετού του πλοίου, που ενώνονται ανά ζεύγος στην τρόπιδα, όταν υπάρχει εγκάρσιο σύστημα ναυπηγήσεως.

Τρόπιδα (keel): Το κατώτερο τμήμα του πλοίου, που αποτελείται, είτε από δοκό, είτε από ένα αρκετά παχύ έλασμα.

Βασικό επίπεδο αναφοράς: Το οριζόντιο επίπεδο, που διέρχεται από την άνω όψη της τρόπιδας.

Βασική γραμμή αναφοράς (baseline): Η τομή του βασικού επιπέδου αναφοράς με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου.

Ίσαλος (waterline): Η τομή της επιφάνειας της θάλασσας (που θεωρείται επίπεδη) με την επιφάνεια του πλοίου. Η ίσαλος πλευσης που αντιστοιχεί στην κατάσταση φόρτωσης για την οποία σχεδιάζεται το πλοίο ονομάζεται ίσαλος σχεδίασης (designed waterline).

Παρίσαλοι: Ίσαλοι παράλληλοι, στην ίσαλο σχεδίασης.

Πρωραία Κάθετος (Forward Perpendicular, FP): Η κατακόρυφη, που διέρχεται από την τομή της ισάλου σχεδίασης με το περίγραμμα της πλώρης του πλοίου.

Πρυμναία Κάθετος (Aft Perpendicular, AP): Η κατακόρυφη, που ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής του πηδαλίου.

Μήκος μεταξύ καθέτων (Length between Perpendiculars, L_{BP}): Η απόσταση μεταξύ της πρυμναίας και της πρωραίας καθέτου.

Εγκάρσια τομή (transverse section): Η τομή της επιφάνειας αναφοράς με εγκάρσιο επίπεδο, το οποίο είναι κάθετο στο διαμήκη άξονα του πλοίου.

Μήκος Ισάλου (Length of Waterline): Η απόσταση των σημείων τομής της ισάλου με το διάμηκες περίγραμμα του πλοίου.

Ολικό Μήκος (Length Overall, L_{OA}): Η απόσταση του ακρότατου πρυμναίου από το ακρότατο προωαίο σημείο του διαμήκους περιγράμματος του πλοίου, μετρούμενη παράλληλα στη βασική γραμμή αναφοράς.

Μέση τομή (Midship Section): Η εγκάρσια τομή στο μέσο του μήκους μεταξύ καθέτων.

Πλάτος Αναφοράς (Molded Breadth or Beam, B): Η απόσταση των σημείων τομής της μέσης τομής με την ίσαλο σχεδίασης.

Κοίλο (Molded Depth, D): Η απόσταση μεταξύ του βασικού επιπέδου αναφοράς και του ίχνους, πάνω στην πλευρά του πλοίου, της επιφάνειας του ανώτατου, συνεχούς, υδατοστεγούς καταστρώματος.

Βύθισμα αναφοράς (Molded Draft, T_M): Η απόσταση της ισάλου πλεύσης από το βασικό επίπεδο αναφοράς, μετρούμενη στη μέση τομή.

Βύθισμα σχεδίασης (Designed Draft, T): Το βύθισμα αναφοράς στην ίσαλο σχεδίασης.

Ύψος Εξάλων (Freeboard): Η διαφορά μεταξύ κοίλου και του εκάστοτε βυθίσματος σε έμφορτη κατάσταση, μετρούμενη στη μέση τομή.

Προωαίο βύθισμα (Forward Draft, T_F): Η απόσταση της ισάλου πλεύσης από την άνω επιφάνεια της τρόπιδας, μετρούμενη στην προωαία κάθετο.

Πρυμναίο βύθισμα (Aft Draft, T_A): Η απόσταση της ισάλου πλεύσης από την άνω επιφάνεια της τρόπιδας, μετρούμενη στην πρυμναία κάθετο.

Διαγωγή (Trim, t): Η διαφορά μεταξύ του πρυμναίου και του προωαίου βυθίσματος. Αναλόγως πιο βύθισμα είναι μεγαλύτερο, χαρακτηρίζεται πρυμναία ή προωαία.

3. ΘΕΜΑΤΑ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

3.1 Υδροστατική Ισορροπία Πλοίου

Η μελέτη της υδροστατικής ισορροπίας των πλοίων ασχολείται με δύο βασικά προβλήματα:

- Τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες η ισορροπία του πλοίου είναι εφικτή και ευσταθής και
- Τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης ισορροπίας του σώματος, υπό την επίδραση εξωτερικών ή εσωτερικών δυνάμεων και ροπών. (Πηγή: «Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου», Τζαμπίρας 2015)

Το πρώτο πρόβλημα, που ασχολείται με την ευστάθεια του πλοίου θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα. Σε ό,τι αφορά στο δεύτερο, η μελέτη έγκειται στον προσδιορισμό της ισάλου πλευσης, στην οποία εξισορροπούνται οι δυνάμεις, που ασκούνται στο πλοίο. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, οι δυνάμεις που δρουν πάνω στο πλοίο είναι η δύναμη του βάρους του σώματος και η δύναμη της άντωσης. Για να επιτευχθεί, συνεπώς η ισορροπία, θα πρέπει να ισχύει ότι:

- Το βάρος του σώματος, που για σταθερή πυκνότητα υγρού είναι ίσο με το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού, ισούται με την άντωση. Το βάρος του εκτοπιζόμενου νερού, ονομάζεται εκτόπισμα και συμβολίζεται με Δ .
- Το κέντρο βάρους του σώματος \mathbf{G} , στο οποίο ασκείται η δύναμη του βάρους του σώματος, βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφο με το κέντρο άντωσης \mathbf{B} .

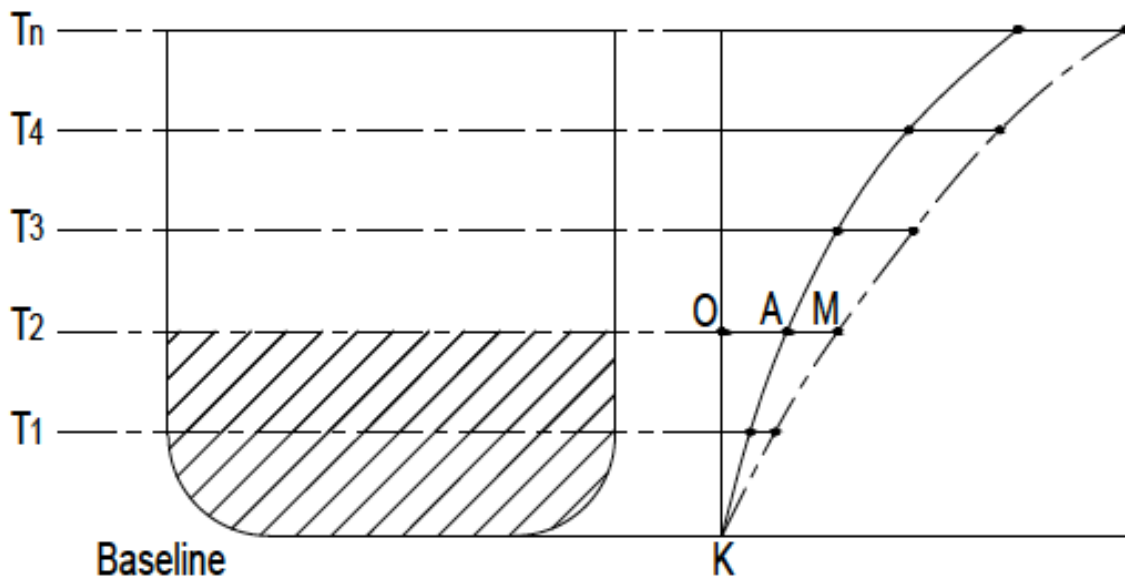
Η κατακόρυφη **δύναμη της άντωσης** είναι η συνισταμένη των υδροστατικών πιέσεων, που ασκεί το υγρό στη γάστρα του πλοίου, και είναι πάντοτε παράλληλη και αντίθετη με τη **δύναμη βάρους** του σώματος. Και οι δύο αυτές δυνάμεις έχουν διεύθυνση κάθετη στην ίσαλο πλευσης. Το σημείο, από το οποίο διέρχεται το διάνυσμα της δύναμης της άντωσης (και στις τρεις συντεταγμένες), είναι το κέντρο της μάζας του εκτοπιζόμενου νερού. Υπό συνθήκες σταθερής πυκνότητας ρ , το σημείο αυτό έχει καθιερωθεί να συμπίπτει με το κέντρο του όγκου υφάλων V , (παρ' ότι δεν είναι απαραίτητο να συμβαίνει πάντα) και για το λόγο αυτόν καλείται και κέντρο άντωσης. Ως θετική φορά λογίζεται αυτή που ακολουθεί η δύναμη του βάρους του σώματος, η οποία είναι προς τα κάτω, ενώ αντίστοιχα η φορά της άντωσης είναι προς τα πάνω.

Παρά το γεγονός, ότι η εξισορρόπηση των δυνάμεων, που ασκούνται στο πλοίο, φαίνεται να είναι ένα απλό πρόβλημα στατικής ισορροπίας, στην πραγματικότητα είναι αρκετά πιο σύνθετο, εξαιτίας της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου. Οι ιδιότητες της γεωμετρίας της γάστρας σχετίζονται άμεσα με τον προσδιορισμό της άντωσης και του κέντρου όγκου, καθώς και με τον προσδιορισμό των υδροστατικών στοιχείων της ισάλου πλευσης του πλοίου.

3.2 Υπολογισμός Όγκου Υφάλων και Κέντρου Όγκου

Η μέθοδος υπολογισμού του όγκου υφάλων και του κέντρου όγκου, που εφαρμόζεται, είναι μέσω των διαγραμμάτων των καμπυλών Bonjean. Πρόκειται για καμπύλες εμβαδών των εγκάρσιων τομών της γάστρας του πλοίου, συναρτήσει μια συγκεκριμένης διαμέρισης βυθισμάτων, από το βασικό επίπεδο αναφοράς έως την τελευταία ίσαλο του σχεδίου ναυπηγικών γραμμών, που χαράσσονται στις θέσεις των θεωρητικών νομέων κατά μήκος του πλοίου. Παράλληλα στις ίδιες θέσεις, βρίσκεται και χαράσσεται και η καμπύλη της ροπής του κάθε εμβαδού, ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς. Ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζονται οι καμπύλες είναι ο εξής:

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1, στη θέση ενός θεωρητικού νομέα σχεδιάζονται δύο καμπύλες, που ενώνουν τα σημεία A και M των βυθισμάτων T_i , όπως προέκυψαν από τη διαμέριση. Σε κάθε βύθισμα, η αντίστοιχη απόσταση OA είναι υπό κλίμακα ίση με το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής μέχρι το ύψος, που αντιστοιχεί στην τιμή του βυθίσματος. Ισοδύναμα, η απόσταση OM ισούται με τη ροπή, που ασκεί το εμβαδόν, ως προς το βασικό επίπεδο αναφοράς. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε όλες τις θέσεις των θεωρητικών νομέων.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα Bonjean

Με το διάγραμμα καμπυλών Bonjean καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός του όγκου, καθώς και των συντεταγμένων (διαμήκους και κατακόρυφης) του κέντρου όγκου, κάτω από οποιαδήποτε παράλληλη ή κεκλιμένη ίσαλο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2, η κεκλιμένη ίσαλος τέμνει τις καμπύλες εμβαδών και ροπών σε συγκεκριμένα σημεία. Εντοπίζοντας τα σημεία αυτά και βρίσκοντας τις προβολές (AB και CA) πάνω στις κάθετες ευθείες, ως προς τη βασική γραμμή αναφοράς, υπολογίζεται για κάθε νομέα η επιφάνεια, που έχει βυθιστεί και η αντίστοιχη ροπή. Έχοντας όλες τις τιμές επιφανειών A_x και των ροπών M_x για κάθε νομέα και ολοκληρώνοντας κατά μήκος του πλοίου, υπολογίζεται ο εκτοπιζόμενος όγκος

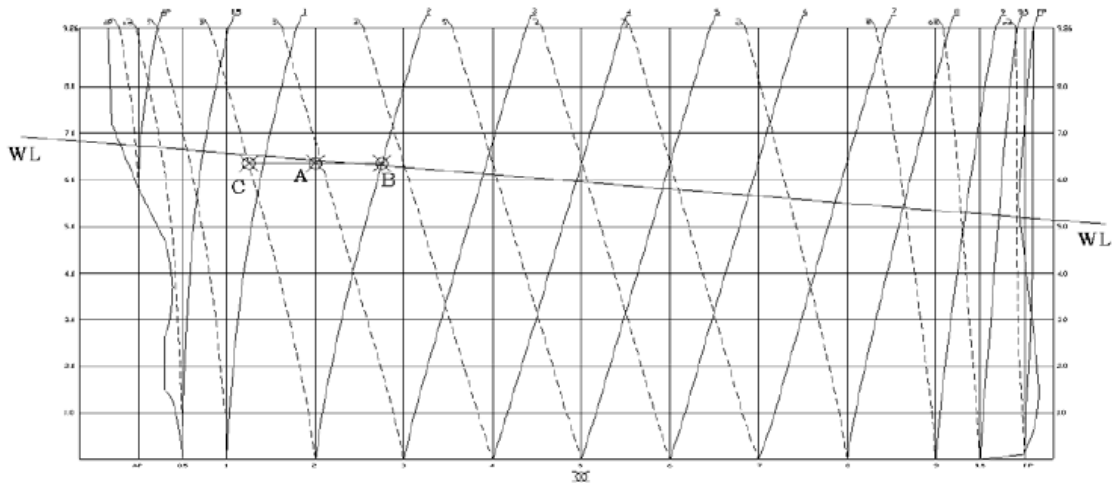
$$V = \iiint_V dV = \int_L A_x dx \quad (3.1)$$

και οι δύο συντεταγμένες του κέντρου όγκου ως εξής:

$$LCB = \frac{M_{yz}}{V} = \frac{\iiint_V x dV}{V} = \frac{\int_L x * A_x dx}{V} \quad (3.2)$$

$$VCB = \frac{M_{xy}}{V} = \frac{\iiint_V z dV}{V} = \frac{\int_L M_x dx}{V} \quad (3.3)$$

Πολλαπλασιάζοντας, στη συνέχεια, τον εκτοπιζόμενο όγκο με το ειδικό βάρος του υγρού βρίσκεται το εκτόπισμα του πλοίου.



Σχήμα 3.2: Καμπύλες εμβαδών και ροπών εγκάρσιων τομών

3.3 Υδροστατικό Διάγραμμα

Το υδροστατικό διάγραμμα (hydrostatic diagram) ενός πλοίου περιέχει ένα σύνολο καμπυλών, που περιγράφουν τα υδροστατικά στοιχεία σε διάφορες ισάλους. Τα υδροστατικά στοιχεία, είναι συγκεκριμένα και εξαρτώνται αποκλειστικά από τη γεωμετρία της γάστρας του πλοίου.

Η δημιουργία των καμπυλών γίνεται μέσω του υπολογισμού των υδροστατικών στοιχείων για πολλές υποθετικές ισάλους. Κάθε ίσαλος αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό εκτόπισμα και βύθισμα. Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός των υδροστατικών στοιχείων για πολλά, διαφορετικά ζεύγη εκτοπίσματος – βυθίσματος, συνθέτουν τις υδροστατικές καμπύλες (hydrostatic curves). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί, ότι κάθε

υδροστατικό διάγραμμα κατασκευάζεται για μια τιμή διαγωγής, συνήθως μηδενική. Ωστόσο, επειδή σπανίζουν οι περιπτώσεις, κατά τις οποίες το πλοίο ισορροπεί σε ισοβύθιστη ίσαλο, αρκετές φορές χρησιμοποιούνται υδροστατικά διαγράμματα, για διάφορες τιμές διαγωγής.

Ένα υδροστατικό διάγραμμα, έχει τη μορφή του σχήματος 3.3. Στον οριζόντιο άξονα αναφέρονται συνήθως τα εκτόπισμα, ενώ στον κάθετο άξονα τα βυθίσματα στο κέντρο πλευστότητας. Κάθε καμπύλη υδροστατικού στοιχείου έχει ξεχωριστό συμβολισμό και ξεχωριστή κλίμακα με τις κατάλληλες μονάδες μέτρησης. Τα στοιχεία, τα οποία περιλαμβάνονται συνήθως σε ένα υδροστατικό διάγραμμα είναι τα ακόλουθα:

- Το **εκτόπισμα** Δ σε θαλασσινό νερό (ορισμένες φορές και σε γλυκό). Το εκτόπισμα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον όγκο υφάλων, (του οποίου ο υπολογισμός περιγράφηκε νωρίτερα), με το ειδικό βάρος του νερού γ .
- Ο **εκτοπιζόμενος όγκος** V .
- Το **κέντρο όγκου**, τόσο κατά τη διαμήκη, όσο και κατά την κατακόρυφη συντεταγμένη, LCB και VCB αντίστοιχα.
- Η διαμήκης συντεταγμένη του **κέντρου πλευστότητας** LCF .
- Η κατακόρυφη απόσταση του **εγκαρσίου και του διαμήκους μετακέντρου** KM_T και KM_L .
- Η εγκάρσια και η διαμήκης **μετακεντρική ακτίνα** BM_T και BM_L .
- Οι **ροπές αδράνειας** της ισάλου I_T και I_L , περί του διαμήκους και εγκαρσίου άξονα, που περνούν από το κέντρο πλευστότητας.
- Η **βρεχόμενη επιφάνεια** WSA , που είναι η επιφάνεια της γάστρας, η οποία έρχεται σε επαφή με το νερό.
- Η **επιφάνεια της ισάλου** WPA .
- Η **μεταβολή στο εκτόπισμα** σε τόνους (tn) ανά μονάδα βυθίσματος, TPC (tons per 1 cm of immersion).
- Η **απαιτούμενη ροπή για δημιουργία διαγωγής** ενός εκατοστού, MTC (Moment to trim 1 cm).
- Οι **συντελεστές μορφής**.

Αναλυτικά, οι συντελεστές μορφής του πλοίου είναι:

- 1) Ο **συντελεστής γάστρας** C_B (Block Coefficient): Ο οποίος δείχνει την πληρότητα της βυθισμένης γάστρας του πλοίου (όγκος υφάλων), μέσα σε ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, με μήκος το μήκος της ισάλου, πλάτος το μέγιστο πλάτος ισάλου και ύψος το βύθισμα, (στο LCF), που αντιστοιχεί στην ίσαλο.

$$C_B = \frac{V}{L * B * T} \quad (3.4)$$

- 2) Ο **συντελεστής μέσης τομής** C_M (Midship Coefficient): Ο οποίος δείχνει το πόσο περιέχεται η επιφάνεια της μέσης τομής, κάτω από μια ίσαλο, μέσα σε ένα περιγεγραμμένο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, πλάτους όσο το πλάτος της ισάλου και ύψους ίσου με το βύθισμα.

$$C_M = \frac{A_M}{B * T} \quad (3.5)$$

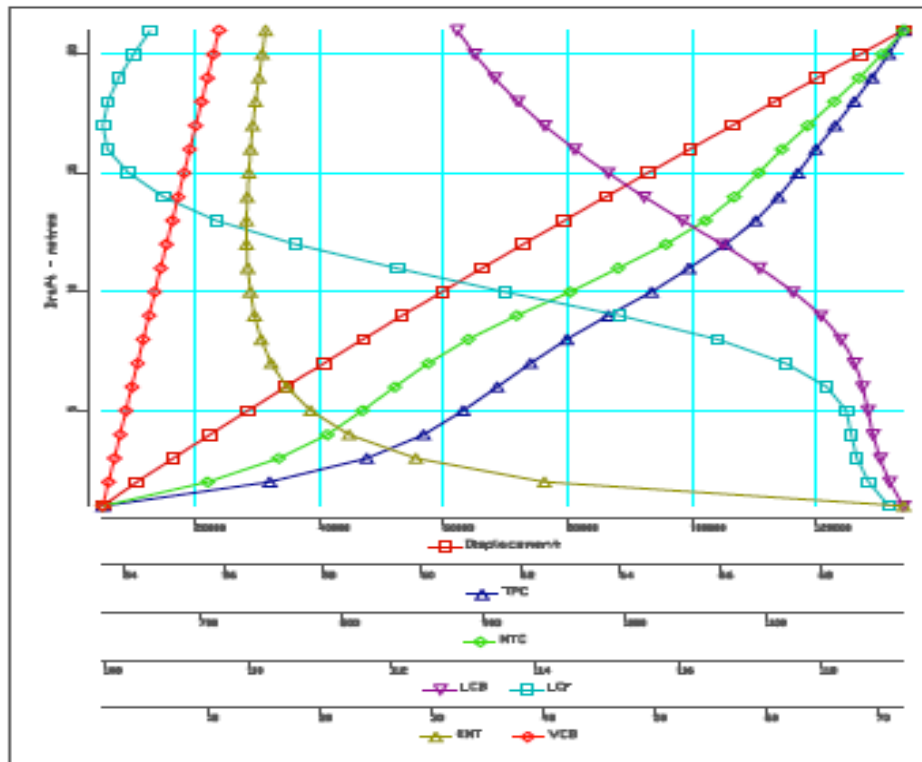
- 3) Ο πρισματικός συντελεστής C_P (Prismatic Coefficient): Ο συντελεστής αυτός πληροφορεί για το πόσο περιέχεται ο εκτοπιζόμενος όγκος μιας ισάλου σε ένα αναπτυγμένο πρίσμα με βάση την επιφάνεια της μεγαλύτερης εγκάρσιας τομής, δηλαδή της μέσης τομής και μήκος το μήκος τις ισάλου.

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad (3.6)$$

- 4) Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας C_{WL} (Waterplane Coefficient): Ο συντελεστής αυτός, τέλος, δείχνει την πληρότητα του εμβαδού της επιφάνειας ισάλου, ως προς ένα περιγεγραμμένο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, με μήκος το μήκος ισάλου και πλάτος το μέγιστο πλάτος ισάλου.

$$C_{WL} = \frac{A_{WL}}{L * B} \quad (3.7)$$

Από τους ορισμούς γίνεται προφανές, ότι το εύρος τιμών των συντελεστών μορφής είναι μεταξύ του μηδέν και του ένα.



Σχήμα 3.3: Υδροστατικό Διάγραμμα

3.4 Εκτόπισμα και κέντρο βάρους

Όλα τα υδροστατικά στοιχεία, που περιγράφηκαν ανωτέρω, σχετίζονται με τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της γεωμετρίας της γάστρας του πλοίου. Από την αρχή της υδροστατικής ισορροπίας, το εκτόπισμα ενός πλοίου ισούται με το συνολικό βάρος του πλοίου, το οποίο ωστόσο, όπως και το κέντρο βάρους εξαρτώνται από τη φόρτωση.

Ένα πλοίο, πέρα του βάρους του κενού πλοίου (lightship), όταν φορτώνεται δέχεται ένα επιπλέον βάρος αναλωσίμων (καύσιμα, λιπαντικά, νερό κτλ) και ωφέλιμου φορτίου (payload), τα οποία αθροιστικά συνιστούν τη συνολική μεταφορική του ικανότητα ή διαφορετικά το πρόσθετο βάρος, που δύναται να μεταφέρει (deadweight). Το συνολικό βάρος του πλοίου προκύπτει, ως το άθροισμα του βάρους κενού πλοίου και του πρόσθετου βάρους.

Το κέντρο βάρους του πλοίου, σε αντίθεση με το κέντρο όγκου, το οποίο εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία της γάστρας, προσδιορίζεται κάθε φορά από τον τρόπο φόρτωσης. Δεν είναι απίθανο δε, ακόμα και για ίσα εκτοπίσματα να εκτιμηθούν διαφορετικές θέσεις κέντρου βάρους, λόγω της διαφορετικής κατάστασης φόρτωσης και κατανομής βαρών. Ο υπολογισμός της θέσης του κέντρου βάρους απαιτεί τον προσδιορισμό και των τριών συντεταγμένων, ήτοι:

- Της διαμήκουσ συντεταγμένης του κέντρου βάρους *LCG* (Longitudinal Center of Gravity).
- Της εγκάρσιας συντεταγμένης του κέντρου βάρους *TCG* (Transverse Center of Gravity), μετρούμενη από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας.
- Της κατακόρυφης συντεταγμένης του κέντρου βάρους *VCG* (Vertical Center of Gravity), μετρούμενη από το βασικό επίπεδο αναφοράς.

Για τον υπολογισμό του κέντρου βάρους χρησιμοποιείται συνήθως το θεώρημα των ροπών, εφόσον είναι γνωστά τα επιμέρους βάρη και κέντρα βαρών του κενού πλοίου και του πρόσθετου βάρους.

Το βάρος κενού πλοίου χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες βαρών, οι οποίες είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής W_{ST} (Weight of Steel Structure), το βάρος εξοπλισμού και ενδιαίτησης W_{OT} (Weight of Outfit) και το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης W_M (Weight of Machinery).

$$LS = W_{ST} + W_{OT} + W_M \quad (3.8)$$

Αντίστοιχα, σε υποκατηγορίες χωρίζεται και το deadweight, οι βασικότερες εκ των οποίων είναι: το ωφέλιμο φορτίο (payload), τα καύσιμα των κυρίων μηχανών (heavy fuel oil), τα καύσιμα των γεννητριών (diesel oil), τα λιπαντικά (lubricant oil), το πόσιμο νερό (fresh water), το βάρος πληρώματος και των αποσκευών, τα εφόδια (provisions) για το πλήρωμα και τα υλικά, που βρίσκονται μόνιμα πάνω στο πλοίο (constants).

$$DWT = PL + HFO + DO + FO + LO + FW + CREW + PR + CNST \quad (3.9)$$

Συνεπώς το εκτόπισμα, με βάση τη φόρτωση ισούται με:

$$\Delta = LS + DWT \quad (3.10)$$

3.5 Ευστάθεια πλοίου στην άθικτη κατάσταση – Εγκάρσια Ευστάθεια

Έχοντας ορίσει την ίσαλο, στην οποία το πλοίο ισορροπεί κι έχοντας υπολογίσει τα υδροστατικά χαρακτηριστικά της, το δεύτερο πρόβλημα, που παρουσιάζει ενδιαφέρον από την πλευρά της υδροστατικής ισορροπίας είναι ο έλεγχος της ευστάθειας σε αυτήν την ίσαλο και υπό ποιες προϋποθέσεις αυτή επιτυγχάνεται.

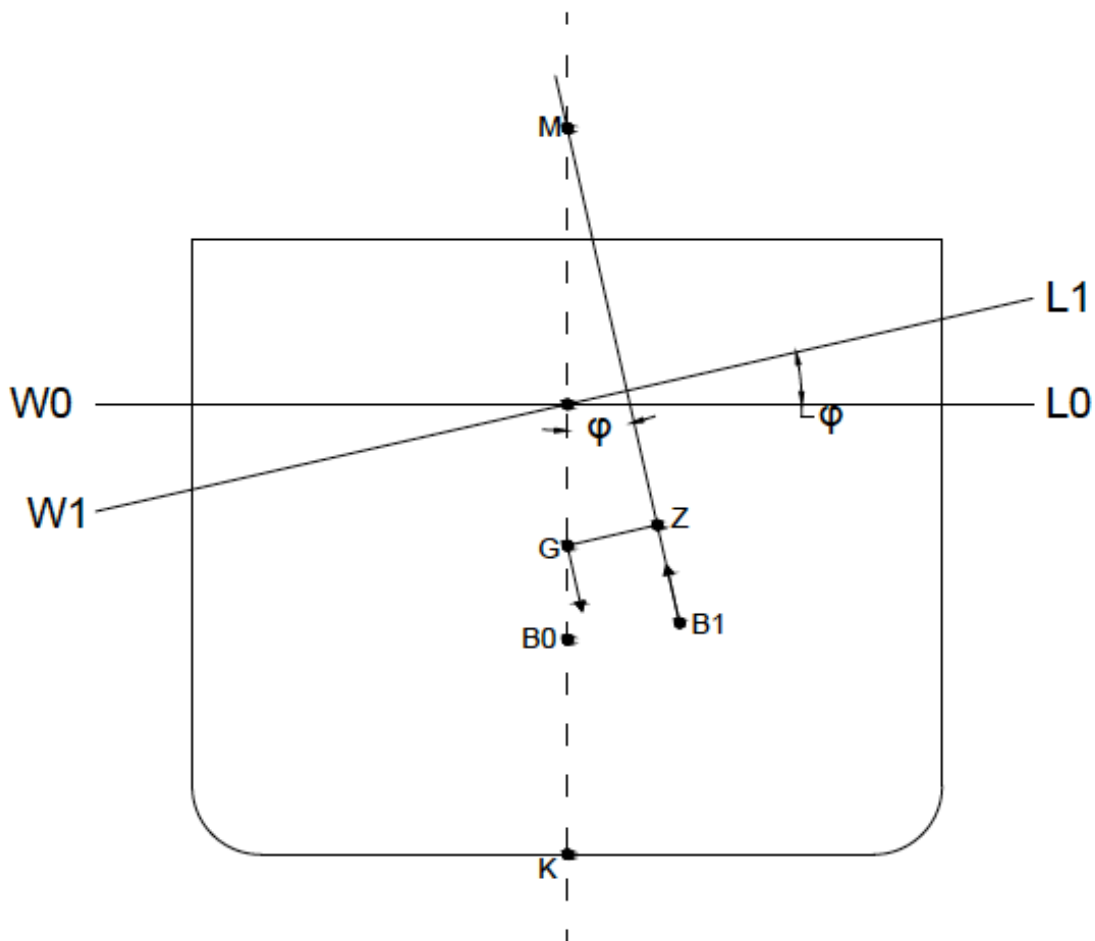
Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας περιορίζεται στη μελέτη της ευστάθειας μόνο στην άθικτη κατάσταση. Η ευστάθεια του άθικτου πλοίου, αναλόγως του άξονα, γύρω από τον οποίο το πλοίο αναπτύσσει την κλίση, χωρίζεται σε εγκάρσια ευστάθεια (transverse stability), όταν το πλοίο κλίνει γύρω από το διαμήκη άξονα και σε διαμήκη ευστάθεια (longitudinal stability), όταν αυτό κλίνει γύρω από τον εγκάρσιο άξονα. Η ευστάθεια, δηλαδή, ασχολείται μόλις με τις δύο από τις έξι κινήσεις, που μπορεί να κάνει ένα πλοίο και συγκεκριμένα με τις δύο περιστροφές, που προαναφέρθηκαν. Στην εγκάρσια ευστάθεια, η γωνία που δημιουργείται ονομάζεται εγκάρσια κλίση (heel), ενώ στη διαμήκη ονομάζεται διαγωγή (trim). Η περίπτωση, που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, είναι αυτή της εγκάρσιας ευστάθειας, καθώς οι κλίσεις που αναπτύσσονται λόγω της επίδρασης εξωτερικών ροπών στο πλοίο (π.χ λόγω δυσμενών συνθηκών) είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις διαμήκεις. Οι πιθανότητες, συνεπώς, βύθισης ή ανατροπής του πλοίου είναι αυξημένες.

Η εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου εξετάζεται σε δύο περιοχές:

- Στην περιοχή των μικρών κλίσεων, περίπου από μηδέν έως δέκα μοίρες γωνίας εγκάρσιας κλίσης.
- Στην περιοχή των μεγάλων κλίσεων, που είναι κι αυτές που αναφέρονται σε δυσμενείς καταστάσεις.

Στην περίπτωση των μικρών κλίσεων, γίνεται η υπόθεση ότι ένα πλοίο υπό την επίδραση μιας εξωτερικής ροπής, βρίσκεται σε μια κεκλιμένη ίσαλο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Οι υποθέσεις, που γίνονται για την εξέταση της εγκάρσιας ευστάθειας, είναι ότι:

- Η διαγωγή του πλοίου δε μεταβάλλεται.
- Η κατακόρυφος της κεκλιμένης ισάλου W_1L_1 που διέρχεται από το κέντρο όγκου B_1 , τη διεύθυνση της οποίας ακολουθεί και η δύναμη της άντωσης, τέμνει την κατακόρυφο της αρχικής ισάλου W_0L_0 , που διέρχεται από το κέντρο βάρους, σε ένα σταθερό σημείο.
- Το κέντρο βάρους παραμένει στην ίδια θέση, όπως και στην ισοβύθιστη ίσαλο, εφόσον κατά τη δημιουργία της κλίσης δεν υπήρξε μεταφορά ελευθέρων βαρών.



Σχήμα 3.4: Εγκάρσια κλίση πλοίου

Το κέντρο όγκου της ισοβύθιστης ισάλου B_0 , μετατοπίστηκε καθώς μια σφήνα όγκου v αναδύθηκε, λόγω της κλίσης, ενώ μια άλλη, ίσου ακριβώς όγκου βυθίστηκε. Το σημείο τομής M των δύο κατακόρυφων ονομάζεται εγκάρσιο μετάκεντρο (transverse metacenter) και για μικρές κλίσεις θεωρείται πως είναι ένα σταθερό, αμετάβλητο σημείο, γύρω από το οποίο αναπτύσσεται η εγκάρσια κλίση.

Φέρνοντας μια κάθετη ευθεία από το G στην ευθεία B_1M , σχηματίζεται το ευθύγραμμο τμήμα GZ (Σχ. 3.4). Η απαιτούμενη ροπή για να επιστρέψει το σώμα στην αρχική του θέση, ονομάζεται ροπή επαναφοράς και ισούται με:

$$M_R = \Delta * GZ \quad (3.11)$$

Το δε ευθύγραμμο τμήμα GZ ονομάζεται μοχλοβραχίονας επαναφοράς (righting lever) και υπολογίζεται ως:

$$GZ = GM * \sin(\varphi) \quad (3.12)$$

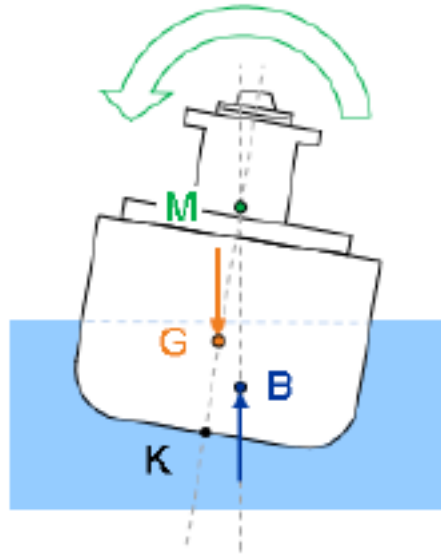
όπου το GM είναι το ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ του κέντρου βάρους G και του εγκάρσιου μετακέντρου M και ονομάζεται μετακεντρικό ύψος (metacentric height), ενώ

η γωνία φ είναι η γωνία εγκάρσιας κλίσης. Το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM είναι ένα σταθερό μέγεθος για κάθε δεδομένη κατάσταση φόρτωσης, και βρίσκεται ως:

$$GM_T = KM_T - VCG \quad (3.13)$$

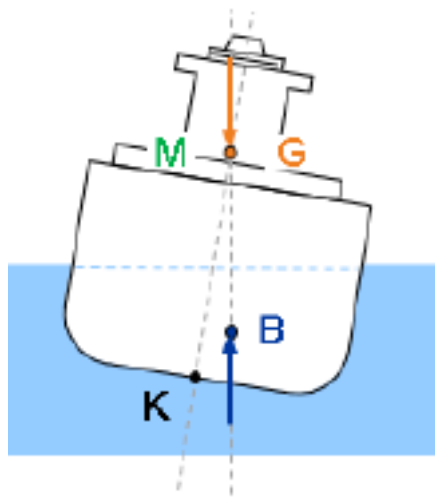
Όπου το KM_T είναι υδροστατικό στοιχείο και βρίσκεται από τον υδροστατικό πίνακα και το VCG από τη φόρτωση. Αντίστοιχα, η εγκάρσια μετακεντρική ακτίνα BM_T είναι ένα σταθερό μέγεθος, για κάθε δεδομένη ίσαλο.

Σε επίπεδο αρχικής ισορροπίας (initial stability), στην περίπτωση που το εγκάρσιο μετάκεντρο βρίσκεται πάνω από το κέντρο βάρους τότε θεωρείται πως υπάρχει επαρκής ευστάθεια, το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος GM λαμβάνει θετικές τιμές και η κατάσταση κρίνεται ευσταθής (Σχ. 3.5).



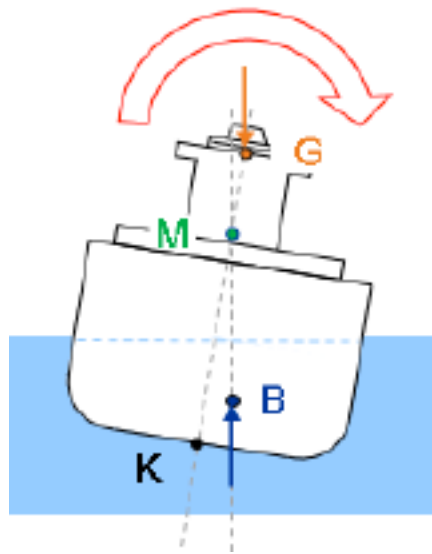
Σχήμα 3.5: Ευσταθής ισορροπία

Αντίθετα, αν για οποιονδήποτε λόγο το κέντρο βάρους μετατοπιστεί προς τα πάνω, τότε η ευστάθεια του πλοίου μειώνεται, καθώς το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος μικραίνει. Στην περίπτωση, που το κέντρο βάρους με το εγκάρσιο μετάκεντρο βρεθούν στην ίδια οριζόντια ευθεία, τότε η κατάσταση αυτή θεωρείται ουδέτερης ισορροπίας και το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος μηδενίζεται (Σχ. 3.6).



Σχήμα 3.6: Ουδέτερη Ισοροπία

Υπάρχει, ωστόσο κι ένα ενδεχόμενο, για μια αντίστοιχη μετατόπιση του κέντρου βάρους, το εγκάρσιο μετακέντρο να βρεθεί κάτω από αυτό. Στην περίπτωση αυτή, θεωρούμε πως έχουμε ασταθή ισοροπία και το μετακεντρικό ύψος λαμβάνει αρνητικές τιμές (Σχ. 3.7).



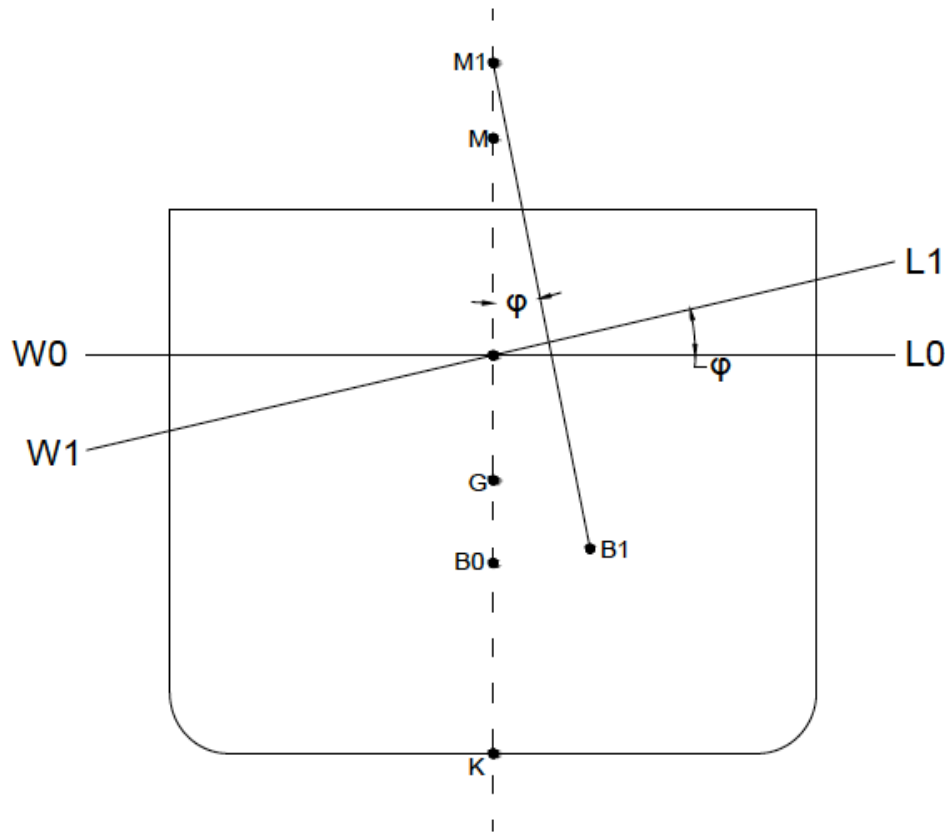
Σχήμα 3.7: Ασταθής Ισοροπία

Τα ανωτέρω ενδεχόμενα, συνιστούν τις πιθανές καταστάσεις αρχικής ισοροπίας του πλοίου, της οποίας κριτήριο είναι το μετακεντρικό ύψος.

Αντίθετα, στην περίπτωση των μεγάλων κλίσεων, η υπόθεση ότι το εγκάρσιο μετακέντρο παραμένει ένα σταθερό σημείο για τις διάφορες τιμές γωνιών εγκάρσιας κλίσης δεν επαληθεύεται. Το σημείο τομής των δύο κατακόρυφων, της ισοβύθισης και της κεκλιμένης ισάλου, θα είναι ένα άλλο, μετατοπισμένο σημείο, το οποίο ονομάζεται ψευδομετάκέντρο (false metacenter).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8, το νέο μετακεντρικό ύψος βρίσκεται ως:

$$GM_1 = VCB_0 + B_0M + MM_1 - VCG \quad (3.14)$$



Σχήμα 3.8: Το ψευδομετάκεντρο στις μεγάλες κλίσεις

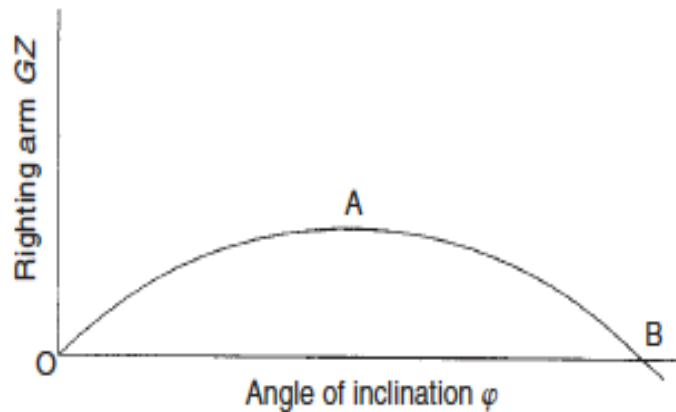
Παρατηρείται, πως από την αρχική ευστάθεια συμμετέχουν η κατακόρυφη συνιστώσα του κέντρο άντωσης VCB_0 και η αρχική μετακεντρική ακτίνα B_0M , τα οποία εξαρτώνται από την αρχική γεωμετρία της γάστρας, καθώς και το κατακόρυφο κέντρο βάρους VCG , το οποίο προκύπτει από τη φόρτωση. Από τη νέα γεωμετρία, που έχει προκύψει λόγω της κλίσης, συμμετέχει μόνο το ευθύγραμμο τμήμα MM_1 , το οποίο είναι η απόσταση του αρχικού εγκάρσιου μετακέντρου με το ψευδομετάκεντρο.

Οι μεγάλες κλίσεις είναι αυτές που στην πράξη παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς περιγράφουν καλύτερα τις πιθανές δυσμενείς καταστάσεις, που δύναται να συναντήσει το πλοίο. Στις κλίσεις αυτές, το βασικό στοιχείο που μελετάται είναι η καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, η οποία παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της καμπύλης είναι ότι:

- Αφορά στη στατική ευστάθεια του πλοίου, κατά το μεταβατικό φαινόμενο της εγκάρσιας κλίσης.

- Χαράσσεται για μια συγκεκριμένη διαγωγή και για ένα δεδομένο εκτόπισμα.
- Σχεδιάζοντας την εφαπτομένη στο σημείο της μηδενικής γωνίας, τότε το ύψος που μετράται για γωνία ίση με $57,3^\circ$, ή 1 ακτίνιο, είναι το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος της αρχικής ευστάθειας GM_T .
- Η γωνία, στην οποία ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς μηδενίζεται, ονομάζεται γωνία ανατροπής, ενώ η περιοχή ανάμεσα στη γωνία ανατροπής και τη γωνία μηδέν μοιρών καλείται περιοχή στατικής ευστάθειας.
- Το πλοίο ισορροπεί όταν η ροπή που προκαλεί την εγκάρσια κλίση γίνει ίση με τη ροπή επαναφοράς.

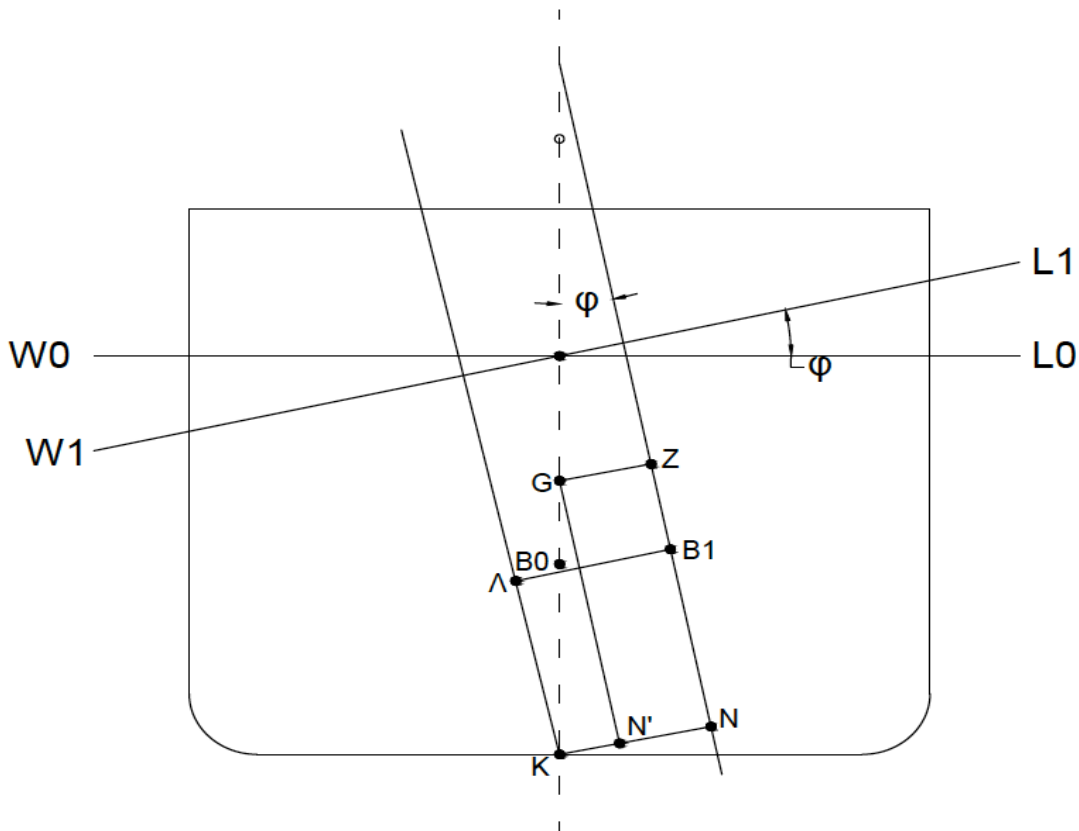


Σχήμα 3.9: Καμπύλη Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς γίνεται χρήση των καμπυλών ευστάθειας.

3.6 Παραμετρικές Καμπύλες Στατικής Ευστάθειας

Οι καμπύλες ευστάθειας, όπως και το υδροστατικό διάγραμμα, αποτελούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Πρόκειται για παραμετρικές συναρτήσεις του εκτοπίσματος και της γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Με τη βοήθεια των καμπυλών αυτών, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός, για ένα ζεύγος εκτοπίσματος – γωνίας, της απόστασης AB_1 του κέντρου όγκου από ένα κατακόρυφο επίπεδο, το οποίο στρέφεται γύρω από το διαμήκη άξονα, που προκύπτει από την τομή του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας με το βασικό επίπεδο αναφοράς. Το ίχνος αυτού του άξονα είναι το σημείο K , στην τρύπια του πλοίου.



Σχήμα 3.10: Μοχλοβραχίονες KN και GZ

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10 ο μοχλοβραχίονας $\overline{AB_1}$ προκύπτει ως ο λόγος της ροπής του συνολικού όγκου κάτω από την ισάλο W_1L_1 , προς το συνολικό όγκο και είναι ίσος με το μοχλοβραχίονα \overline{KN} , όπως και με κάθε άλλο μοχλοβραχίονα μεταξύ των κατακόρυφων της κεκλιμένης ισάλου, που διέρχονται από τα σημεία K και B_1 .

Για να είναι δυνατόν οι καμπύλες ευστάθειας, να χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε κατάσταση φόρτωσης, κατά τον υπολογισμό τους λαμβάνεται ως υποθετικό κέντρο βάρους το σημείο K στην τρόπιδα. Επομένως, οι καμπύλες ευστάθειας δίνουν τις τιμές των μοχλοβραχιόνων \overline{KN} , για συγκεκριμένες τιμές εκτοπίσματος και γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Κάθε διάγραμμα καμπυλών σχεδιάζεται υπό σταθερή τιμή διαγωγής.

Ο προσδιορισμός του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, για την πραγματική τιμή του κέντρου βάρους, προκύπτει εύκολα από τη γεωμετρία (Σχ, 3.10) και δίνεται από τη σχέση:

$$GZ = KN - VCG * \sin(\varphi) \quad (3.14)$$

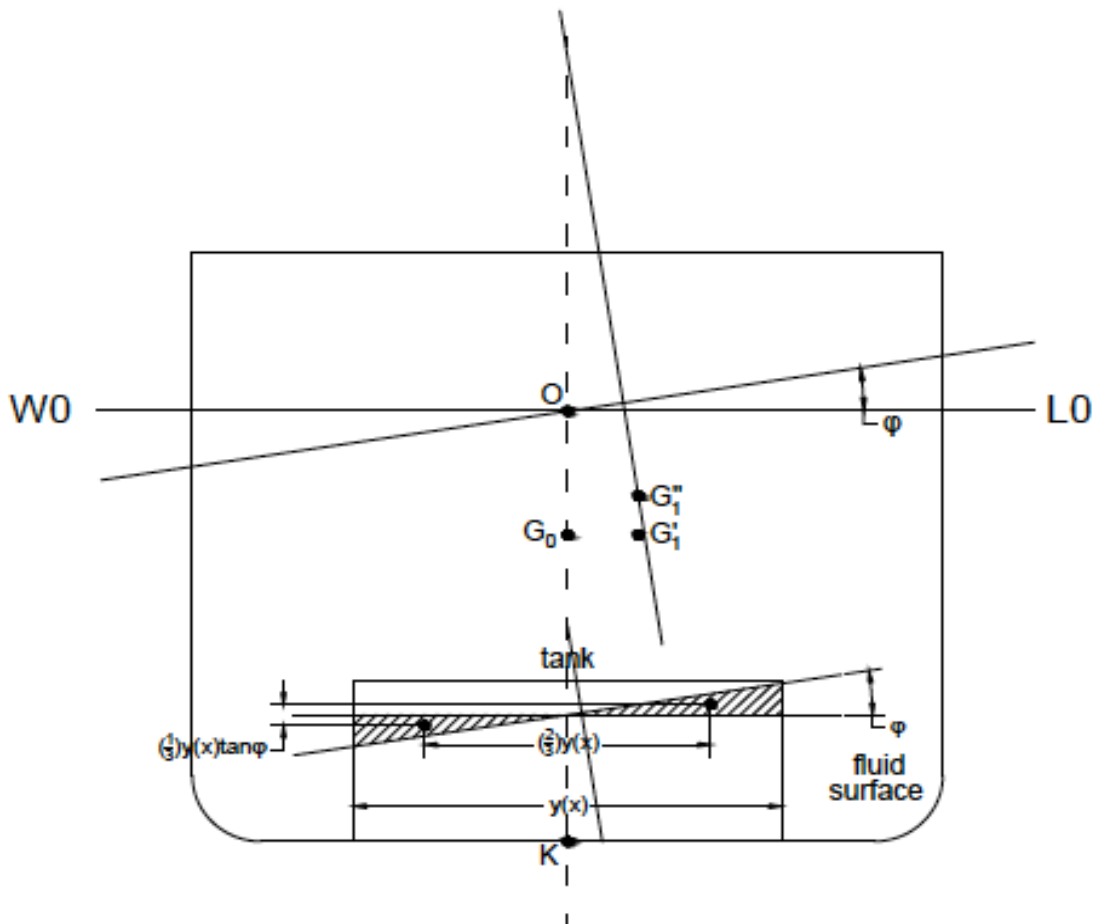
3.7 Επίδραση Ελευθέρων Επιφανειών

Εφόσον υπολογιστούν οι τιμές του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, για διάφορες γωνίες εγκάρσιας κλίσης, χρειάζεται να ληφθεί υπόψη και επίδραση των ελευθέρων επιφανειών των υγρών μέσα στις δεξαμενές.

Οι δεξαμενές ενός πλοίου γεμίζονται με διάφορα υγρά φορτία (έρμα, πόσιμο νερό, καύσιμα κ.λ.π), κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο ειδικό βάρος. Οι δεξαμενές έχουν συνήθως παράλληλα τοιχώματα και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν είναι πλήρως γεμισμένες, που σημαίνει ότι η επιφάνεια του υγρού δεν έρχεται σε επαφή με το πάνω έλασμα της δεξαμενής. Όταν, λοιπόν, το πλοίο λάβει μια εγκάρσια κλίση, τα υγρά μέσα στις δεξαμενές μετακινούνται, ώστε να διατηρηθεί η επιφάνεια τους σε οριζόντια θέση σε σχέση με την κλίση.

Αυτό μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητό αν υποτεθεί πως η δεξαμενή είναι ένα σώμα με παράλληλα τοιχώματα, που πλέει σε μια ίσαλο, η οποία ταυτίζεται με την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, που περιέχεται μέσα στη δεξαμενή. Επιπλέον, ο όγκος του υγρού ισοδυναμεί με τον υποθετικό εκτοπιζόμενο όγκο του σώματος. Αν για οποιονδήποτε λόγο, συνεπώς, δημιουργηθεί εγκάρσια κλίση στην ίσαλο που πλέει το σώμα, αντίστοιχη κλίση θα λάβει και η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Επειδή η μεταβολή στον εξωτερικό εκτοπιζόμενο όγκο είναι ισόογκη, θεωρείται πως και ο όγκος του υγρού μέσα στη δεξαμενή παραμένει σταθερός. Επομένως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.11, η αναδυόμενη και η καταδυόμενη σφήνα, που προκύπτουν λόγω της εγκάρσιας κλίσης είναι ίσες. Οι ροπές μεταφοράς των όγκων των σφηνών προκαλούν την μετακίνηση του κέντρου βάρους του υγρού, το οποίο συμπίπτει και με το κέντρο όγκου της δεξαμενής.

Η συνολική επίδραση των ροπών μεταφοράς του όγκου όλων των δεξαμενών του πλοίου, έχει σαν αποτέλεσμα την μετακίνηση και του κέντρου βάρους του πλοίου στην εγκάρσια και στην κατακόρυφη συντεταγμένη. Η κατακόρυφη μετακίνηση του κέντρου βάρους μειώνει τις τιμές του μοχλοβραχίονα επαναφοράς στις γωνίες εγκάρσιας κλίσης, επιδρώντας αρνητικά την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου.



Σχήμα 3.11: Ελεύθερη επιφάνεια υγρού μέσα σε δεξαμενή

Στο πλαίσιο της παρούσας η διόρθωση, που γίνεται τόσο στις τιμές του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, όσο και στην κατακόρυφη συντεταγμένη του κέντρου βάρους είναι μέσω των σχέσεων:

$$VCG' = VCG + \left[\sum_1^n \frac{\gamma_f I_f}{\Delta} \right] \quad (3.23)$$

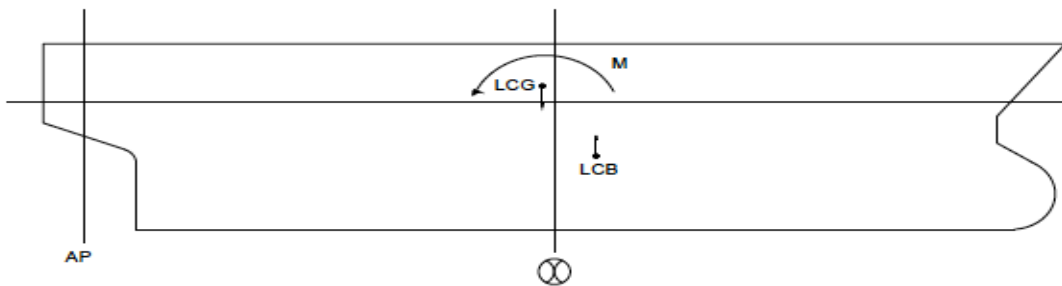
$$GZ' = KN - VCG' * \sin(\varphi) \quad (3.24)$$

όπου γ_f το ειδικό βάρος και I_f η εγκάρσια ροπή αδράνειας της επιφάνειας του υγρού, που βρίσκεται σε κάθε δεξαμενή και n ο αριθμός των δεξαμενών. Οι αποδείξεις των παραπάνω σχέσεων θεωρούνται δεδομένες, από το σύγγραμμα «Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου», Γιώργος Τζαμπίρας 2015».

3.8 Διαγωγή και Διαμήκης Ευστάθεια Πλοίου

Μέχρι τώρα, έχει γίνει αναφορά μόνο στην εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου, όταν σε αυτό δημιουργηθεί εγκάρσια κλίση περί του διαμήκους άξονα του. Κλίση, ωστόσο, μπορεί να δημιουργηθεί και στο διάμηκες επίπεδο, όταν αυτό στρέφεται γύρω από τον εγκάρσιο άξονα του. Στις ισόογκες μεταβολές, ο άξονας αυτός περνά από το κέντρο πλευστότητας του πλοίου και επομένως η διαγωγή αναπτύσσεται γύρω από αυτό (Σχ. 3.13).

Η διεύθυνση προς την οποία στρέφεται το πλοίο, καθώς και το μέτρο της διαγωγής εξαρτώνται από τις θέσεις του κέντρου βάρους και κέντρου όγκου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Δημιουργία Ροπής Διαμήκους κλίσης

Το μέτρο της διαγωγής υπολογίζεται ως:

$$t = \frac{\Delta * (LCG - LCB)}{MTC * 100} \quad (3.15)$$

όπου ο αριθμητής είναι η ροπή κλίσης και το MTC , η απαιτούμενη ροπή για να δημιουργηθεί διαγωγή ενός εκατοστού. Στην διαμήκη κλίση, στην οποία το πλοίο ισορροπεί όλες οι δυνάμεις θα είναι κάθετες στο επίπεδο της ισάλου και το κέντρο βάρους θα βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφο με το κέντρο όγκου. Η τελική ροπή κλίσης θα ισούται με:

$$M_L = \Delta * (LCG - LCB) * \cos(\theta) \quad (3.16)$$

Το μέτρο της διαγωγής υπολογίζεται και μέσω των βυθισμάτων στις θέσεις των καθέτων ως:

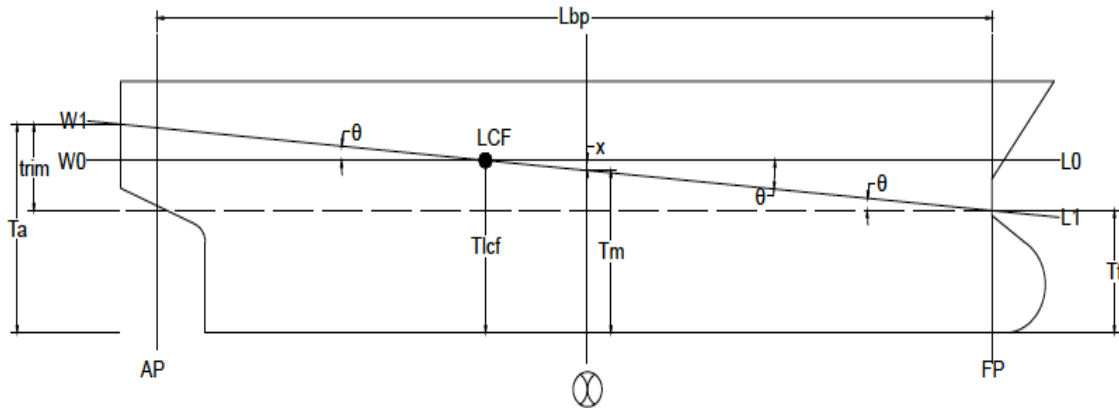
$$t = T_F - T_A \quad (3.17)$$

Στην περίπτωση που το κέντρο όγκου βρίσκεται πρόωραθεν του κέντρου βάρους, η διαγωγή που προκύπτει είναι έμπρυμη και συνεπώς το βύθισμα στην πρυμναία κάθετο είναι μεγαλύτερο του βυθίσματος στην πωραία. Στην αντίθετη περίπτωση,

αναπτύσσεται έμπροση διαγωγή και μεγαλύτερο είναι το βύθισμα στην προωαία κάθετο. Η σύμβαση που έχει γίνει είναι, πως οι έμπρομηνες διαγωγές λαμβάνουν αρνητικό πρόσημο, ενώ οι έμπρομηρες θετικό.

Χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία, όπως περιγράφεται στο σχήμα 3.13, υπολογίζεται η τιμή της διαμήκου κλίσης:

$$\tan(\theta) = \frac{t}{L_{BP}} \quad \text{ή} \quad \tan(\theta) = \frac{x}{\frac{L_{BP}}{2} - LCF} \quad (3.18)$$



Σχήμα 3.13: Πλοίο στην κεκλιμένη κατάσταση

Χρησιμοποιώντας το υδροστατικό διάγραμμα, προσδιορίζεται το βύθισμα στο κέντρο πλευστότητας, (μετρώντας από τη βασική γραμμή αναφοράς) και η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας, ως απόσταση από το μέσο νομέα, ή από την προωαία κάθετο (aft perpendicular). Εξισώνοντας τις δύο σχέσεις (3.17), που υπολογίζουν τη διαμήκη κλίση ισχύει ότι:

$$\begin{cases} \tan(\theta) = \frac{t}{L_{BP}} \\ \tan(\theta) = \frac{x}{\frac{L_{BP}}{2} - LCF} \end{cases} \Rightarrow x = \frac{t}{L_{BP}} * \left(\frac{L_{BP}}{2} - LCF \right) \quad (3.19)$$

Το βύθισμα στο μέσο νομέα βρίσκεται ως:

$$T_M = T_{LCF} + x \quad (3.20)$$

Για τον υπολογισμό των βυθισμάτων στη θέση της πρυμναίας και της προωραίας καθέτου, χρησιμοποιείται η σχέση (3.17) καθώς και η σχέση:

$$T_M = \frac{T_A + T_F}{2} \quad (3.21)$$

Εφόσον έχουν βρεθεί η διαγωγή, τα διάφορα βυθίσματα και η κλίση, ο έλεγχος της διαμήκους ευστάθειας πραγματοποιείται με τον υπολογισμό του διαμήκους μετακεντρικού ύψους GM_L :

$$GM_L = KM_L - VCG \quad (3.22)$$

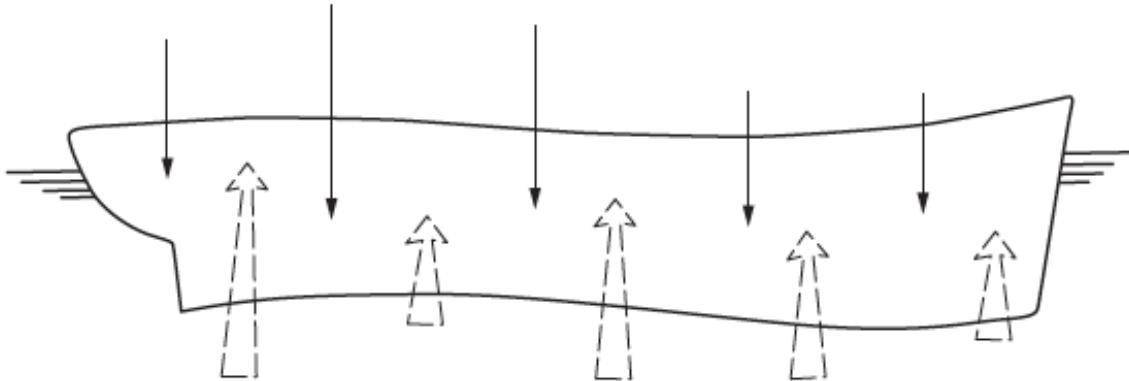
4. ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ

4.1 Το Πλοίο Δοκός

Η μελέτη της διαμήκουσ αντοχής του πλοίου βασίζεται στην υπόθεση, πως η γάστρα του πλοίου συμπεριφέρεται ως μια κοίλη, λεπτότοιχη δοκός (hull girder) και επικεντρώνεται σε δύο στοιχεία:

- Στον καθορισμό της φόρτισης, που επιβάλλεται στο πλοίο.
- Στον έλεγχο της απόκρισης.

Οι φορτίσεις που μελετώνται στο πλαίσιο της εργασίας, είναι οι στατικές φορτίσεις, λόγω των διαφορών των κατανομών των δυνάμεων του βάρους και της άντωσης, κατά μήκος του πλοίου, όταν αυτό ισορροπεί σε ήρεμο νερό.



Σχήμα 4.1: Οι φορτίσεις στη γάστρα του πλοίου

Οι φορτίσεις αυτές είναι υπεύθυνες για τον πρόκληση διαμήκουσ κάμψης, τη δημιουργία δηλαδή διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Σημειώνεται ότι στρεπτικές ροπές, που δύναται να αναπτυχθούν στο εγκάρσιο επίπεδο, δεν εξετάζονται, καθώς δεν ελέγχονται ασύμμετρες καταστάσεις φόρτωσης, που δύναται να δημιουργήσουν εγκάρσια κλίση στην αρχική ισορροπία.

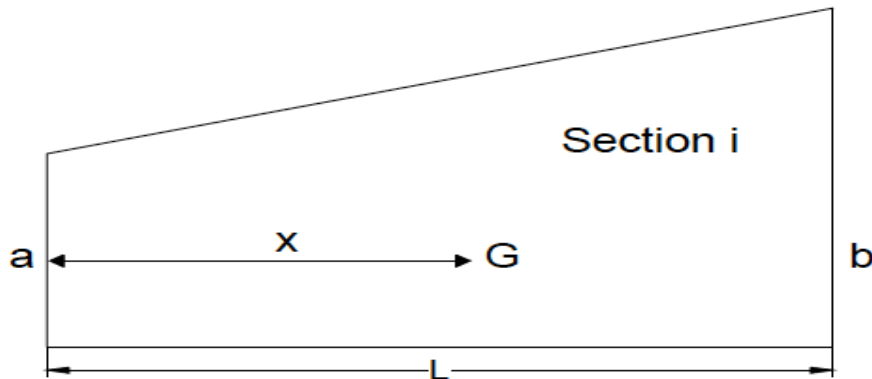
Ο έλεγχος, επομένως, της διαμήκουσ αντοχής περιορίζεται στον υπολογισμό των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών και την αναπαράσταση των αντιστοίχων καμπυλών συναρτήσεσ του μήκουσ. Από τις κατανομές αυτές, βρίσκονται οι μέγιστες τιμές και ελέγχεται, αν κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών κατασκευαστικών ορίων της μέγιστης αντοχής του πλοίου. Τόσο τα όρια των καμπτικών ροπών, όσο και των διατμητικών δυνάμεων, είναι μεγέθη τα οποία έχουν προσδιοριστεί κατά την κατασκευή του πλοίου και θεωρούνται δεδομένα

4.2 Διατηρητικές Δυνάμεις και Καμπτικές Ροπές σε Ήρεμο Νερό

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η διαμήκης κάμψη στο πλοίο προκαλείται, λόγω της δύναμης του βάρους και της δύναμης της άντωσης, που αντιδρά σε αυτή. Οι δυνάμεις αυτές είναι κατανεμημένες σε όλο το μήκος, (ολικό), του πλοίου και η ανομοιομορφία των δύο κατανομών δημιουργεί μια συνισταμένη φόρτιση σε κάθε σημείο, προκαλώντας την κάμψη του πλοίου. Υποθέτοντας, ότι το πλοίο ισορροπεί χωρίς εγκάρσια κλίση, η κάμψη περιορίζεται στο κατακόρυφο επίπεδο.

Η κατανομή του συνολικού βάρους ενός πλοίου, προκύπτει από τις επιμέρους κατανομές των ομάδων βαρών του κενού σκάφους και των βαρών των διαμερισμάτων (δεξαμενές και κύπη), όταν φορτώνονται. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κάθε επιμέρους κατανομή είναι γραμμική και περιγράφεται από ένα τραπέζιο (Σχ. 4.2), σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\begin{cases} a = \frac{2 * i}{L} * (2 - \frac{3 * x}{L}) \\ b = \frac{2 * i}{L} * (\frac{3 * x}{L} - 1) \end{cases} \quad (4.1)$$



Σχήμα 4.2: Κανόνας Τραπεζίου

Οι επιμέρους κατανομές οριοθετούνται, προφανώς, από τις θέσεις μεταξύ των οποίων εκτείνεται κάθε ομάδα βάρους και κάθε διαμέρισμα, κατά μήκος του πλοίου. Αθροιστικά, οι κατανομές συνθέτουν την κατανομή του συνολικού βάρους του πλοίου, η συνάρτηση της οποίας, συμβολίζεται με $w(x)$.

Η δύναμη της άντωσης έχει πολυωνυμική συνάρτηση κατανομής, μια τάξη μεγαλύτερη από τη συνάρτηση κατανομής του συνολικού βάρους και συμβολίζεται με $b(x)$. Το εμβαδόν, που περικλείεται κάτω από την καμπύλη της κατανομής, ισούται με το εκτόπισμα του πλοίου. Η διαφορά των δύο κατανομών, του συνολικού βάρους και της άντωσης δίνουν τη συνάρτηση κατανομής της φόρτισης, που είναι υπεύθυνη για τη διαμήκη κάμψη του πλοίου:

$$p(x) = w(x) - b(x) \quad (4.2)$$

Λόγω της ισορροπίας του πλοίου ισχύει ότι:

- Το προσημασμένο εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης της κατανομής $p(x)$ και οριζοντίου άξονα OX πρέπει να ισούται με μηδέν.
- Το κέντρο του τμήματος της επιφάνειας, που βρίσκεται στην πάνω πλευρά του άξονα OX , πρέπει να βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφο με το αντίστοιχο της κάτω πλευράς.

Οι μαθηματικές εκφράσεις των ανωτέρω συνθηκών είναι:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^L p(x) dx = 0 \\ \int_0^L p(x) * x dx = 0 \end{array} \right. \quad (4.3)$$

Από τις σχέσεις (4.3) βγαίνει το συμπέρασμα, ότι στην κατάσταση ισορροπίας οι συνισταμένες των δυνάμεων και των ροπών ισούνται με μηδέν.

Για την εύρεση των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών, έχοντας προσδιορίσει την κατανομή της φόρτισης $p(x)$ και θεωρώντας ένα στοιχειώδες τμήμα της γάστρας μήκους dx , χρησιμοποιούνται οι διαφορικές σχέσεις,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ(x)}{dx} = p(x) \\ \frac{d^2M(x)}{dx^2} = p(x) \end{array} \right. \quad (4.4)$$

Όπου, η θετική φορά για τις δυνάμεις λαμβάνεται προς τα κάτω και για τις ροπές η δεξιόστροφη. Για τον υπολογισμό των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών μέσω των σχέσεων (4.4), χρειάζεται ένα γνωστό σημείο, το οποίο θα είναι η τιμή των κατανομών στο πρυμναίο άκρο. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θεωρείται πως στα άκρα του πλοίου δεν ασκούνται συγκεντρωμένες δυνάμεις και επομένως οι τιμές των κατανομών είναι σχεδόν μηδενικές, εκτός αν οριστεί διαφορετικά. Επομένως:

$$\frac{dQ(x)}{dx} = p(x) \Rightarrow Q(x) = Q_{AE} + \int_{AE}^x p(x) dx \quad (4.5)$$

$$\frac{d^2M(x)}{dx^2} = p(x) \Leftrightarrow \frac{d^2M(x)}{dx^2} = \frac{dQ(x)}{dx} \Rightarrow M(x) = M_{AE} + \int_{AE}^x Q(x) dx \quad (4.6)$$

Στην περίπτωση που, μετά τον υπολογισμό των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών, η τιμή τους στο προωαίο άκρο του πλοίου δεν είναι μηδέν, τότε δεν ικανοποιείται η συνθήκη ισορροπίας (4.3) και πρέπει να γίνει διόρθωση στο βύθισμα και στη διαγωγή του πλοίου. Το κομμάτι αυτό θα καλυφθεί εκτενώς, στο κεφάλαιο 5, όταν θα περιγραφεί η διαδικασία εύρεσης της ισάλου ισορροπίας.

Στην πραγματικότητα οι τιμές στο προωαίο άκρο του πλοίου δε μηδενίζονται πλήρως και ταυτόχρονα κατά τη διαδικασία υπολογισμού των κατανομών $Q(x)$ και $M(x)$ γίνονται αριθμητικές προσεγγίσεις, που δημιουργούν μια τυπική απόκλιση από την πραγματική τιμή. Η απόκλιση των τιμών στο προωαίο άκρο, που θεωρείται αποδεκτή, είναι στην περίπτωση των διατμητικών δυνάμεων ίση με το 3% της μέγιστης διατμητικής δύναμης και στην περίπτωση των καμπτικών ροπών ίση με το 6% της μέγιστης καμπτικής ροπής.

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

5.1 Γενικά

Ο κώδικας αναπτύχθηκε στο υπολογιστικό περιβάλλον Matlab, με σκοπό τη δημιουργία προγράμματος ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης. Εφεξής, η αναφορά σε αυτό θα γίνεται με αυτήν την ονομασία. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε, με βάση τις προδιαγραφές των νηογνομώνων για πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην, τόσο ξηρού (dry bulk carriers), όσο και υγρού (tankers). Σημειώνεται, ότι για τους υπόλοιπους τύπους πλοίων ορισμένες (π.χ containerships) προδιαγραφές τροποποιούνται. Η λειτουργία του επικεντρώνεται σε:

- Καθορισμό μιας συμμετρικής, προς το διάμηκες επίπεδο, κατάστασης φόρτωσης.
- Εξισορρόπηση του πλοίου για τη φόρτωση, που ορίστηκε.
- Υπολογισμό των υδροστατικών στοιχείων για την προκύπτουσα ίσαλο.
- Υπολογισμό της καμπύλης ευστάθειας και έλεγχο αυτής, με βάση τα κριτήρια του IMO.
- Υπολογισμό των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου, εύρεση των μεγίστων τιμών τους και έλεγχο της διαμήκους αντοχής.

Σημειώνεται, πως με τον όρο συμμετρική κατάσταση φόρτωσης, δηλώνεται πως το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, που αναπτύχθηκε, δεν υπολογίζει την επίδραση της εγκάρσιας κλίσης, που δύναται να προκαλέσει η ασύμμετρη φόρτωση, στην κατάσταση αρχικής ισορροπίας. Το σημείο αυτό χρίζει περαιτέρω διερεύνησης, στην περίπτωση, που κριθεί μελλοντικά σκόπιμο, να υπολογίζονται και μη συμμετρικές καταστάσεις φόρτωσης.

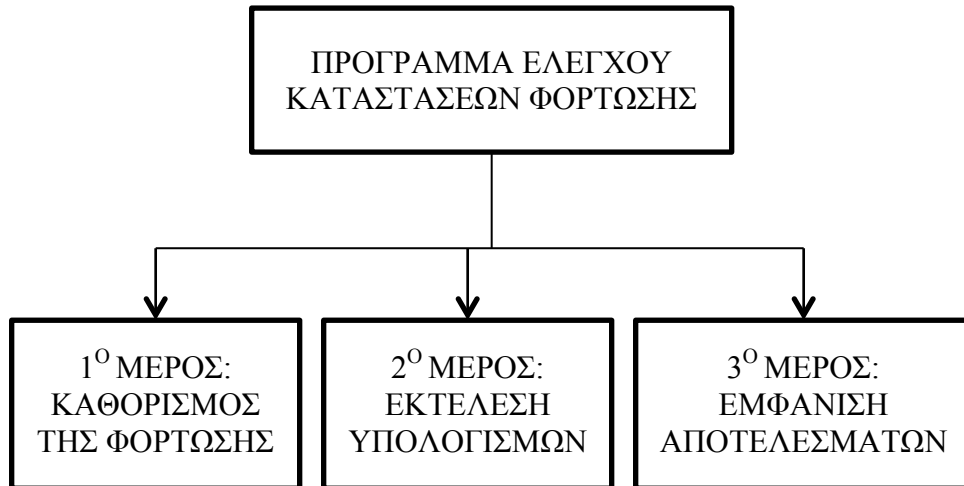
Για τους υπολογισμούς, που προαναφέρθηκαν, το πρόγραμμα λαμβάνει τα απαραίτητα στοιχεία από μια βάση δεδομένων, που προετοιμάζει για κάθε πλοίο και εισάγει ο προγραμματιστής και από τον καθορισμό της φόρτωσης, που γίνεται με την εισαγωγή στοιχείων από το χρήστη. Στη βάση δεδομένων περιλαμβάνονται:

- Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου.
- Η κατανομή βάρους αφόρτου πλοίου.
- Οι πίνακες χωρητικότητας των δεξαμενών και των κυτών (Sounding Tables).
- Ο υδροστατικός πίνακας για διάφορες τιμές της διαγωγής.
- Οι καμπύλες στατικής ευστάθειας για διάφορες τιμές της διαγωγής.
- Οι καμπύλες Bonjean στις θέσεις των θεωρητικών νομέων.
- Η ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων.
- Τα κατασκευαστικά όρια μέγιστης αντοχής

Για τον καθορισμό της φόρτωσης, ο χρήστης καλείται να απαντήσει σε ερωτήσεις, που εμφανίζονται στην οθόνη του, ζητώντας το πόσο επιθυμεί να γέμισε την κάθε δεξαμενή και το κάθε κύτος και με τι είδος φορτίου. Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής των στοιχείων φόρτωσης, το πρόγραμμα προχωρά στην εκτέλεση των υπολογισμών, που

αναφέρθηκαν νωρίτερα και τελικά στην εμφάνιση των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Θα μπορούσε, συνεπώς, να θεωρηθεί ότι το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, αποτελείται από τρία μέρη, δύο εκ των οποίων αλληλεπιδρούν με το χρήστη κι ένα που είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των υπολογισμών:

- Η εισαγωγή του πλάνου φόρτωσης από το χρήστη.
- Η εκτέλεση των απαιτούμενων υπολογισμών.
- Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 5.1.1: Διάγραμμα μερών προγράμματος

Στις ενότητες, που ακολουθούν, θα αναλυθεί κάθε ένα από τα μέρη του προγράμματος, καθώς και η διαδικασία προετοιμασίας της βάσης δεδομένων για κάθε πλοίο.

5.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων

Τα δεδομένα, όπως ο υδροστατικός πίνακας, οι καμπύλες ευστάθειας, οι καμπύλες Bonjean κ.λ.π, στα οποία έγινε αναφορά παραπάνω, συγκεντρώνονται και αποτυπώνονται σε ξεχωριστά αρχεία Excel, υπό τη μορφή πινάκων. Η εισαγωγή τους στο Matlab γίνεται με την ανάγνωση των αρχείων αυτών και την εκχώρησή τους σε πίνακες ίδιων διαστάσεων. Συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων αποτελείται από τους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας των κυρίων χαρακτηριστικών:

- Το μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP}
- Το ολικό μήκος L_{OA}
- Το μέγιστο πλάτος του πλοίου B
- Το κοίλο D
- Το βύθισμα Σχεδίασης T
- Η υπηρεσιακή ταχύτητα v_s

- Το βάρος του κενού πλοίου L.S και οι θέσεις του κέντρου του στις τρεις διαστάσεις

Καθώς το Matlab δεν επιτρέπει τη συνύπαρξη τιμών διαφορετικού τύπου (χαρακτήρες και αριθμοί) στον ίδιο πολυδιάστατο πίνακα, δημιουργήθηκαν τρεις μονοδιάστατοι ίσων διαστάσεων. Στον πρώτο εκχωρούνται τα ονόματα των μεγεθών που περιγράφονται, στο δεύτερο οι τιμές αυτών και στον τελευταίο οι μονάδες μέτρησης. Η ίδια μέθοδος εφαρμόστηκε και στους υπόλοιπους πίνακες.

Πίνακας ισαπόστασης των κατασκευαστικών νομέων (Frametable): Πρόκειται για έναν πίνακα με διαστάσεις $n \times 3$, όπου n ο αριθμός των κατασκευαστικών νομέων. Στην πρώτη στήλη του πίνακα παρατίθεται η αρίθμηση των κατασκευαστικών νομέων από την πρύμνη προς την πλώρη, όπως αυτή έχει οριστεί στο σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου. Η δεύτερη και η τρίτη στήλη αναφέρονται στην απόσταση μετρούμενη σε μέτρα λαμβάνοντας ως αρχή των αξόνων τη θέση της πρυμναίας καθέτου AP και του πρυμναίου άκρου AE, αντίστοιχα.

Πίνακας κατανομής βάρους κενού πλοίου (lightship distribution): Στον πίνακα αυτόν περιλαμβάνεται η ανάλυση των ομάδων βαρών του κενού σκάφους κατά μήκος του πλοίου. Συγκεκριμένα, για κάθε ομάδα βάρους υπάρχουν καταχωρημένα τη τιμή του βάρους σε tn, το διάστημα, στο οποίο εκτείνεται το συγκεκριμένο βάρος κατά μήκος του πλοίου και η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους. Όλες οι αποστάσεις μετρούνται από τη θέση της πρυμναίας καθέτου AP.

Υδροστατικοί Πίνακες (Hydrostatic Table): Σε έναν υδροστατικό πίνακα περιλαμβάνονται τα υδροστατικά χαρακτηριστικά διαφόρων ισάλων, τα οποία είναι:

- Το βύθισμα T (m), που αντιστοιχεί στην κάθε ίσαλο.
- Ο εκτοπιζόμενος όγκος V (m^3).
- Το εκτόπισμα Δ (tn), που υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον όγκο V με το ειδικό βάρος του νερού.
- Η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση του κέντρου του όγκου LCB και VCB (m).
- Η διαμήκης θέση του κέντρου πλευστότητας LCF (m).
- Η θέση του εγκαρσίου και του διαμήκους μετακέντρου KM_T και KM_L (m).
- Η εγκάρσια και η διαμήκης μετακεντρική ακτίνα BM_T και BM_L (m).
- Η επιφάνεια της ισάλου WPA (m^2).
- Η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας WSA (m^2).
- Η απαιτούμενη ροπή για δημιουργία διαγωγής 1 cm MTC (tn.m/cm).
- Η μεταβολή του εκτοπίσματος ανά εκατοστό βυθίσματος TPC (tn/cm).
- Οι συντελεστές μορφής.

Σημειώνεται ότι τα LCB και LCF μετρώνται από την πρυμναία κάθετο, ενώ αντίστοιχα τα T , VCB, KM_L , KM_T , BM_L , BM_T μετρώνται από την άνω όψη της τρόπιδας. Από μια γραμμή του υδροστατικού πίνακα βρίσκονται, συνεπώς, τα προαναφερθέντα υδροστατικά στοιχεία μιας ισάλου, που αντιστοιχεί στο αναγραφόμενο βύθισμα εκείνης της γραμμής.

Η ίσαλος, στην οποία πλέει ένα πλοίο, προκύπτει, λόγω της εξισορρόπησης των δυνάμεων του βάρους και της άντωσης και εξαρτάται από τη φόρτωση. Ένα πλοίο, όταν φορτώνεται, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ισορροπεί σε μια κεκλιμένη, λόγω της διαγωγής, ίσαλο και όχι σε μια ισοβύθιστη. Για τον ακριβέστερο υπολογισμό, λοιπόν, των υδροστατικών στοιχείων της κεκλιμένης ισάλου, περάστηκαν στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης υδροστατικοί πίνακες για ένα εύρος έμπρυμων και έμπρωρων διαγωγών, το οποίο προσαρμόζεται, ανάλογα με το πλοίο που εξετάζεται.

Πίνακες Μοχλοβραχιόνων Στατικής Ευστάθειας (Cross curves of Static Stability Table):

Οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν τις τιμές των καμπύλες στατικής ευστάθειας, από τις οποίες βρίσκεται ο μοχλοβραχίονας στατικής ευστάθειας KN σε διάφορες γωνίες εγκάρσιας κλίσης. Στους πίνακες περιλαμβάνεται μια στήλη με ένα εύρος εκτοπισμάτων, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια διαφορετική κατάσταση φόρτωσης και άλλες έντεκα στήλες με τις τιμές του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας για γωνίες από 0° – 70°, ανά 10°. Από κάθε γραμμή, συνεπώς, μπορούν βρεθούν οι τιμές του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας, για τις αναγραφόμενες γωνίες εγκάρσιας κλίσης, σε μια κατάσταση φόρτωσης, που αντιστοιχεί σε κάποιο εκτόπισμα της στήλης. Σημειώνεται, πως οι τιμές του KN, που υπάρχουν στους πίνακες, έχουν υπολογιστεί για μηδενικό VCG.

Αντίστοιχα με την περίπτωση των υδροστατικών πινάκων, για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των τιμών του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας, κρίθηκε σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η τιμή της διαγωγής. Έτσι, εκτός του πίνακα των KN για μηδενική διαγωγή, εισήχθησαν στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης και πίνακες για ένα εύρος έμπρυμων και έμπρωρων διαγωγών, ίδιο με αυτό που επιλέχθηκε για τους υδροστατικούς πίνακες.

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να τονιστεί, ότι η τιμή της διαγωγής που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για την εύρεση των τιμών του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας, σε όλες τις τιμές των γωνιών εγκάρσιας κλίσης, που υπάρχουν στους πίνακες, είναι αυτή που υπολογίζεται για μηδενική γωνία εγκάρσιας κλίσης. Δεν υπολογίζει, δηλαδή, την αλληλεπίδραση της διαγωγής ξεχωριστά, με κάθε πιθανή τιμή εγκάρσιας κλίσης. Η παραδοχή αυτή έγινε, τόσο λόγω της ανάγκης για μείωση της πολυπλοκότητας των υπολογισμών. Στην περίπτωση, που η προσέγγιση αυτή δεν κρίνεται ικανοποιητική, το πρόβλημα θα διερευνηθεί μελλοντικά, με σκοπό την εύρεση μιας καλύτερης λύσης.

Πίνακας Εγκαρσίων Τομών (Sectional Areas Board):

Ο πίνακας εγκαρσίων τομών προκύπτει από τις καμπύλες Bonjean και περιέχει τις τιμές των επιφανειών των εγκαρσίων τομών στους θεωρητικούς νομείς για διάφορα βυθίσματα. Στους πίνακες αυτούς υπάρχει μια στήλη με ένα εύρος βυθισμάτων, από την άνω όψη της τρόπιδας, έως το ύψος του κυρίου καταστρώματος, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια διαφορετική ίσαλο. Οι υπόλοιπες στήλες, είκοσι κατά αριθμό, όσοι δηλαδή και οι θεωρητικοί νομείς του πλοίου, που έχουν ισαπόσταση ίση $L_{BP}/20$, δίνουν σε κάθε βύθισμα την τιμή του εμβαδού της εγκάρσιας τομής κάθε θεωρητικού νομέα, που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Κατά αυτόν τον τρόπο, από μια γραμμή του πίνακα εγκαρσίων τομών, μπορεί να προσδιοριστεί η κατανομή των εμβαδών των εγκαρσίων τομών, κατά μήκος του πλοίου για μια συγκεκριμένη,

ισοβύθιστη ίσαλο, που αντιστοιχεί στο αναγραφόμενο βύθισμα. Πολλαπλασιάζοντας, ακολούθως, τις τιμές των εμβαδών με το ειδικό βάρος του νερού, βρίσκεται η κατανομή της άντωσης. Η κατανομή αυτή, ξεκινά από τη θέση της πρυμναίας καθέτου AP και εκτείνεται έως και τη θέση της προραίας καθέτου FP.

Στην περίπτωση των κεκλιμένων ισάλων, που ενδιαφέρουν περισσότερο, για τον προσδιορισμό της κατανομής, χρειάζεται, πρώτα, να προσδιοριστεί το βύθισμα σε κάθε θέση θεωρητικού νομέα και, εν συνεχεία, βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή της επιφάνειας της εγκάρσιας τομής. Η διαδικασία αυτή, θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα στην υπό ενότητα, που περιγράφονται οι υπολογισμοί.

Πίνακες χωρητικότητας δεξαμενών και κύτων (Sounding Tables): Τα χαρακτηριστικά κάθε δεξαμενής ή κύτους περιγράφονται σε πίνακες χωρητικότητας, οι οποίοι συνήθως περιλαμβάνονται και σε ένα ξεχωριστό εγχειρίδιο για κάθε πλοίο. Σε κάθε πίνακα περιλαμβάνονται:

- Η τιμή του όγκου, που αντιστοιχεί στο κάθε ύψος μέχρι το οποίο έχει γεμίσει η δεξαμενή.
- Το ποσοστό, που αντιστοιχεί η τιμή του όγκου, ως προς το συνολικό όγκο του διαμερίσματος.
- Οι τρεις συνιστώσες του κέντρου όγκου (διαμήκης, εγκάρσια, κατακόρυφη).
- Η εγκάρσια ροπή αδράνειας.

Οι πίνακες αυτοί, εισήχθησαν στο πρόγραμμα ελέγχου των καταστάσεων φόρτωσης, καθώς από αυτούς εξάγονται τα στοιχεία κάθε δεξαμενής ή κύτους, με βάση το πλάνο φόρτωσης που ορίζει ο χρήστης, τα οποία μετέχουν στους υπολογισμούς. Από κάθε γραμμή των πινάκων αυτών, βρίσκεται για το αναγραφόμενο ύψος, μέχρι το οποίο έχει γεμίσει το κάθε διαμέρισμα, ο όγκος, το κέντρο όγκου και η εγκάρσια ροπή αδράνειας. Βρίσκεται, επίσης, το όνομα της δεξαμενής ή του κύτους, καθώς και οι κατασκευαστικοί νομείς, που τα οριοθετούν και αποθηκεύονται σε τρεις, ξεχωριστούς, μονοδιάστατους πίνακες (Compartment Name, Starting Frame, Ending Frame).

Πίνακας κατασκευαστικών ορίων μέγιστης διαμήκους αντοχής (Longitudinal Strength Limits): Πρόκειται για τον πίνακα, που ορίζει τις μέγιστες τιμές, εντός των οποίων πρέπει να κυμαίνονται οι κατανομές των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών. Στην πρώτη στήλη αναγράφονται οι θέσεις κατά μήκος του πλοίου, ενώ στις υπόλοιπες αναγράφονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες θετικές και αρνητικές τιμές των διατμητικών δυνάμεων, καθώς και οι μέγιστες επιτρεπόμενες οι τιμές των καμπτικών ροπών σε κατάσταση Sagging (θλίψη πυθμένα – εφελκυσμός καταστρώματος) και Hogging (θλίψη καταστρώματος – εφελκυσμός πυθμένα), που δύνανται να εμφανιστούν σε κάθε θέση. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν κατά την κατασκευή του πλοίου και θεωρούνται δεδομένες.

5.3 Διαδικασία Καθορισμού Φόρτωσης

Το πρώτο μέρος του προγράμματος, το οποίο αλληλεπιδρά με το χρήστη, αφορά στον καθορισμό της κατάστασης φόρτωσης. Σε αντίθεση με τη βάση δεδομένων, που είναι στατική και εισάγεται μια φορά από τον προγραμματιστή, το κομμάτι του κώδικα, που γράφτηκε για τον προσδιορισμό της φόρτωσης αλληλεπιδρά με το χρήστη, ώστε να του δίνεται η δυνατότητα να ορίζει εκείνος κάθε φορά την κατάσταση φόρτωσης, που επιθυμεί να ελέγξει.

Η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται, μέσω της οθόνης του χρήστη, από ερωτήσεις που τίθενται και ο χρήστης καλείται να απαντήσει (Εικόνα 5.3.1). Συγκεκριμένα, ξεκινά μια επαναληπτική διαδικασία για κάθε δεξαμενή και για κάθε κύτος, αν υπάρχουν, κατά την οποία ο χρήστης απαντά στα ακόλουθα:

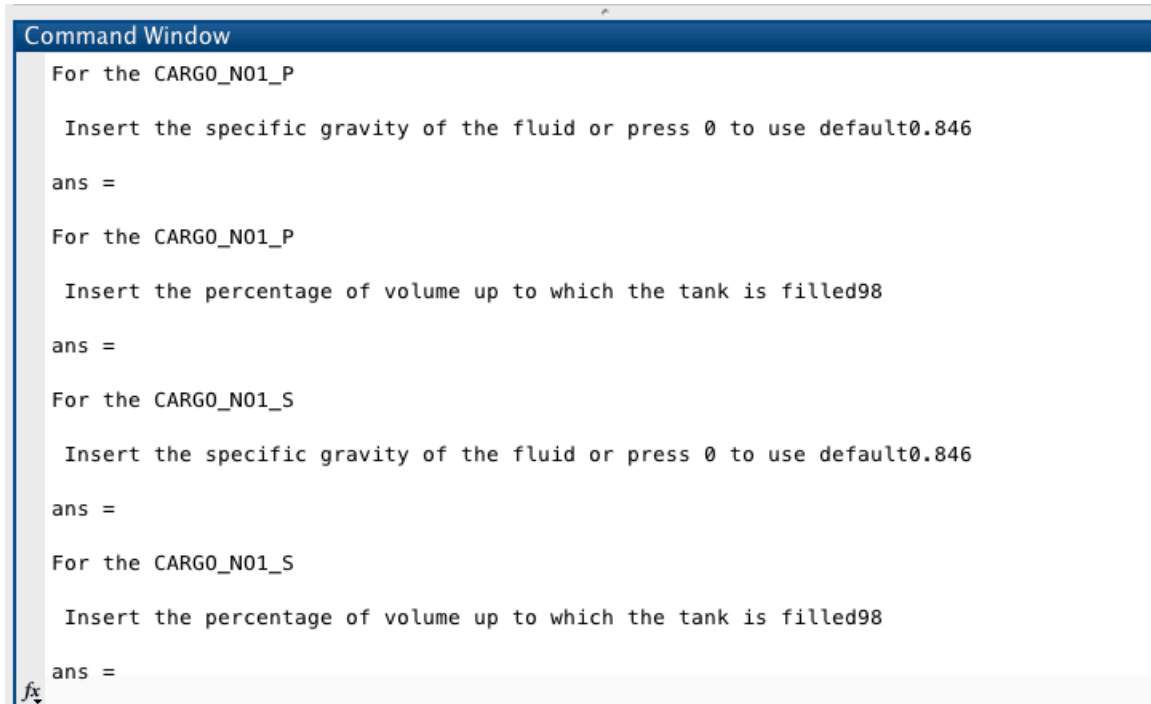
- Πόσο επιθυμεί να «γεμίσει» την κάθε δεξαμενή ή το κάθε κύτος. Στην ερώτηση αυτή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να απαντήσει με τρεις τρόπους:
 1. Να ορίσει το ποσοστό του όγκου της δεξαμενής, που θέλει να γεμίσει.
 2. Να προσδιορίσει απευθείας την τιμή του όγκου, εφόσον τη γνωρίζει.

Για το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, που αναπτύχθηκε, η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι η πρώτη, αυτή δηλαδή, που λαμβάνει σαν στοιχείο εισαγωγής το ποσοστό του όγκου του διαμερίσματος. Με τον τρόπο, η τιμή του ποσοστού, που εισάγει ο χρήστης, είναι ελέγξιμη, καθώς πρέπει να κινείται σε ένα εύρος τιμών από 0 έως 100, οπότε και στην περίπτωση εσφαλμένης εισαγωγής δεδομένων, το πρόγραμμα το εντοπίζει και ζητά την επανάληψη της εισαγωγής. Σημειώνεται, επιπλέον, πως στην περίπτωση ύπαρξης κυτών, το πρόγραμμα δέχεται μόνο ξηρά φορτία, κι όχι έρμα.

- Τι είδος φορτίου, θέλει να χρησιμοποιήσει. Για να προσδιοριστεί αυτό, ζητείται από το χρήστη να συμπληρώσει το ειδικό βάρος του φορτίου σε μονάδες tn/m^3 , που επιθυμεί να «τοποθετήσει» στην κάθε δεξαμενή ή στο κάθε κύτος. Στην περίπτωση, που ο χρήστης δε γνωρίζει την τιμή του ειδικού βάρους για κάποιο από τα φορτία που θέλει να εισάγει σε κάποιο διαμέρισμα, υπάρχει στο πρόγραμμα αποθηκευμένη μια προεπιλεγμένη τιμή ειδικού βάρους, που ισούται με ένα. Στην περίπτωση, συνεπώς, που ο χρήστης δεν αλλάξει αυτήν την τιμή, οι υπολογισμοί, που θα ακολουθήσουν, θα χρησιμοποιήσουν την προεπιλεγμένη αυτή τιμή.

Σε κάθε κύκλο της επανάληψης, το πρόγραμμα εμφανίζει στην οθόνη του χρήστη το όνομα της δεξαμενής ή του κύτους, μαζί με τις δύο ερωτήσεις, που περιγράφηκαν παραπάνω. Ο χρήστης εισάγει τα στοιχεία, που του ζητούνται, κι εφόσον γίνει ο έλεγχος εγκυρότητας, τότε κλείνει ο κύκλος και η διαδικασία προχωράει στο επόμενο διαμέρισμα. Η επαναληπτική διαδικασία ολοκληρώνεται, προφανώς, όταν δοθούν τα στοιχεία για όλες τις δεξαμενές κι όλα τα κύτη. Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να

εισάγει και τις τιμές των βαρών του πληρώματος, των προμηθειών και των μονίμων βαρών, που υπάρχουν πάνω στο πλοίο.



```
Command Window
For the CARGO_N01_P
  Insert the specific gravity of the fluid or press 0 to use default0.846
ans =
For the CARGO_N01_P
  Insert the percentage of volume up to which the tank is filled98
ans =
For the CARGO_N01_S
  Insert the specific gravity of the fluid or press 0 to use default0.846
ans =
For the CARGO_N01_S
  Insert the percentage of volume up to which the tank is filled98
ans =
```

Εικόνα 5.3.1: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη

Με την ολοκλήρωση της επαναληπτικής διαδικασίας, ουσιαστικά ολοκληρώνεται και η συμπλήρωση του πλάνου φόρτωσης από το χρήστη.

Το πρόγραμμα εν συνεχεία, αφότου αποθηκεύσει τα στοιχεία που εισήγαγε ο χρήστης, τα χρησιμοποιεί για να ανατρέξει στους πίνακες χωρητικότητας δεξαμενών και κυτών, από τη βάση δεδομένων, και να βρει για κάθε δεξαμενή και για κάθε κύτος τα χαρακτηριστικά για τη φόρτωση που ορίστηκε. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί σαν στοιχείο εισόδου στους πίνακες χωρητικότητας το ποσοστό του όγκου, που εισήγαγε ο χρήστης και βρίσκει τις υπόλοιπες πληροφορίες. Στην περίπτωση που το ποσοστό αυτό ταυτίζεται με κάποιο από τα αναγραφόμενα στους πίνακες χωρητικότητας, αποθηκεύει την αντίστοιχη γραμμή. Στην περίπτωση, που δεν προκύψει ισότητα, τότε το πρόγραμμα εκτελεί γραμμικές παρεμβολές, για κάθε μέγεθος, μεταξύ τις προηγούμενης και της επόμενης τιμής και βρίσκει τις τιμές των ζητούμενων μεγεθών.

Οι τιμές αυτές αποθηκεύονται σε έναν πίνακα δεξαμενών και κυτών με αριθμό γραμμών όσος είναι ο αριθμός των διαφορετικών διαμερισμάτων (δεξαμενών και κυτών) και αριθμό στηλών ίσο με τον αριθμό των χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, για κάθε διαμέρισμα προσδιορίζεται:

- Το ποσοστού όγκου, που εισήγαγε ο χρήστης.
- Το ειδικό βάρος του φορτίου, που θέλησε να τοποθετήσει ο χρήστης.

- Η τιμή του όγκου και των τριών συντεταγμένων του κέντρου όγκου, όπως προκύπτουν από τους πίνακες χωρητικότητας.
- Η εγκάρσια ροπή αδράνειας της επιφάνειας του φορτίου.
- Το βάρος, ως γινόμενο του όγκου με το ειδικό βάρος.
- Η ροπή, λόγω ελευθέρων επιφανειών, στην περίπτωση των υγρών φορτίων, ως γινόμενο της εγκάρσιας ροπής αδράνειας με το ειδικό βάρος.

Κάθε γραμμή του πίνακα αναφέρεται στα χαρακτηριστικά μιας διαφορετικής δεξαμενής ή κύτους. Επίσης, υπάρχει αντιστοιχία, μεταξύ των θέσεων των δεξαμενών και κυτών στον πίνακα, και των θέσεων των ονομάτων και των κατασκευαστικών νομέων, που οριοθετούν τα διαμερίσματα, στους αντίστοιχους πίνακες, που περιγράφηκαν παραπάνω.

Με τη δημιουργία του πίνακα δεξαμενών και κυτών, ολοκληρώνεται ουσιαστικά, η διαδικασία καθορισμού της κατάστασης φόρτωσης, και το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, περνά στην επόμενη φάση, που είναι αυτή της εκτέλεσης των υπολογισμών.

5.4 Πυρήνας Εκτέλεσης Υπολογισμών

Εφόσον περαστούν από το χρήστη τα στοιχεία της φόρτωσης, ξεκινά ο υπολογισμός των ζητούμενων μεγεθών, τα οποία είναι:

- Το εκτόπισμα και το κέντρο εκτοπίσματος.
- Η διαγωγή και η ίσαλος ισορροπίας του φορτωμένου πλοίου.
- Τα υδροστατικά στοιχεία αυτής της ισάλου.
- Το εγκάρσιο μετακεντρικό ύψος.
- Το διάγραμμα του μοχλοβραχίονα επαναφοράς και τα κριτήρια ευστάθειας.
- Η κατανομή βάρους εκτοπίσματος, κατά μήκος του πλοίου.
- Η κατανομή της άντωσης κατά μήκος του πλοίου.
- Οι κατανομές διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου.
- Οι μέγιστες τιμές των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών και τα όρια της διαμήκου αντοχής.

Παρακάτω, επεξηγείται αναλυτικά η διαδικασία, που ακολουθήθηκε στον υπολογισμό κάθε μεγέθους ξεχωριστά.

Υπολογισμός εκτοπίσματος και κέντρου εκτοπίσματος: Από τον πίνακα δεξαμενών και κυτών, βρίσκεται η στήλη στην οποία έχουν αποθηκευτεί τα βάρη της κάθε δεξαμενής και του κάθε κύτους, όπως αυτά προσδιορίστηκαν κατά τη διαδικασία καθορισμού της φόρτωσης από το χρήστη. Αθροίζοντας τις τιμές της στήλης βαρών, καθώς και τις τιμές του βάρους, που εισήγαγε ο χρήστης για το πλήρωμα, τις προμήθειες και τα μόνιμα βάρη του πλοίου, βρίσκεται το πρόσθετο βάρος του πλοίου.

$$DWT = \sum_1^n (w_{tanks}) + \sum_1^m (w_{holds}) + w_{crew} + w_{provisions} + w_{constants} \quad (5.1)$$

Όπου n ο αριθμός των δεξαμενών και m ο αριθμός των κυτών. Στην τιμή του πρόσθετου βάρους, αθροίζοντας την τιμή κενού πλοίου, που είναι περασμένη στον πίνακα κυρίων χαρακτηριστικών στη βάση δεδομένων, υπολογίζεται το εκτόπισμα, που έχει το πλοίο για τη συγκεκριμένη φόρτωση (Σχέση 3.10).

Για την εύρεση του κέντρου βάρους, χρησιμοποιείται το θεώρημα των ροπών. Στον πίνακα δεξαμενών και κυτών, πέραν των βαρών των διαμερισμάτων υπάρχουν αποθηκευμένα σε αντίστοιχες στήλες η διαμήκης, η εγκάρσια και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους, κάθε διαμερίσματος για τη φόρτωση, που θεσπίστηκε. Οι αντίστοιχες θέσεις του βάρους κενού πλοίου υπάρχουν αποθηκευμένες στον πίνακα των κυρίων χαρακτηριστικών, ενώ των βαρών πληρώματος, προμηθειών και σταθερών βαρών, έχουν καταχωρηθεί σε ξεχωριστές μεταβλητές στη βάση δεδομένων. Συνεπώς το κέντρο βάρους εκτοπίσματος προκύπτει ως:

$$LCG_{DWT} = \frac{\sum_1^n (w_t * LCG_t) + \sum_1^m (w_h * LCG_h) + w_{cr} * LCG_{cr} + w_{pr} * LCG_{pr} + w_{con} * LCG_{con}}{DWT} \quad (5.2)$$

$$VCG_{DWT} = \frac{\sum_1^n (w_t * VCG_t) + \sum_1^m (w_h * VCG_h) + w_{cr} * VCG_{cr} + w_{pr} * VCG_{pr} + w_{con} * VCG_{con}}{DWT} \quad (5.3)$$

$$TCG_{DWT} = \frac{\sum_1^n (w_t * TCG_t) + \sum_1^m (w_h * TCG_h) + w_{cr} * TCG_{cr} + w_{pr} * TCG_{pr} + w_{con} * TCG_{con}}{DWT} \quad (5.4)$$

Και τελικά:

$$LCG_{\Delta} = \frac{DWT * LCG_{DWT} + Lightship * LCG_{LS}}{\Delta} \quad (5.5)$$

$$VCG_{\Delta} = \frac{DWT * VCG_{DWT} + Lightship * VCG_{LS}}{\Delta} \quad (5.6)$$

$$TCG_{\Delta} = \frac{DWT * TCG_{DWT} + Lightship * TCG_{LS}}{\Delta} \quad (5.7)$$

Έχοντας υπολογίσει το εκτόπισμα και το κέντρο εκτοπίσματος, στη συνέχεια, γίνεται η διόρθωση στην κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους εκτοπίσματος, λόγω της ροπής ελευθέρων επιφανειών των υγρών φορτίων, που έχουν τοποθετηθεί στις δεξαμενές. Στα υγρά φορτία συγκαταλέγονται τα καύσιμα (Heavy Fuel Oil, Diesel Oil, Lubricants), τα υγρά ωφέλιμα φορτία στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων, το έρμα και το πόσιμο νερό.

Από τον πίνακα δεξαμενών και κυτών, βρίσκεται συνεπώς η στήλη με τη ροπή, λόγω ελευθέρων επιφανειών και αθροίζονται οι τιμές για κάθε δεξαμενή. Η τελική, διορθωμένη τιμή της κατακόρυφης θέσης του κέντρου εκτοπίσματος βρίσκεται από τη σχέση 3.23.

Τέλος, η τιμή του βάρους εκτοπίσματος, καθώς και των τριών θέσεων του κέντρου του, αποθηκεύονται σε έναν πίνακα με την ονομασία Πίνακας Τιμών Εκτοπίσματος.

Υπολογισμός κατανομής βάρους εκτοπίσματος $w(x)$: Η κατανομή αυτή, θα προκύψει από το άθροισμα των κατανομών βάρους κενού πλοίου και πρόσθετου βάρους. Η μεθοδολογία υπολογισμού, που εφαρμόζεται και στις δύο περιπτώσεις είναι η ίδια.

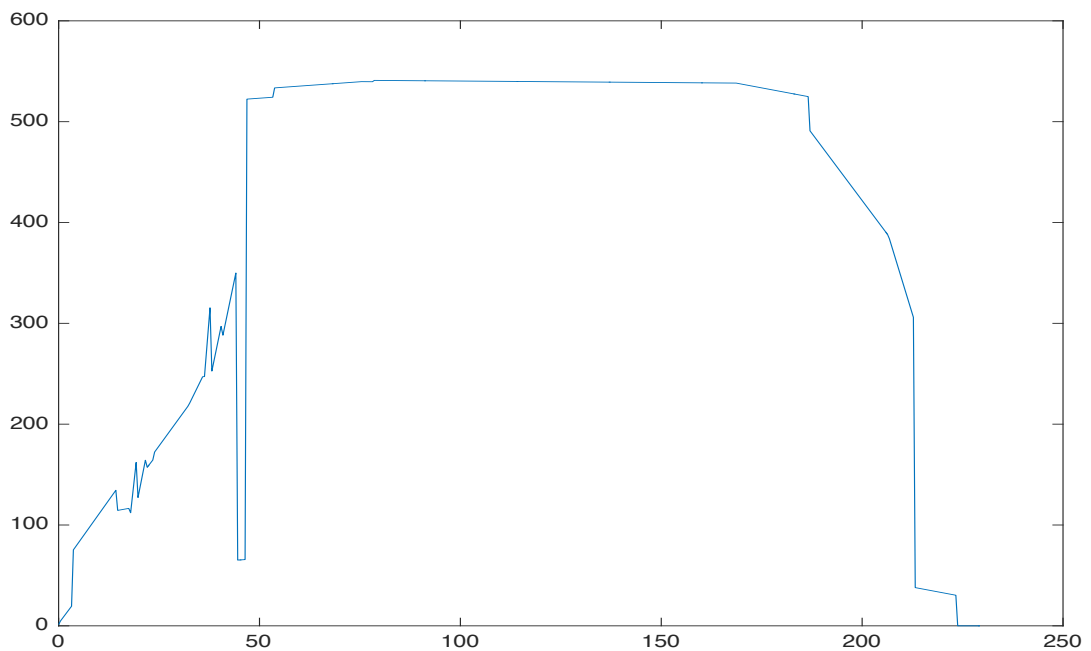
Αρχικά για την κατανομή κενού πλοίου γίνεται η υπόθεση, πως κάθε ομάδα βάρους ακολουθεί τραπεζοειδή κατανομή. Από κάθε γραμμή του πίνακα κατανομής του κενού πλοίου, που βρίσκεται στη βάση δεδομένων, βρίσκονται τα χαρακτηριστικά κάθε ομάδας βάρους και συγκεκριμένα η τιμή του βάρους, η διαμήκης θέση κέντρου βάρους και το διάστημα που εκτείνεται. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις του τραpezίου της σχέσης 4.1, όπου l το μήκος του διαστήματος, που εκτείνεται η κάθε ομάδα βάρους, i η τιμή του βάρους και x η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους, βρίσκονται οι τιμές της κατανομής στα άκρα του διαστήματος. Έχοντας, πλέον δύο γνωστά σημεία, μπορούν να οριστούν οι συντελεστές της ευθείας του τραpezίου. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις, που περιγράφουν το κάθε τραpezίο σε κάθε διάστημα, η κατανομή του κενού σκάφους, περιγράφεται από μια πολύκλαδη συνάρτηση, με τόσους κλάδους όσους και τα διαστήματα, στα οποία αλλάζουν οι συντελεστές της κατανομής. Οι συντελεστές αποθηκεύονται σε μια συμβολική μεταβλητή, χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση βήματος, η οποία ορίζει ποιοι συντελεστές αντιστοιχούν σε κάθε διάστημα.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για την εύρεση της κατανομής του πρόσθετου βάρους, από τη φόρτωση, που όρισε ο χρήστης. Στην περίπτωση αυτή βέβαια, τα διαστήματα και κατά συνέπεια οι κλάδοι της συνάρτησης, που θα περιγράφει την κατανομή θα είναι πολύ περισσότερα, καθώς κάθε διαμέρισμα (δεξαμενή ή κύτος) θεωρείται ξεχωριστό και περιγράφεται από μια διαφορετική τραπεζοειδή κατανομή. Τα στοιχεία, που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των συντελεστών του κάθε τραpezίου είναι το βάρος, η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους και τα όρια του μήκους κάθε διαμερίσματος (starting frame, ending frame) και βρίσκονται από τις αντίστοιχες στήλες του πίνακα δεξαμενών και κυτών. Είναι προφανές, πως για τα διαμερίσματα, τα οποία εκτείνονται στο ίδιο μήκος, δηλαδή έχουν τις ίδιες θέσεις νομέων αρχής και τέλους, η συνάρτηση βήματος, που χρησιμοποιείται, ορίζει ένα διάστημα και οι συντελεστές των κατανομών αθροίζονται αλγεβρικά. Στην περίπτωση, που κάποιο διαμέρισμα παρεμβάλλεται με κάποιο άλλο, η συνάρτηση βήματος δημιουργεί τόσα διαστήματα, όσες κι οι διαφορετικές κατανομές που προκύπτουν. Για παράδειγμα, αν μια δεξαμενή εκτείνεται από το νομέα 10 έως τον 22 και μια άλλη, από το νομέα 14 έως το νομέα 19, τα διαστήματα, που προκύπτουν θα είναι:

$$[10,14] \cup [14,19] \cup [19,22]$$

Οι συντελεστές, επομένως, για το διάστημα [10,14] θα είναι αυτοί, που προκύπτουν από την τραπεζοειδή κατανομή του βάρους της πρώτης δεξαμενής. Για το διάστημα [14,19] οι συντελεστές της τελικής κατανομής θα προκύπτουν ως άθροισμα των συντελεστών των κατανομών βάρους της πρώτης και της δεύτερης δεξαμενής αντίστοιχα, ενώ για το τελευταίο διάστημα θα χρησιμοποιούνται, ξανά οι συντελεστές της πρώτης κατανομής. Με τον τρόπο αυτό, ορίζονται με ακρίβεια οι συντελεστές της πολύκλαδης συνάρτησης, που περιγράφει την κατανομή του πρόσθετου βάρους, οι οποίοι αποθηκεύονται κι αυτοί σε μια συμβολική μεταβλητή.

Το άθροισμα των δύο μεταβλητών των κατανομών του κενού πλοίου και του πρόσθετου βάρους, δίνει τους συντελεστές της τελικής πολύκλαδης συνάρτησης, που περιγράφει την κατανομή του βάρους εκτοπίσματος (Εικόνα 5.4.2). Σημειώνεται, πως όλες οι κατανομές εκτείνονται από το πρυμναίο άκρο ΑΕ, έως το πωραίο άκρο FE και συνεπώς όλα μεγέθη, όπως η διαμήκης θέση των κέντρων βάρους, άλλα και τα άκρα των διαστημάτων του κάθε κλάδου μετρώνται από το ΑΕ. Για την γραφική αναπαράσταση της κατανομής του εκτοπίσματος, ορίζεται ένας πίνακας με πυκνή διαμέριση του μήκους στο διάστημα [ΑΕ, FE]. Για κάθε τιμή αυτού του πίνακα βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή σε tn/m, χρησιμοποιώντας τη συμβολική μεταβλητή, που περιέχει τους συντελεστές της κατανομής, σε κάθε διάστημα.



Εικόνα 5.4.1: Παράδειγμα κατανομής βάρους εκτοπίσματος

Υπολογισμός κατανομής άντωσης $b(x)$: Για τον υπολογισμό της κατανομής της άντωσης γίνεται χρήση του πίνακα εμβαδών εγκαρσίων τομών, που είναι αποθηκευμένος στη βάση δεδομένων. Από τον πίνακα αυτόν προσδιορίζονται, για μια ίσαλο, οι τιμές των επιφανειών των εγκαρσίων τομών, που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας στις θέσεις των θεωρητικών νομέων.

Αρχικά, απαιτείται προσδιορισμός της ευθείας, που περιγράφει την ίσαλο στο διάμηκες επίπεδο (προφίλ). Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό των βυθισμάτων στις θέσεις της πρυμναίας και της πρωραίας καθέτου.

Από τον υδροστατικό πίνακα για μηδενική διαγωγή, χρησιμοποιώντας ως στοιχείο εισόδου την τιμή του εκτοπίσματος, που έχει υπολογιστεί και εκτελώντας γραμμική παρεμβολή, βρίσκονται τα υδροστατικά στοιχεία για την ισοβύθιστη ίσαλο. Είναι προφανές, πως στην περίπτωση που η τιμή εκτοπίσματος ισούται με κάποια από τις αναγραφόμενες τιμές εκτοπισμάτων του πίνακα, η γραμμική παρεμβολή παραλείπεται. Μέσω των υδροστατικών στοιχείων, που βρέθηκαν και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 3.15 – 3.21 βρίσκεται η αρχική εκτίμηση της διαγωγής του πλοίου και τα βυθίσματα στο LCF, στο μέσο νομέα και στην πρυμναία και την πρωραία κάθετο. Έχοντας δύο γνωστά σημεία, βρίσκεται η εξίσωση της ευθείας της ισάλου.

Με γνωστή πλέον, την ευθεία αυτή, υπολογίζεται το βύθισμα σε κάθε θέση θεωρητικού νομέα και οι τιμές αποθηκεύονται σε ένα πίνακα βυθισμάτων. Όλες οι τιμές βυθισμάτων, που έχουν υπολογιστεί μέχρι ώρα, μετρώνται από την άνω όψη της τρόπιδας. Ξεκινά, στη συνέχεια, μια επαναληπτική διαδικασία, στην οποία, για κάθε τιμή αυτού του πίνακα, το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης ανατρέχει στον πίνακα εγκαρσίων τομών και εκτελώντας γραμμική παρεμβολή προσδιορίζει την τιμή της επιφάνειας, που αντιστοιχεί σε κάθε βύθισμα στις θέσεις των θεωρητικών νομέων.

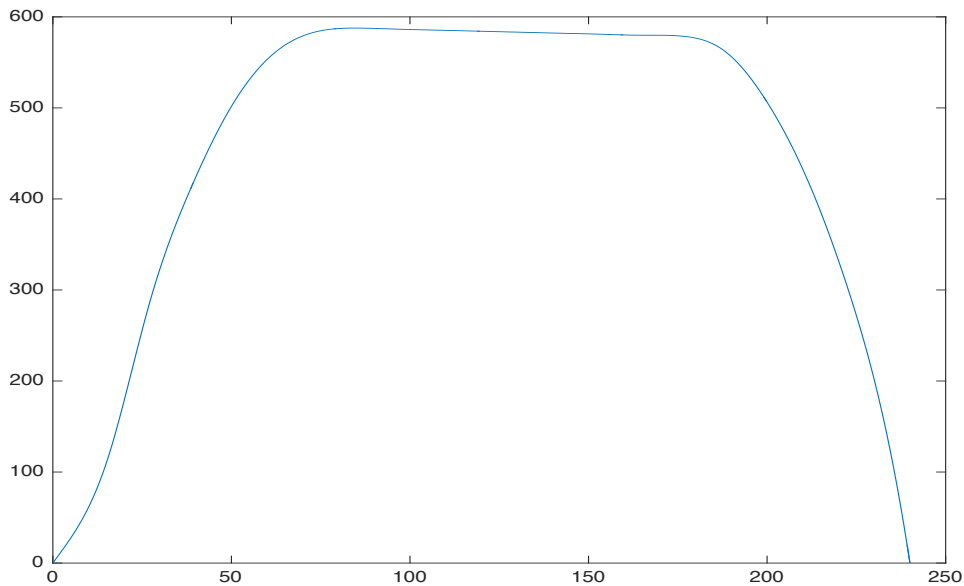
Δημιουργείται, συνεπώς, ένας πίνακας με διαστάσεις ίδιες με αυτές του πίνακα βυθισμάτων, στον οποίο αποθηκεύονται οι τιμές των επιφανειών των εγκαρσίων τομών. Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του πίνακα αυτού, με το ειδικό βάρος του νερού, προκύπτουν οι τιμές άντωσης στις θέσεις των θεωρητικών νομέων. Στις θέσεις του πρυμναίου και του πρωραίου άκρου οι τιμές της κατανομής θεωρούνται μηδενικές.

Η γραφική αναπαράσταση της κατανομής της άντωσης γίνεται, μέσω της παρεμβολής των σημείων, που προκύπτουν από τις τιμές της κατανομής με κυβικά, τμηματικά πολυώνυμα (cubic splines). Για n σημεία παρεμβολής, τα διαστήματα, που προκύπτουν και συνεπώς τα πολυώνυμα, θα είναι, $n-1$. Ανά δύο διαδοχικά, παρεμβαλλόμενα σημεία, βρίσκονται οι συντελεστές του κάθε πολυώνυμου παρεμβολής. Η απεικόνιση του διαγράμματος γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία:

- Ορίζεται μια συνάρτηση βήματος, η οποία σε κάθε διάστημα αποθηκεύει τους συντελεστές του αντίστοιχου πολυωνύμου σε μια συμβολική μεταβλητή.
- Χρησιμοποιώντας τον πίνακα διαμέρισης του διαστήματος [AE, FE], που δημιουργήθηκε νωρίτερα, υπολογίζονται αρκετές τιμές του πολυωνύμου και αποθηκεύονται σε έναν πίνακα ίσων διαστάσεων με τον πίνακα διαμέρισης.

- Χρησιμοποιώντας τους δύο πίνακες, σχεδιάζεται η καμπύλη της κατανομής της άντωσης (Εικόνα 5.4.2).

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε, κατόπιν σύγκρισης με άλλες μεθόδους πολυωνυμικής παρεμβολής, καθώς παρουσίασε την πιο ικανοποιητική ακρίβεια.



Εικόνα 5.4.2: Παράδειγμα κατανομής άντωσης

Υπολογισμός ισάλου ισορροπίας, τελικής διαγωγής και υδροστατικών στοιχείων ισάλου:

Ολοκληρώνοντας με τον κανόνα του Simpson τις κατανομές του βάρους και της άντωσης, που έχουν υπολογιστεί μέχρι τώρα, βρίσκεται αντίστοιχα το συνολικό βάρος του πλοίου και το εκτόπισμα. Στις ίδιες κατανομές εκτελώντας θεώρημα των ροπών βρίσκονται αντίστοιχα το LCG και το LCB. Στην περίπτωση που το συνολικό βάρος δεν ισούται με το εκτόπισμα, τότε γίνεται διόρθωση στο βύθισμα στη θέση του κέντρου πλευστότητας, σύμφωνα με τον τύπο:

$$dT = \frac{dE}{TPC} \quad (5.9)$$

Όπου dE η διαφορά του βάρους με το εκτόπισμα. Το TPC βρίσκεται από τους υδροστατικούς πίνακες για την τιμή της διαγωγής που έχει βρεθεί. Με αυτόν τον τρόπο, το προσημασμένο dT θα διορθώσει το βύθισμα, με αποτέλεσμα να εξισωθούν τα εμβαδά των δύο κατανομών. Στη συνέχεια, αν το LCG δεν ισούται με το LCB, τότε χρειάζεται να γίνει και διόρθωση στη διαγωγή, καθώς το κέντρο βάρους δε βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφο με το κέντρο όγκου. Αν το LCB βρίσκεται πρόωραθεν του LCG, η ίσαλος στρέφεται, μεταβάλλοντας «έμπρυμνα» την τιμή της διαγωγής κατά 1 mm. Στην

περίπτωση, που το LCB βρίσκεται πρύννηθεν του LCG, η στροφή γίνεται «έμπροωρα». Σε κάθε μεταβολή της διαγωγής, υπολογίζεται εκ νέου η εξίσωση της ισάλου και η κατανομή της άντωσης, όπως περιγράφηκε με τον τρόπο που περιγράφηκε νωρίτερα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, μέχρις ότου το LCG και το LCB αποκτήσουν διαφορά μικρότερη των 2 cm.

Στην τελική θέση ισορροπίας και για τη διαγωγή, που έχει προκύψει το πρόγραμμα υπολογίζει τα υδροστατικά στοιχεία της ισάλου ισορροπίας. Από τους υδροστατικούς πίνακες, που έχουν εισαχθεί, βρίσκονται αυτοί που αντιστοιχούν στην αμέσως μικρότερη και στην αμέσως μεγαλύτερη τιμή διαγωγής, από αυτή που έχει υπολογιστεί. Σε κάθε πίνακα βρίσκονται τα υδροστατικά στοιχεία, με τον τρόπο που υπολογίστηκαν και στην περίπτωση της ισοβύθιστης ισάλου. Ο τελικός προσδιορισμός γίνεται με την εκτέλεση γραμμικής παρεμβολής, με κριτήριο την τιμή της διαγωγής, μεταξύ των στοιχείων, που έχουν βρεθεί από τους δύο πίνακες. Σε περιπτώσεις ισοτήτων, οι γραμμικές παρεμβολές παραλείπονται.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να επισημανθεί ότι σύμβαση, που έχει γίνει, είναι ότι οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε έμπρυνμες διαγωγές, ενώ οι θετικές σε έμπρωρες. Επιπλέον θεωρείται, πως η φόρτωση είναι συμμετρική και πως η αλληλεπίδραση της διαγωγής με την εγκάρσια κλίση είναι αμελητέα. Συνεπώς, η ισάλος, στην οποία ισορροπεί το φορτωμένο πλοίο, έχει μηδενική εγκάρσια κλίση, ενώ η διαμήκης κλίση του εξαρτάται από την τιμή της διαγωγής, όπως αυτή υπολογίστηκε.

Υπολογισμός εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους: Έχοντας καθορίσει τα τελικά υδροστατικά στοιχεία της ισάλου, ακολουθούν οι υπολογισμοί, που αφορούν στην εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου, με πρώτο αυτόν του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους GM:

$$GM_T = KM_T - VCG_{corrected} \quad (5.10)$$

Το KM_T είναι η κατακόρυφη θέση του εγκάρσιου μετακέντρου και βρίσκεται από τον πίνακα των τελικών υδροστατικών στοιχείων της ισάλου, ενώ το $VCG_{corrected}$, είναι η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους εκτοπίσματος, μετά τη διόρθωση, λόγω της επίδρασης των ελευθέρων επιφανειών και βρίσκεται από τον πίνακα εκτοπίσματος. Ο υπολογισμός του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους είναι απαραίτητος, καθώς ο έλεγχος του μέτρου του συνιστά ένα από τα κριτήρια ευστάθειας. Συγκεκριμένα, με βάση τον κώδικα κριτηρίων ευστάθειας του IMO A.749, σε κάθε κατάσταση φόρτωσης πρέπει να ισχύει ότι:

$$GM_T > 0.15 \text{ m} \quad (5.11)$$

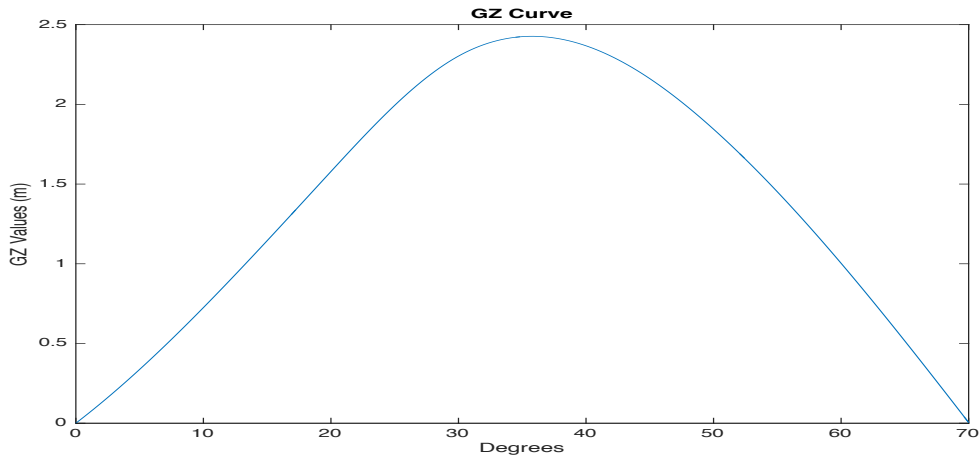
Προσδιορισμός διαγράμματος μοχλοβραχίονα επαναφοράς: Μετά τον υπολογισμό του εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους, οι υπόλοιποι υπολογισμοί, που σχετίζονται με την εγκάρσια ευστάθεια του πλοίου, αφορούν στον προσδιορισμό της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, συναρτήσεως των γωνιών εγκάρσιας κλίσης, καθώς και των εμβαδών, που περικλείονται κάτω από αυτή.

Για την εύρεση της καμπύλης, χρειάζονται οι τιμές του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ , στο διάστημα γωνιών εγκάρσιας κλίσης $[0, 70]$, που έχει οριστεί στη βάση δεδομένων. Η τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς για οποιαδήποτε γωνία εγκάρσιας κλίσης βρίσκεται από τη σχέση 3.24, όπου φ η γωνία, $VCG_{corrected}$ η διορθωμένη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους και KN ο μοχλοβραχίονας στατικής ευστάθειας.

Η τιμή του KN προσδιορίζεται μέσα από τους πίνακες τιμών μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας, που έχουν περαστεί στη βάση δεδομένων. Κάθε πίνακας αντιστοιχεί σε μια διαφορετική τιμή διαγωγής από το εύρος τιμών διαγωγής που έχει οριστεί. Αρχικά, ελέγχεται αν η τιμή της διαγωγής που έχει υπολογιστεί αντιστοιχεί σε κάποια από τις τιμές του εύρους. Στην περίπτωση που αυτό ισχύει, εντοπίζεται ο αντίστοιχος πίνακας και βρίσκεται η στήλη, στην οποία περιλαμβάνονται οι τιμές εκτοπίσματος, για τις οποίες έχουν υπολογιστεί οι τιμές του KN . Στην συνέχεια, ξεκινά μια επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία συγκρίνεται κάθε τιμή της στήλης εκτοπισμάτων, με την τιμή του εκτοπίσματος που έχει υπολογιστεί. Αν προκύψει ισότητα, αποθηκεύεται η θέση της γραμμής του πίνακα και προσδιορίζονται, από τις υπόλοιπες στήλες του πίνακα οι τιμές των KN για τις αναγραφόμενες γωνίες εγκάρσιας κλίσης. Αν δε προκύψει ισότητα, αποθηκεύεται η θέση γραμμής της αμέσως μικρότερης και της αμέσως μεγαλύτερης τιμής εκτοπίσματος και για τον υπολογισμό των τιμών των KN εκτελούνται γραμμικές παρεμβολές στις υπόλοιπες στήλες, μεταξύ των δύο θέσεων.

Αντίστοιχα με τη διαδικασία προσδιορισμού των τελικών υδροστατικών στοιχείων, αν η τιμή της διαγωγής, που έχει προκύψει, δεν ισούται με κάποια από τις τιμές που έχουν εισαχθεί, βρίσκονται οι δύο πίνακες τιμών μοχλοβραχιόνων στατικής ευστάθειας για την αμέσως μικρότερη και την αμέσως μεγαλύτερη τιμή διαγωγής. Η επαναληπτική διαδικασία, που περιγράφηκε παραπάνω, πραγματοποιείται ξανά για κάθε έναν από τους δύο πίνακες, ενώ ο προσδιορισμός των τελικών τιμών του μοχλοβραχίονα στατικής ευστάθειας, γίνεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών, που έχουν βρεθεί από τους δύο πίνακες.

Τελικά, οι τελικές τιμές των KN χρησιμοποιούνται, για τον υπολογισμό των τιμών του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ , οι οποίες αποθηκεύονται σε έναν πίνακα ίδιων διαστάσεων με αυτόν των γωνιών εγκάρσιας κλίσης. Για την αναπαράσταση της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος με αυτή στην περίπτωση της κατανομής της άντωσης, μέσω της χρήση δηλαδή, κυβικών τμηματικών πολυωνύμων. Η μόνη διαφορά, έγκειται στο γεγονός, πως η διαμέριση γίνεται στο διάστημα του εύρους των γωνιών εγκάρσιας κλίσης.



Εικόνα 5.4.5: Παράδειγμα διαγράμματος μοχλοβραχίονα επαναφοράς

Υπολογισμός κατανομών διατμητικών δυνάμεων $q(x)$ και καμπτικών ροπών $m(x)$: Έχοντας προσδιορίσει τις κατανομές του βάρους εκτοπίσματος και της άντωσης, είναι πλέον εφικτό να υπολογιστούν οι κατανομές των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου.

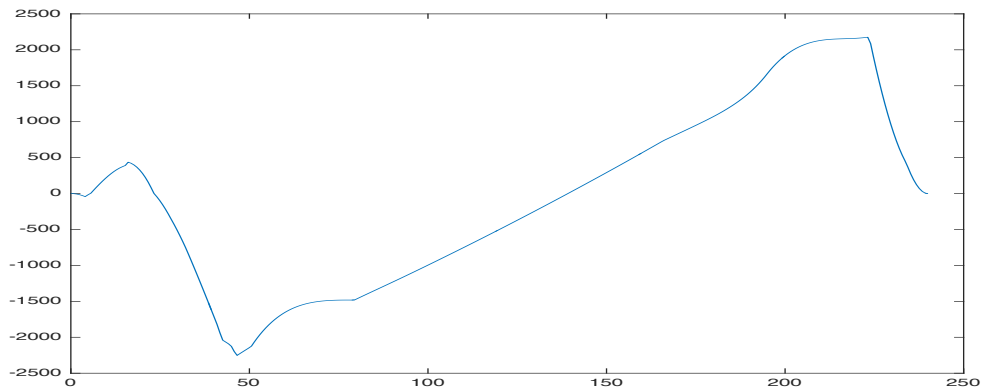
Για να πραγματοποιηθούν αυτοί οι υπολογισμοί, πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί η συνάρτηση της κατανομής της φόρτισης $p(x)$. Η $p(x)$ είναι μια πολύκλαδη πολυωνυμική συνάρτηση, ίδιου βαθμού με την αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής της άντωσης και ορίζεται ως η διαφορά των συναρτήσεων κατανομής του βάρους και της άντωσης (Σχέση 4.2).

Στον κώδικα, αυτό συμβαίνει, αφαιρώντας τη συμβολική μεταβλητή, που περιλαμβάνει τους συντελεστές της κατανομής της άντωσης, στα διάφορα διαστήματα, από την αντίστοιχη συμβολική μεταβλητή της κατανομής της βάρους εκτοπίσματος. Η νέα συμβολική μεταβλητή που προκύπτει και χαρακτηρίζει τη φόρτιση, περιέχει τα νέα διαστήματα και τους αντίστοιχους συντελεστές, όπως αυτά προέκυψαν από την αφαίρεση των δύο αρχικών μεταβλητών.

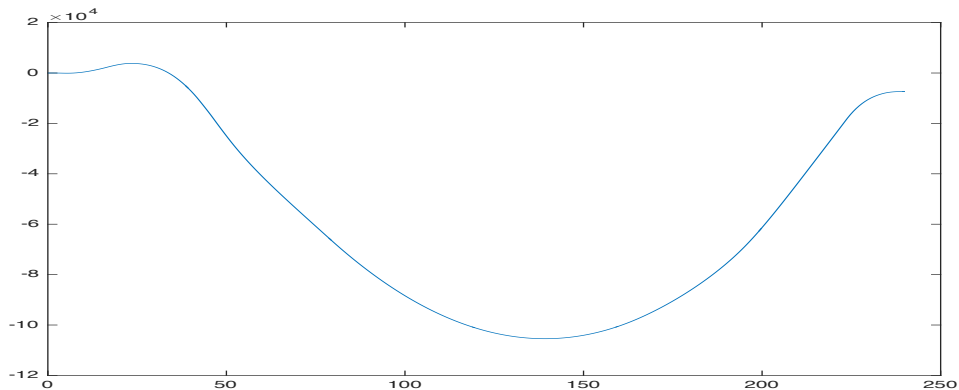
Η συνάρτηση της κατανομής των διατμητικών δυνάμεων θα προκύψει ολοκληρώνοντας τη συνάρτηση της κατανομής της φόρτισης και συνεπώς θα είναι και αυτή πολυωνυμική και συγκεκριμένα ένα βαθμό μεγαλύτερη από αυτή της φόρτισης (Σχέση 4.5). Στον κώδικα η ολοκλήρωση γίνεται με χρήση της εντολής αόριστης ολοκλήρωσης της συμβολικής μεταβλητής, που περιλαμβάνει τους συντελεστές της πολυωνυμικής συνάρτησης κατανομής της φόρτισης. Δημιουργείται, δηλαδή μια νέα συμβολική μεταβλητή, αυτή των διατμητικών δυνάμεων, στην οποία τα διαστήματα, που αντιστοιχούν σε κάθε κλάδο του πολυωνύμου κατανομής των διατμητικών δυνάμεων, διατηρούνται τα ίδια, με αυτά της συνάρτησης της φόρτισης, ενώ οι συντελεστές του πολυωνύμου προσδιορίζονται μέσα από του υπολογισμούς της ολοκλήρωσης. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται, ολοκληρώνοντας διαδοχικά τη συνάρτηση της κατανομής των διατμητικών δυνάμεων, με σκοπό τον υπολογισμό της συνάρτησης κατανομής των

καμπτικών ροπών. Η συνάρτηση αυτή, είναι επίσης πολυωνυμική κι ένα βαθμό μεγαλύτερη από αυτή των διατμητικών δυνάμεων (Σχέση 4.6).

Χρησιμοποιώντας τις συμβολικές μεταβλητές των συντελεστών των πολυωνύμων, που περιγράφουν τις κατανομές των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών, καθώς και τις τιμές του πίνακα διαμέρισης του διαστήματος [AE, FE], δημιουργούνται οι πίνακες τιμών των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών. Η αναπαράσταση των πινάκων με τις τιμές των κατανομών, συναρτήσει των θέσεων τους από πίνακα διαμέρισης, δίνουν τα διαγράμματα διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών.



Εικόνα 5.4.3: Παράδειγμα κατανομής διατμητικών δυνάμεων

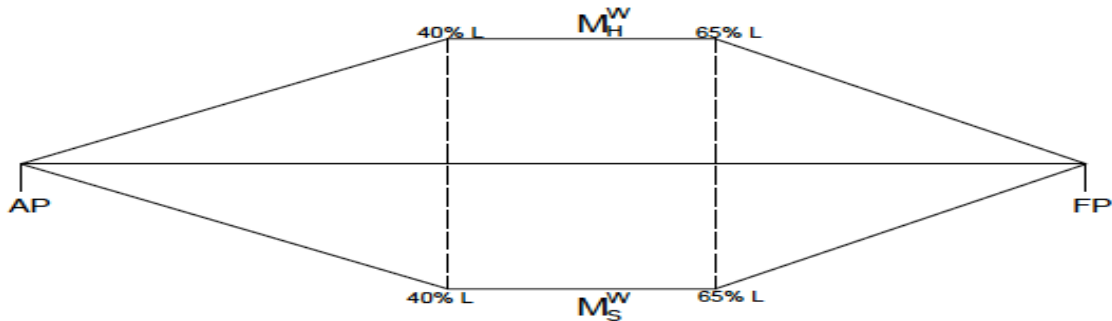


Εικόνα 5.4.4: Παράδειγμα κατανομής καμπτικών ροπών

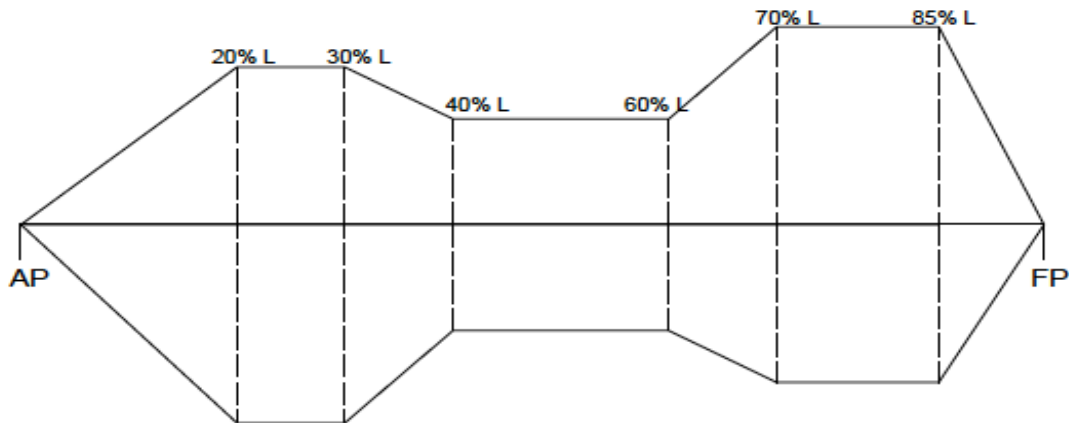
Υπολογισμός των μεγίστων τιμών διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών και ορίων διαμήκους αντοχής: Από τους πίνακες τιμών των κατανομών διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, που υπολογίστηκαν παραπάνω, καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των ακρότατων τιμών κάθε κατανομής. Σε κάθε πίνακα ξεκινά μια επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία συγκρίνονται οι τιμές μεταξύ τους, κατά απόλυτη τιμή, βρίσκεται και αποθηκεύεται αυτή με το μεγαλύτερο μέτρο, καθώς κι η θέση του πίνακα, στην οποία εντοπίστηκε. Αυτή θεωρείται και η μέγιστη τιμή της κάθε

κατανομής, η οποία αναπτύσσεται σε κατάσταση ήρεμου νερού. Ανατρέχοντας, έπειτα στην αντίστοιχη θέση του πίνακα διαμέρισης, βρίσκεται σε ποιο σημείο του πλοίου εμφανίζεται.

Χρησιμοποιώντας έπειτα, τον πίνακα των ορίων μέγιστης διαμήκουσ αντοχής, βρίσκεται η θεωρητική κατανομή των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Σύμφωνα με τον IACS, οι κατανομές αυτές έχουν την ακόλουθη μορφή, κατά μήκος του πλοίου.



Σχήμα 5.4.1: Κατανομή οριακών τιμών καμπτικών ροπών κατά μήκος του πλοίου



Σχήμα 5.4.2: Κατανομή οριακών τιμών διατμητικών δυνάμεων κατά μήκος του πλοίου

5.5 Εμφάνιση Αποτελεσμάτων Υπολογισμών

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών, που εκτελούνται στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, για τον προσδιορισμό των ζητούμενων μεγεθών, ακολουθεί η εμφάνιση των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη και είναι:

- Πίνακας με το πλάνο φόρτωσης, που εισήγαγε ο χρήστης, ο οποίος αντιστοιχεί στον πίνακα δεξαμενών και κυτών.

- Πίνακας με την τιμή του εκτοπίσματος και του κέντρου βάρους, καθώς και των υδροστατικών στοιχείων της ισάλου.
- Πίνακας με την τιμή της διαγωγής και τις τιμές των βυθισμάτων στις θέσεις της πυρμναίας καθέτου AP, της πωραίας καθέτου FP, του μέσου νομέα και στη διαμήκη θέση του κέντρου πλευστότητας.
- Το διάγραμμα της καμπύλης του μογλοβραχίονα επαναφοράς.
- Πίνακας με τις τιμές των κριτηρίων ευστάθειας, τόσο αυτές που υπολογίστηκαν, όσο κι αυτές που απαιτούνται.
- Τα διαγράμματα των κατανομών του βάρους εκτοπίσματος και της άντωσης.
- Τα διαγράμματα των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, μαζί με τα διαγράμματα των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών τους.
- Πίνακας με τις μέγιστες τιμές των κατανομών των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, καθώς και των θέσεων, που εμφανίζονται κατά το μήκος.

6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Γενικά

Εφόσον περιγράφηκε η δομή και η λειτουργία του κώδικα, ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από τους υπολογισμούς, για δύο πλοία:

- «M/V CAPTAIN JOY», 7522 tn GENERAL CARGO CARRIER
- «M/T MEGAN», 94284 tn DWT OIL CARRIER

Για κάθε ένα από τα παραπάνω πλοία, προετοιμάστηκε ξεχωριστά η βάση δεδομένων, που περιλαμβάνει τα απαραίτητα, για τους υπολογισμούς στοιχεία, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Ακολούθως, για κάθε πλοίο, εκτελέστηκαν οι υπολογισμοί για τρεις καταστάσεις φόρτωσης:

- Μια κατάσταση πλήρους φόρτωσης
- Μια κατάσταση μερικούς φόρτωσης
- Μια κατάσταση ερματισμού

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών και τα διαγράμματα, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάζονται, χωριστά για κάθε πλοίο, παρακάτω. Η σύγκριση αυτών γίνεται, σε σχέση με τις πραγματικές τιμές, όπως αυτές προκύπτουν από το *Tribon*, για τις αντίστοιχες καταστάσεις φόρτωσης. Ο έλεγχος των αποκλίσεων πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανονισμούς του IACS για την ανάπτυξη προγραμμάτων φόρτωσης, «Guidelines for Loading Computer Systems». Συνοπτικά οι αποκλίσεις, στα προς έλεγχο μεγέθη, περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα:

Acceptable Tolerancies	
Displacement	2%
Volume, Deadweight	2%
LCG, from AP	1% / 50 cm max.
VCG	1% / 5 cm max.
TCG	0.5% of B / 5 cm max.
LCB	1% / 50 cm max.
VCB	1% / 5 cm max.
LCF	1% / 50 cm max.
FSM	2%
MTC	2%
Draughts	1% / 5 cm max.
GMt	1% / 5 cm max.
GZ Values	5% / 5 cm max.
Trim	1% / 2cm max.
Areas under righting arm curve	5% / 0.0012 m.rad max.
Still Water Shearing Forces	± 5%
Still Water Bending Moments	± 5%

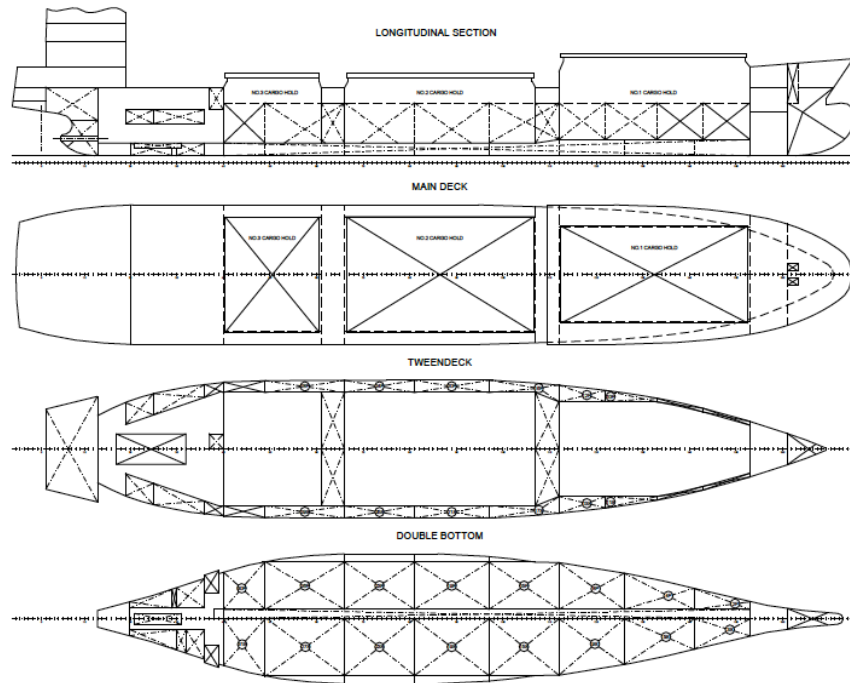
Πίνακας 6.1: Πίνακας Αποδεκτών Αποκλίσεων

Σημειώνεται, ότι σύμφωνα με τους ίδιους κανονισμούς, ο υπολογισμός των αποκλίσεων γίνεται από τη σχέση:

$$Deviation = \frac{(base\ value - applicant's\ value)}{base\ value} * 100\ [%] \quad (6.1)$$

6.2 «M/V CAPTAIN JOY», 7522 DWT GENERAL CARGO

Το πρώτο πλοίο, που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης είναι το «M/V CAPTAIN JOY». Πρόκειται για πλοίο γενικού φορτίου, μεταφορικής ικανότητας 7522 τόνους, που μεταφέρει ξηρά φορτία χύδην, όπως σιτηρά, άνθρακα και σίδηρο. Κατασκευάστηκε το 1996, στο ναυπηγείο «PEENE-WERFT», υπό την επίβλεψη του νηογνώμονα «DROMON BUREAU OF SHIPPING» και φέρει τη σημαία της Sierra Leone. Τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου και η διαμερισματοποίησή του φαίνονται παρακάτω:



Σχέδιο 6.2.1: Σχέδιο Γενική Διάταξης

Πίνακας Κυρίων Χαρακτηριστικών Πλοίου			
Σύμβολο	Έννοια	Μονάδες	Τιμή
L_{BP}	Μήκος μεταξύ Καθέτων	[m]	109.4
L_{OA}	Ολικό Μήκος	[m]	118
B	Πλάτος	[m]	19.4
D	Κοίλο	[m]	9.45
T	Βύθισμα Σχεδίασης	[m]	7.549

Category CAR - CARGO (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
CARGO NO1.C	112-153	3625.76	3625.76	84.242	0	8.467	0
CARGO NO2.C	66-107	3781.36	3781.36	55.505	0	6.209	0
CARGO NO3.C	40-61	1924	1924	32.134	0	6.208	0
Total		9331.12	9331.12	61.852	0	7.086	
Category WB - BALLAST (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
PIPE TUNNEL.P	38-153	183.62	183.62	63.538	-0.653	0.989	14
WBT NO10.P	122-133	56.25	56.25	81.75	-5.665	4.204	16
WBT NO11.S	122-133	56.25	56.25	81.75	5.665	4.204	16
WBT NO12.P	112-122	45.25	45.25	75.109	-7.305	5.202	4
WBT NO13.S	112-122	45.25	45.25	75.109	7.305	5.202	4
WBT NO15.P	97-112	89.45	89.45	67.32	-4.076	1.053	222
WBT NO15.S	97-112	112.39	112.39	67.346	3.377	1.026	385
WBT NO16.P	97-112	57.23	57.23	67.392	-8.2	5.116	4
WBT NO17.S	97-112	57.23	57.23	67.392	8.2	5.116	4
WBT NO19.P	81-97	95.74	95.74	57.142	-4.459	1.008	343
WBT NO19.S	81-97	117.42	117.42	57.153	3.756	0.983	562
WBT NO2.P	141-153	19.51	19.51	94.192	-2.043	1.465	5
WBT NO20.P	81-97	88.32	88.32	56.983	-8.615	4.811	4
WBT NO21.S	81-97	88.32	88.32	56.983	8.615	4.811	4
WBT NO23.P	66-81	90.66	90.66	47.133	-4.514	1.006	338
WBT NO23.S	66-81	110.77	110.77	47.131	3.814	0.982	549
WBT NO24.P	66-81	86.38	86.38	47.192	-8.654	4.778	4
WBT NO25.S	66-81	86.38	86.38	47.192	8.654	4.778	4
WBT NO26.P	49-66	99.15	99.15	36.88	-4.291	1.003	323
WBT NO27.S	49-66	124.02	124.02	36.85	3.593	0.979	538
WBT NO28.P	49-66	84.22	84.22	36.998	-8.572	4.943	4
WBT NO29.S	50-66	80.15	80.15	37.276	8.574	4.926	4
WBT NO3.S	141-153	41.96	41.96	94.549	1.279	1.301	21
WBT NO30.P	40-49	42.27	42.27	28.419	-3.655	1.012	97
WBT NO31.S	40-49	55.42	55.42	28.385	2.954	0.98	177
WBT NO4.P	126-141	57.53	57.53	85.569	-2.763	1.353	45
WBT NO5.S	126-141	85.46	85.46	85.761	2.034	1.275	108
WBT NO8.P	112-126	84.94	84.94	76.427	-3.558	1.298	128
WBT NO9.S	112-126	110.9	110.9	76.493	2.856	1.256	241
Total		2352.45	2352.45	59.086	-0.017	2.404	
Category FOT - FUEL (SG = 1.000 tonnes/cu.m 98 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
HFO NO1.S	107-112	110.69	108.48	70.451	3.627	4.67	103
HFO NO2.P	107-112	115.72	113.41	70.451	-3.627	4.67	103
HFO NO3.S	61-66	134.73	132.03	40.625	-3.937	4.55	132
HFO NO4.P	61-66	135.44	132.73	40.625	3.938	4.55	132
HFO NO5.S	31-36	28.34	27.78	21.125	5.65	7.85	35
HFO NO6.P	30-36	15.12	14.82	20.96	-2.804	1.078	14
HFO NO7.S	28-31	14.14	13.86	18.525	4.9	7.85	7
HFO NO9.S	21-28	24.9	24.4	15.275	4.9	7.85	17
Total		579.08	567.5	49.189	0.507	4.89	

Category DOT - DIESEL (SG = 1.000 tonnes/cu.m 98 % full)							
Compartment	Frames	Volume	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
		(m ³)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)
MDF NO1.S	25-36	23.45	22.99	18.914	6.808	5.588	12
MDF NO3.S	19-25	13.84	13.57	13.716	5.218	5.664	9
MDF NO4.P	37-40	16.53	16.2	24.375	-1.35	7.924	3
Total		53.83	52.75	19.255	3.893	6.325	
Category FWT - FRESH (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
		(m ³)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)
CWT.P	29-30	1.89	1.89	18.531	-2.496	1.126	1
LOW APT.C	13-Jun	19.05	19.05	6.503	0	2.937	5
UPP APT 32.C	13-Jan	176.4	176.4	4.694	0	7.477	2067
Total		197.34	197.34	5.001	-0.024	6.978	
Category LOT - LUB OIL (SG = 0.890 tonnes/cu.m 98 % full)							
Compartment	Frames	Volume	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
		(m ³)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)
LO CIRC NO1.C	21-31	7.6	6.63	16.25	0	1.325	1
LO STOR NO2.P	19-25	13.84	12.07	13.716	-5.218	5.664	9
LO STOR NO4.P	25-36	22.8	19.89	18.914	-6.808	5.588	12
Total		44.25	38.59	16.83	-5.141	4.879	
Category MIS - MISC (SG = 1.000 tonnes/cu.m 98 % full)							
Compartment	Frames	Volume	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM
		(m ³)	(t)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)
DIRTY WATER.S	30-32	4.33	4.24	19.519	2.616	1.103	3
SLUDGE.S	32-36	10.56	10.35	21.521	2.877	1.068	10
SUMP OT.P	20-29	9.04	8.86	15.997	-2.194	1.213	3
WASTE OT.S	20-30	10.87	10.65	16.443	2.247	1.198	4
Total		34.8	34.1	18.251	1.331	1.15	

Πίνακας 6.2.1.1: Στοιχεία Διαμερισμάτων (Tanks & Holds Plan)

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, του συγκεκριμένου πλοίου είναι:

- Πίνακας των κυρίων χαρακτηριστικών, όπως αυτός που παρατίθεται παραπάνω.
- Πίνακας των στοιχείων κατανομής βαρών κενού πλοίου.
- Πίνακας των καμπυλών bonjean για βυθίσματα από 1 m έως 9 m, ανά 0.2 m στις θέσεις 20 θεωρητικών νομέων.
- Υδροστατικοί πίνακας, για ίδιο εύρος βυθισμάτων με τις καμπύλες bonjean και για ένα εύρος διαγωγών από 2 m εμπρυσμη έως 2 m εμπρωρη, ανά 0.5 m.
- Πίνακες καμπυλών ευστάθειας για εκτοπίσματα από 100 tn έως 13000 tn, ανά 675 tn και για εύρος διαγωγών, ίδιο με αυτό των υδροστατικών πινάκων.
- Πίνακες χωρητικότητας διαμερισμάτων.
- Πίνακες κατασκευαστικών ορίων διαμηθικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, όπως αυτά δόθηκαν από τα στοιχεία κατασκευής του πλοίου.

Τα προαναφερθέντα στοιχεία εξήχθησαν από το *Tribon* και αποτυπώθηκαν σε αρχεία Excel, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο περιγραφής της βάσης δεδομένων. Στο τέλος του κεφαλαίου υπάρχει σχετικό παράρτημα με παραδείγματα ορισμένων πινάκων από αυτούς, που χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο πλοίο.

Σε ότι αφορά στις καταστάσεις φόρτωσης, που εξετάστηκαν, επιλέχθηκαν από το εγχειρίδιο ευστάθειας του πλοίου, με κριτήριο ποιες ελέγχονται από τους νηογνώμονες, κατά τη διαδικασία πιστοποίησης ενός προγράμματος. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν:

- Κατάσταση πλήρους φόρτωσης κατά την αναχώρηση για άνθρακα ειδικού βάρους 0.199 tn/m^3 .
- Κατάσταση μερικής φόρτωσης κατά την άφιξη για μέταλλευμα ειδικού βάρους 2.273 tn/m^3 .
- Κατάσταση ερματισμού κατά την άφιξη.

Για κάθε μια από τις παραπάνω καταστάσεις χρησιμοποιήθηκε το πλάνο φόρτωσης, όπως ακριβώς αναγράφεται στο εγχειρίδιο ευστάθειας. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών του προγράμματος ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, η σύγκριση με τις τιμές του *Tribon*, στις αντίστοιχες καταστάσεις φόρτωσης κι ο έλεγχος των αποκλίσεων, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, παρουσιάζονται ακολούθως.

LOADING CONDITION 1: Partly Loaded with Ore 2.273 tn/m³ Arrival

Κατά την κατάσταση μερικούς φόρτωσης μεταλλεύματος ειδικού βάρους 2.273 tn/m³ στην άφιξη, το πλάνο φόρτωσης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο ευστάθειας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
CARGO NO1.C	25	2.273
CARGO NO2.C	32.3	2.273
CARGO NO3.C	32.3	2.273
WBT NO21.S	64	1.025
WBT NO23.P	100	1.025
WBT NO23.S	100	1.025
WBT NO25.S	100	1.025
WBT NO26.P	100	1.025
WBT NO27.S	100	1.025
WBT NO28.P	100	1.025
WBT NO29.S	100	1.025
WBT NO30.P	100	1.025
WBT NO31.S	100	1.025
HFO NO1.S	30	0.92
HFO NO2.P	30	0.92
HFO NO3.S	10	0.92
HFO NO4.P	10	0.92
HFO NO5.S	10	0.92
HFO NO6.P	10	0.92
HFO NO7.S	25	0.92
HFO NO9.S	50	0.92
MDF NO1.S	10	0.86
MDF NO3.S	10	0.86
MDF NO4.P	10	0.86
CWT.P	10	1
LOW APT.C	10	1
UPP APT 32.C	10	1
LO CIRC NO1.C	10	0.89
LO STOR NO2.P	10	0.89
LO STOR NO4.P	10	0.89
DIRTY WATER.S	15	1
SLUDGE.S	15	1
SUMP OT.P	15	1
WASTE OT.S	15	1

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	3
Προμηθειες και Σταθερα	5

Πίνακας 6.2.1.2: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στους πίνακες, που ακολουθούν. Στην πρώτη στήλη φαίνονται τα στοιχεία, που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης («Υπολογισθέν»), ενώ στη δεύτερη η πραγματική τιμή, όπως προκύπτει από το *Tribon* («Πραγματικό»). Στις επόμενες στήλες φαίνεται η απόλυτη και η ποσοστιαία διαφορά κάθε μεγέθους, καθώς και η αποδεκτή απόκλιση σύμφωνα με τους νηογνώμονες (Πίνακας 6.1).

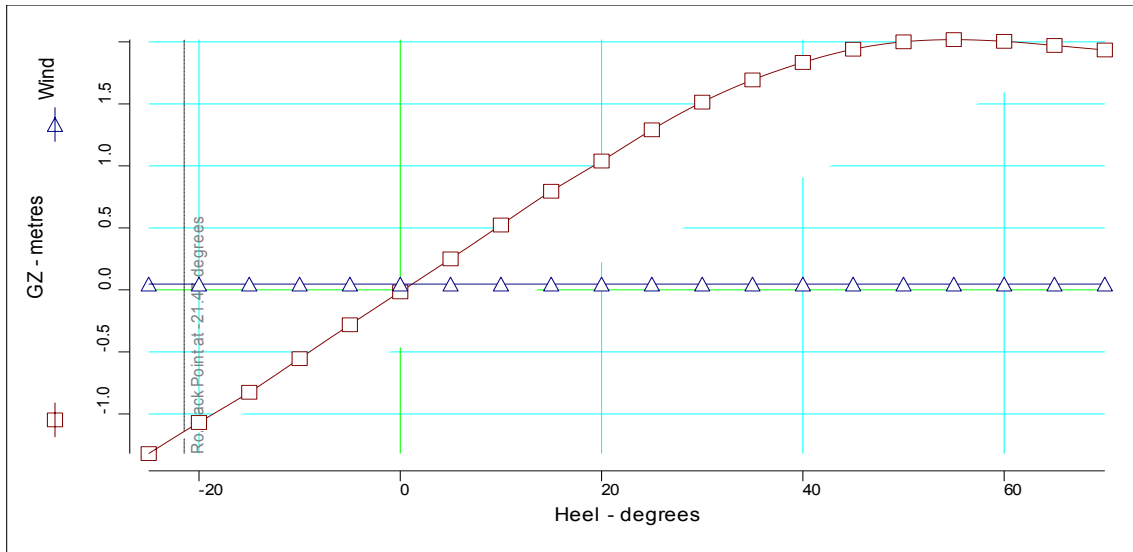
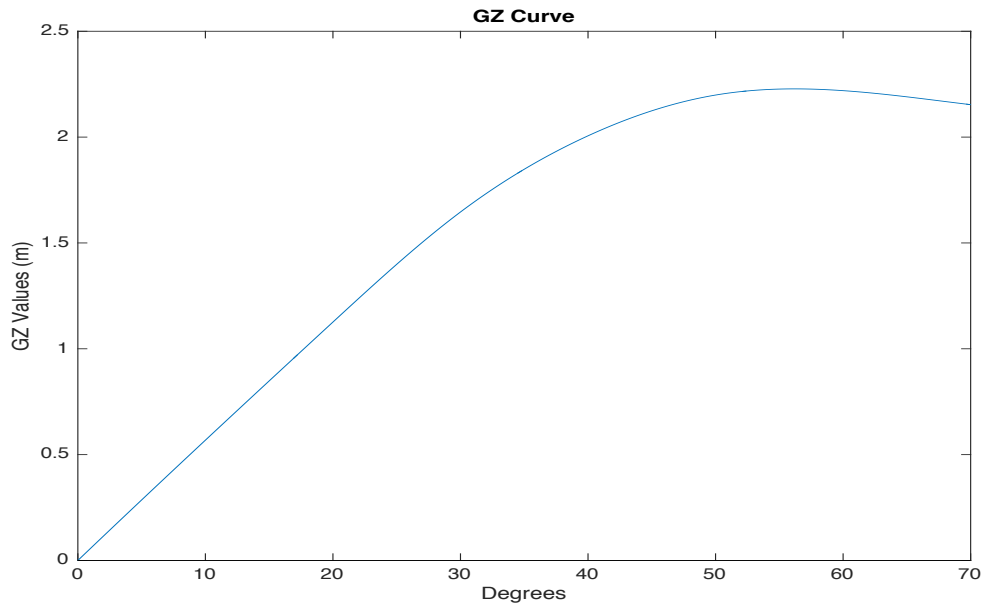
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	10095.9	tn	10095.1	tn	0.800	0.008%	2%
Βύθισμα στο LCF	7.426	m	7.437	m	0.011	0.148%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	6.876	m	6.877	m	0.001	0.015%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	8.071	m	8.088	m	0.017	0.210%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	1.195	m	1.212	m	0.017	1.403%	1% / 2cm max.
LCB	54.71	m	54.72	m	0.010	0.018%	1% / 50 cm max.
VCB	4.12	m	4.13	m	0.010	0.242%	1% / 5 cm max.
LCF	50.62	m	50.705	m	0.085	0.168%	1% / 50 cm max.
TPC	17.4774	tn/cm	17.487	tn/cm	0.010	0.055%	-
MTC	121.61	tn.m/cm	121.816	tn.m/cm	0.206	0.169%	2%
KMt	8.348	m	8.348	m	0.000	0.000%	-
BMt	4.219	m	4.219	m	0.000	0.000%	-
BMI	131.7424	m	132.011	m	0.269	0.203%	-
GMt (corrected)	3.038	m	3.027	m	0.011	0.363%	1% / 5 cm max.
WPA	1705.2	sq.m	1706.08	sq.m	0.880	0.052%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	54.705	m	54.71	m	0.005	0.009%	1% / 50 cm max.
VCG	4.864	m	4.86	m	0.004	0.082%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	5.31	m	5.321	m	0.011	0.207%	1% / 50 cm max.
TCG	-0.0157	m	-0.020	m	0.004	0.430%	0.5% of B / 5 cm max.

Πίνακας 6.2.1.3: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοιχείων φόρτωσης

Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	-0.0156	m	0.0156	1.560%	5% / 5 cm max.	
10	0.5683	0.5235	m	0.0448	8.558%	5% / 5 cm max.	
20	1.1262	1.0393	m	0.0869	8.361%	5% / 5 cm max.	
30	1.6462	1.5142	m	0.1320	8.717%	5% / 5 cm max.	
40	2.0061	1.8345	m	0.1716	9.354%	5% / 5 cm max.	
50	2.1987	2.0010	m	0.1977	9.880%	5% / 5 cm max.	
60	2.2195	2.0045	m	0.2150	10.726%	5% / 5 cm max.	
70	2.1533	1.9348	m	0.2185	11.293%	5% / 5 cm max.	

Πίνακας 6.2.1.4: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

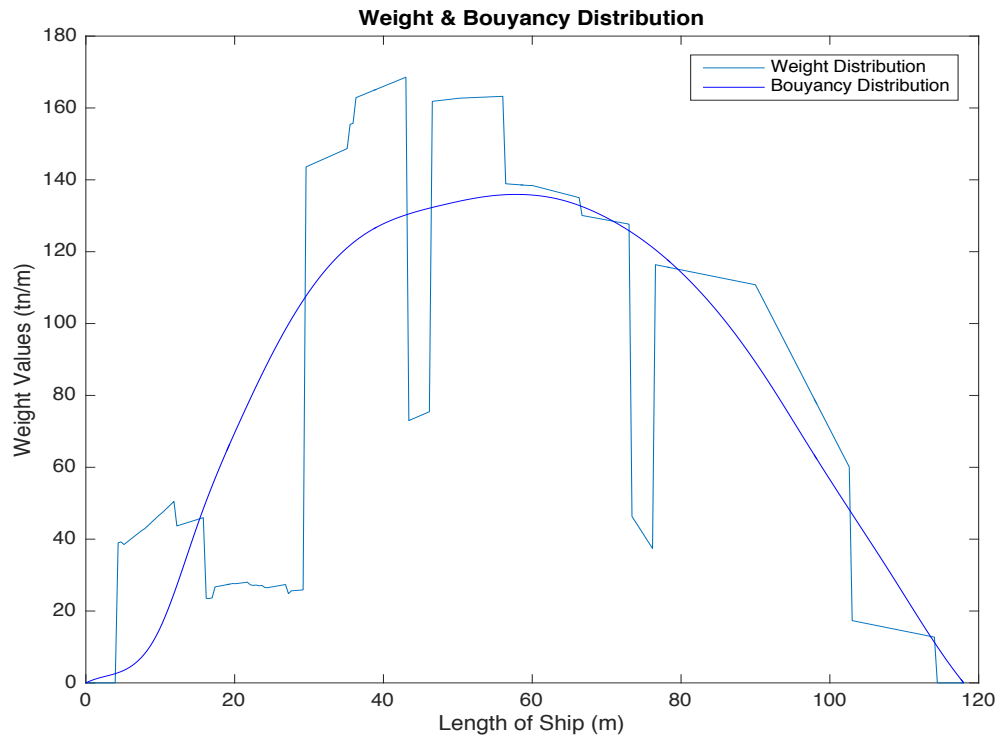
Σχόλιο: Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2.1.4 η διαφορά στις τιμές της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς ξεπερνούν τις αποδεκτές αποκλίσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στο *Tribon*, υπολογίζεται εκ νέου η διαγωγή για κάθε γωνία εγκάρσιας κλίσης, ενώ στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης παραμένει σταθερή και ίση με αυτή, που υπολογίστηκε για μηδενική γωνία εγκάρσιας κλίσης, σε όλο το εύρος των γωνιών. Επιπλέον, οι τιμές αποκλίνουν και εξαιτίας της διαφοράς της διαγωγής, που υπολογίστηκε από την πραγματική. Για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση της εγκάρσιας κλίσης με τη διαγωγή, ειδικά στην περιοχή των μεγάλων γωνιών εγκάρσιας κλίσης. Ανάλογες αποκλίσεις, δημιουργούνται, κατ' επέκταση, και στις τιμές των εμβαδών κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, όπως φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 6.2.1.5.



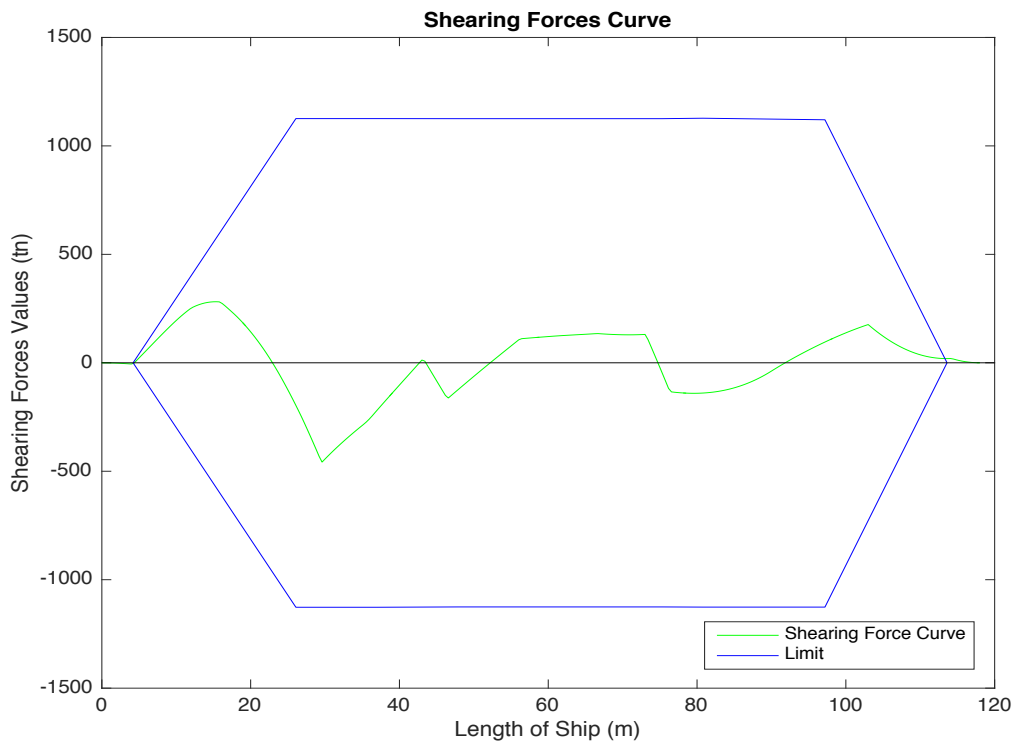
Σχήμα 6.2.1.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.

Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν		Πραγματικό	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	0.4350	m.rad	0.406	m.rad	0.0290	7.143%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.3541	m.rad	0.294	m.rad	0.0601	20.442%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	0.7891	m.rad	0.701	m.rad	0.0881	12.568%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	3.0380	m	3.027	m	0.0110	0.363%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	1.6462	m	1.5142	m	0.1320	8.717%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	56.2800	deg	55.19	deg	1.0900	1.975%	-

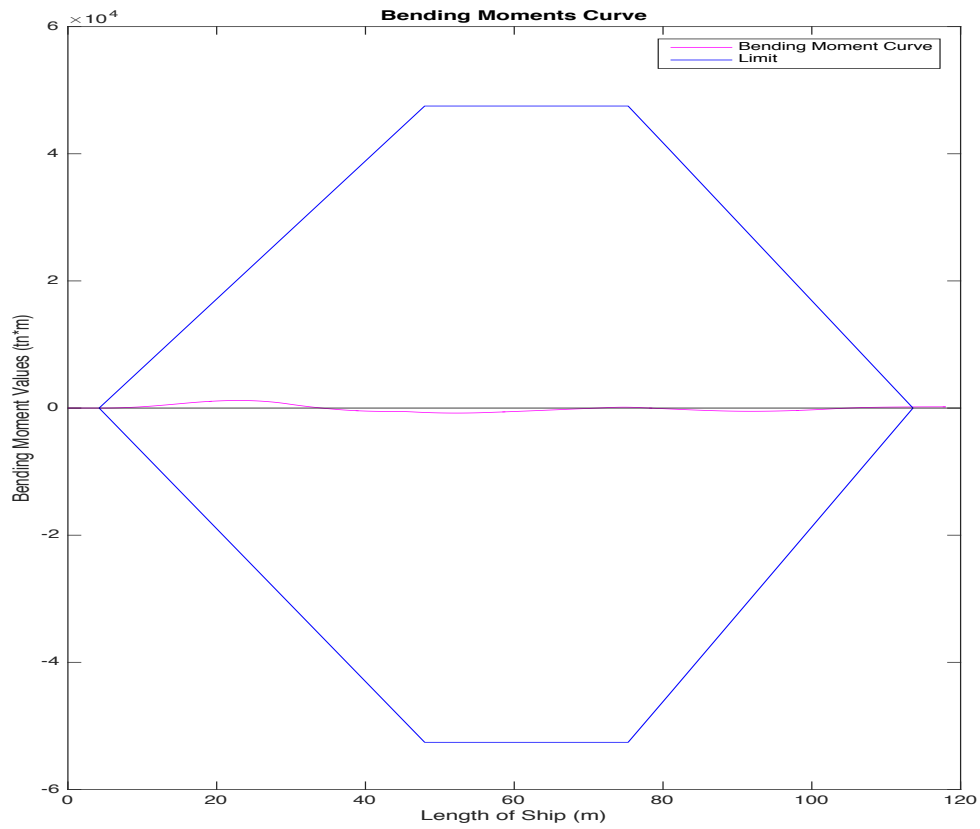
Πίνακας 6.2.1.5: Κριτήρια Ευστάθειας IMO



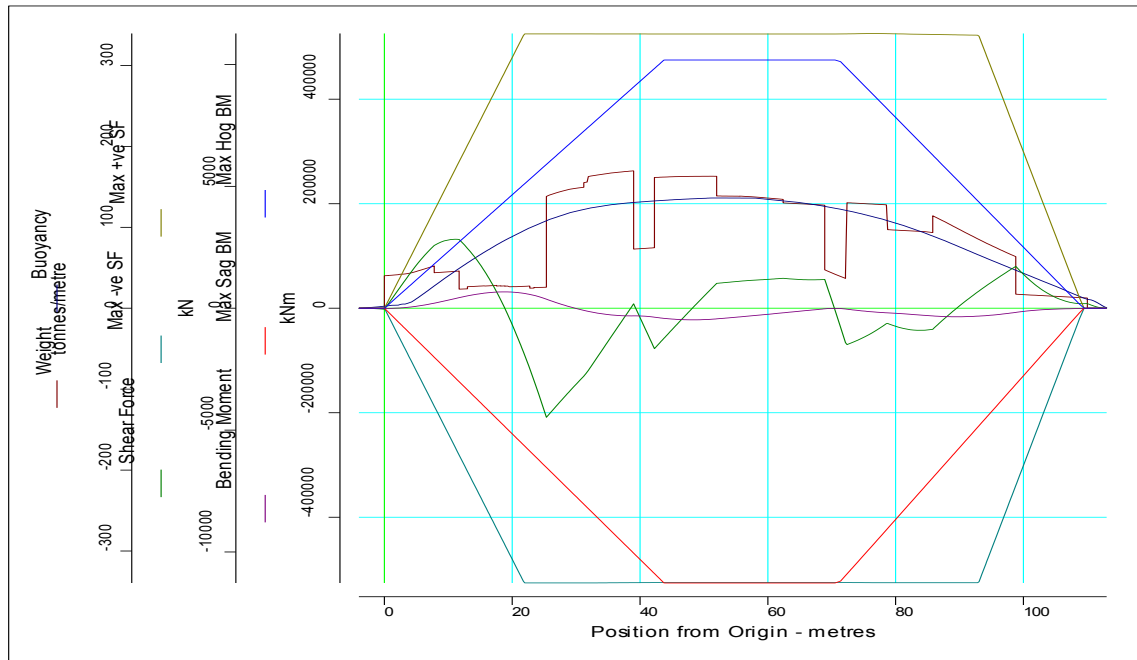
Σχήμα 6.1.2.2: Κατανομή Βάρους και Άντωσης



Σχήμα 6.1.2.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.1.2.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.1.2.5: Καμπύλες Κατανομών Βάρους, Αντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	-4576.9	-4472.7	104.2	2.330%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	31718	31311.1	406.9	1.300%	± 5%

Πίνακας 6.2.1.6: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

Σχόλιο: Το γεγονός ότι στα διαγράμματα των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών, οι τιμές στο προωαίο άκρο μπορεί να μη μηδενίζονται, αλλά να μένει μια μικρή τιμή, συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- Κατά την εύρεση της ισάλου ισορροπίας μπορεί να υπάρχει μικρή απόκλιση στις κατανομές του βάρους και της άντωσης, όταν διορθώνεται το βύθισμα.
- Η διόρθωση της διαγωγής γίνεται, μέχρις ότου η διαφορά του LCG και του LCB γίνει μικρότερη των 2 εκατοστών, γεγονός που επίσης δύναται να δημιουργήσει μικρή ροπή κλίσης στο προωαίο άκρο.
- Οι αριθμητικές προσεγγίσεις κατά τον υπολογισμό των κατανομών, αλλά και η παρεμβολή των σημείων, περιέχουν κι αυτές σφάλματα.

Γενικότερα, ωστόσο, αποδεκτές θεωρούνται αποκλίσεις της τάξεως του 3% της μέγιστης διατμητικής δύναμης και του 6% της μέγιστης καμπτικής ροπής στο προωαίο άκρο.

Οι περιγραφές και τα σχόλια, που έλαβαν χώρα σε αυτήν την κατάσταση φόρτωσης, ισχύουν και για τις υπόλοιπες και για τα δύο, προς εξέταση πλοία. Επομένως, εφεξής, θα γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων με όμοιο τρόπο, με την παρούσα κατάσταση φόρτωσης και θα σχολιάζεται μεμονωμένα κάτι, αν κρίνεται σκόπιμο.

LOADING CONDITION 2: Fully Loaded with Coal 0.199 tn/m³ Departure

Κατά την κατάσταση μερικής φόρτωσης κάρβουνου ειδικού βάρους 0.199 tn/m³ στην αναχώρηση, το πλάνο φόρτωσης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο ευστάθειας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
CARGO NO1.C	100	0.199
CARGO NO2.C	100	0.199
CARGO NO3.C	100	0.199
WBT NO15.P	100	1.025
WBT NO15.S	100	1.025
WBT NO2.P	100	1.025
WBT NO21.S	55	1.025
WBT NO23.P	100	1.025
WBT NO23.S	100	1.025
WBT NO25.S	100	1.025
WBT NO3.S	100	1.025
WBT NO4.P	100	1.025
WBT NO5.S	100	1.025
WBT NO8.P	100	1.025
WBT NO9.S	100	1.025
HFO NO1.S	98	0.92
HFO NO2.P	98	0.92
HFO NO3.S	98	0.92
HFO NO4.P	98	0.92
HFO NO5.S	98	0.92
HFO NO6.P	98	0.92
HFO NO7.S	98	0.92
HFO NO9.S	98	0.92
MDF NO1.S	98	0.86
MDF NO3.S	98	0.86
MDF NO4.P	98	0.86
CWT.P	100	1
LOW APT.C	100	1
UPP APT 32.C	100	1
LO CIRC NO1.C	98	0.89
LO STOR NO2.P	98	0.89
LO STOR NO4.P	98	0.89

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	3
Προμηθειες και Σταθερα	5

Πίνακας 6.2.2.1: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών περιέχονται στους παρακάτω πίνακες:

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	6479.236	tn	6479.2	tn	0.036	0.001%	2%
Βύθισμα στο LCF	5.210	m	5.211	m	0.002	0.029%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	5.519	m	5.527	m	0.008	0.143%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	4.886	m	4.879	m	0.007	0.148%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	-0.633	m	-0.648	m	0.015	2.330%	1% / 2cm max.
LCB	53.402	m	53.38	m	0.022	0.041%	1% / 50 cm max.
VCB	2.882	m	2.88	m	0.002	0.069%	1% / 5 cm max.
LCF	53.336	m	53.301	m	0.035	0.066%	1% / 50 cm max.
TPC	15.296	tn/cm	15.298	tn/cm	0.002	0.013%	-
MTC	89.371	tn.m/cm	89.395	tn.m/cm	0.024	0.027%	2%
KMt	8.236	m	8.236	m	0.000	0.000%	-
BMt	5.354	m	5.355	m	0.001	0.017%	-
BMI	150.901	m	150.931	m	0.030	0.020%	-
GMt (corrected)	0.721	m	0.719	m	0.002	0.278%	1% / 5 cm max.
WPA	1492.344	sq.m	1492.49	sq.m	0.146	0.010%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	53.410	m	53.41	m	0.000	0.000%	1% / 50 cm max.
VCG	6.797	m	6.8	m	0.003	0.046%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	7.515	m	7.517	m	0.002	0.030%	1% / 50 cm max.
TCG	-0.001	m	-0.010	m	0.009	0.888%	0.5% of B / 5 cm max.

Πίνακας 6.2.2.2: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοιχείων φόρτωσης

Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	-0.0011	m	0.0011	0.110%	5% / 5 cm max.	
10	0.1431	0.1372	m	0.0059	4.295%	5% / 5 cm max.	
20	0.3541	0.3443	m	0.0098	2.837%	5% / 5 cm max.	
30	0.6184	0.6034	m	0.0150	2.481%	5% / 5 cm max.	
40	0.7564	0.7466	m	0.0098	1.312%	5% / 5 cm max.	
50	0.7129	0.6919	m	0.0210	3.041%	5% / 5 cm max.	
60	0.4921	0.4727	m	0.0194	4.110%	5% / 5 cm max.	
70	0.1943	0.1725	m	0.0218	12.631%	5% / 5 cm max.	

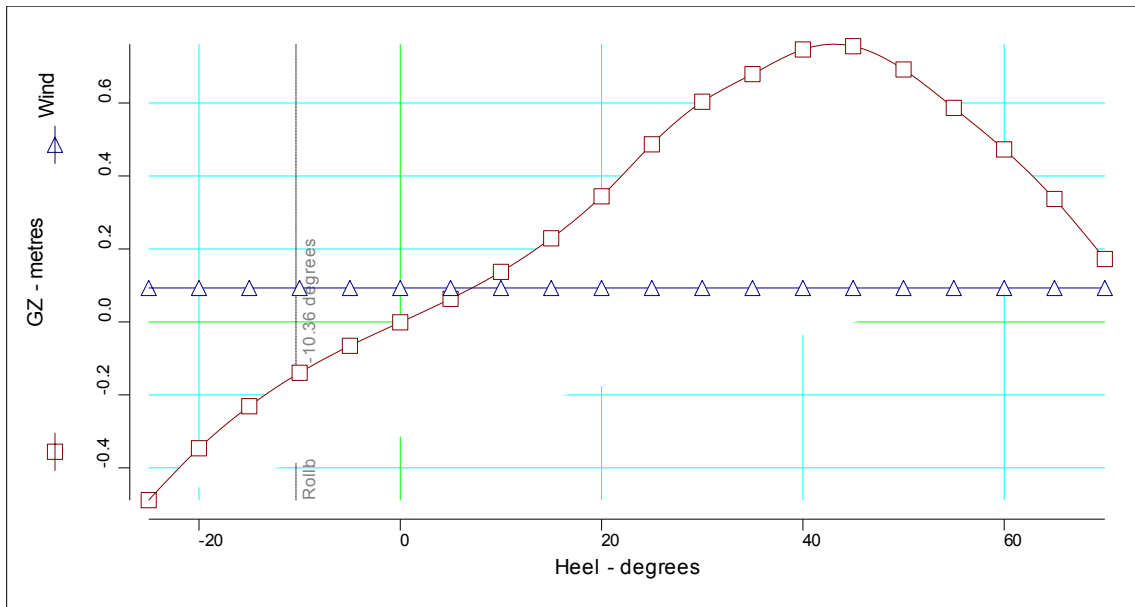
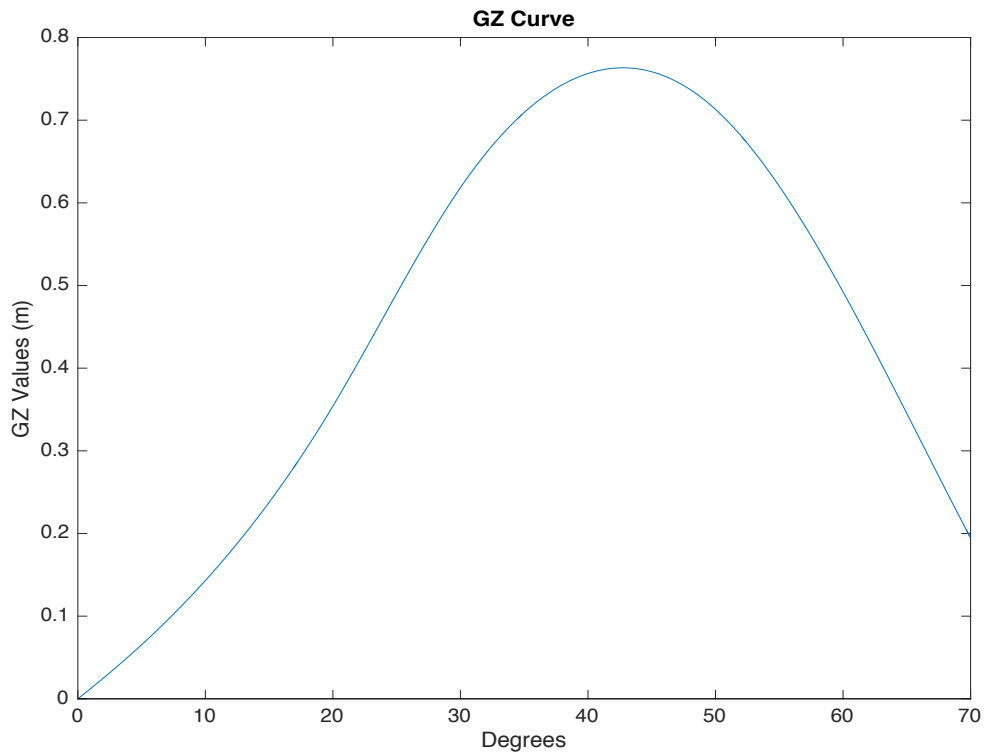
Πίνακας 6.2.2.3: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

Σχόλιο: Παρατηρείται, ότι για μικρότερη τιμή αρχικής διαγωγής και συγκεκριμένα έμπρυμνης, οι αποκλίσεις των τιμών του μοχλοβραχίονα επαναφοράς βελτιώνονται αισθητά.

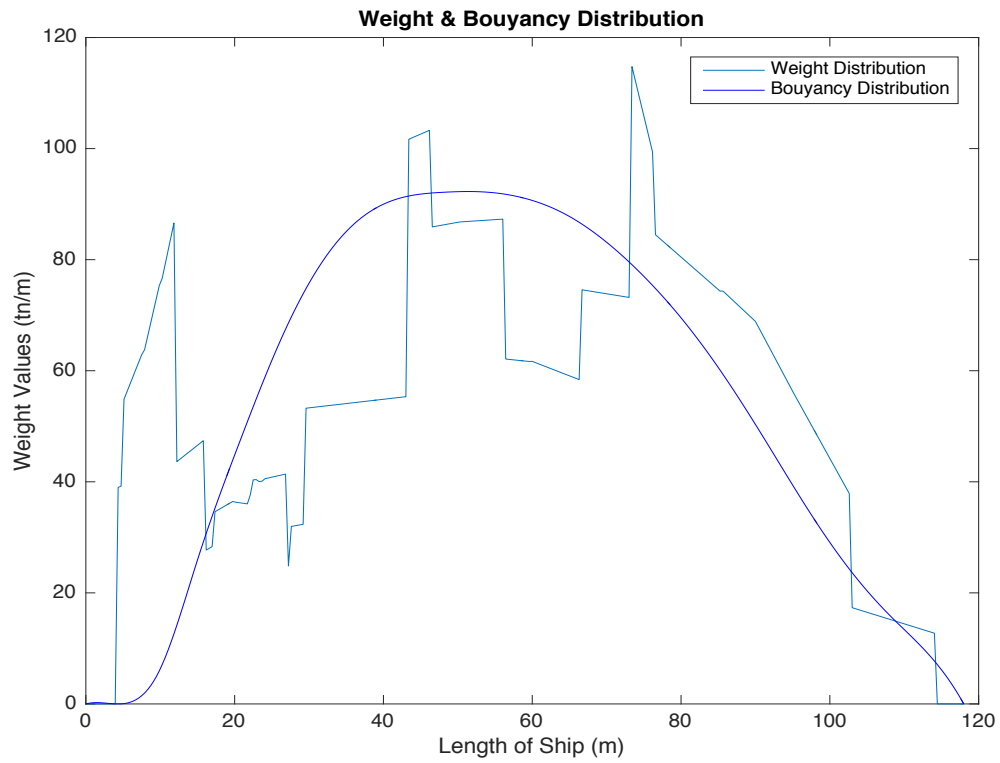
Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	0.1369	m.rad	0.136	m.rad	0.0009	0.662%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.1257	m.rad	0.118	m.rad	0.0077	6.525%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	0.2626	m.rad	0.255	m.rad	0.0076	2.980%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	0.7210	m	0.719	m	0.002	0.278%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	0.6184	m	0.6034	m	0.01497	2.481%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	42.5630	deg	42.956	deg	0.393	0.915%	-

Πίνακας 6.2.2.4: Κριτήρια Ευστάθειας IMO

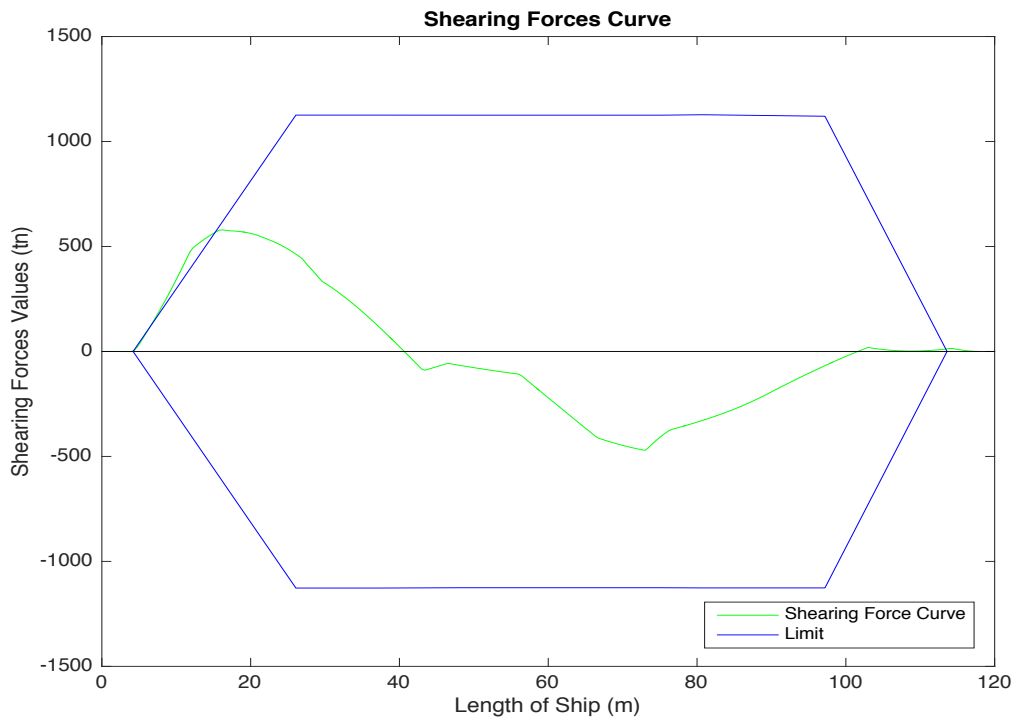
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα του προγράμματος και του Tribon:



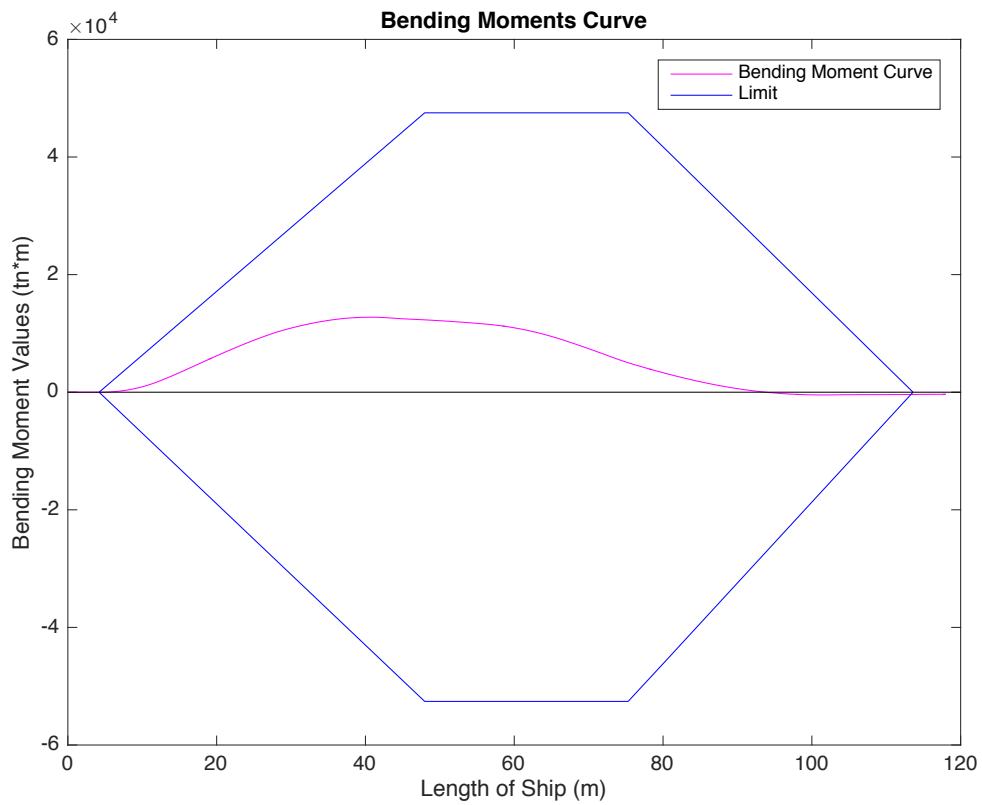
Σχήμα 6.2.2.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.



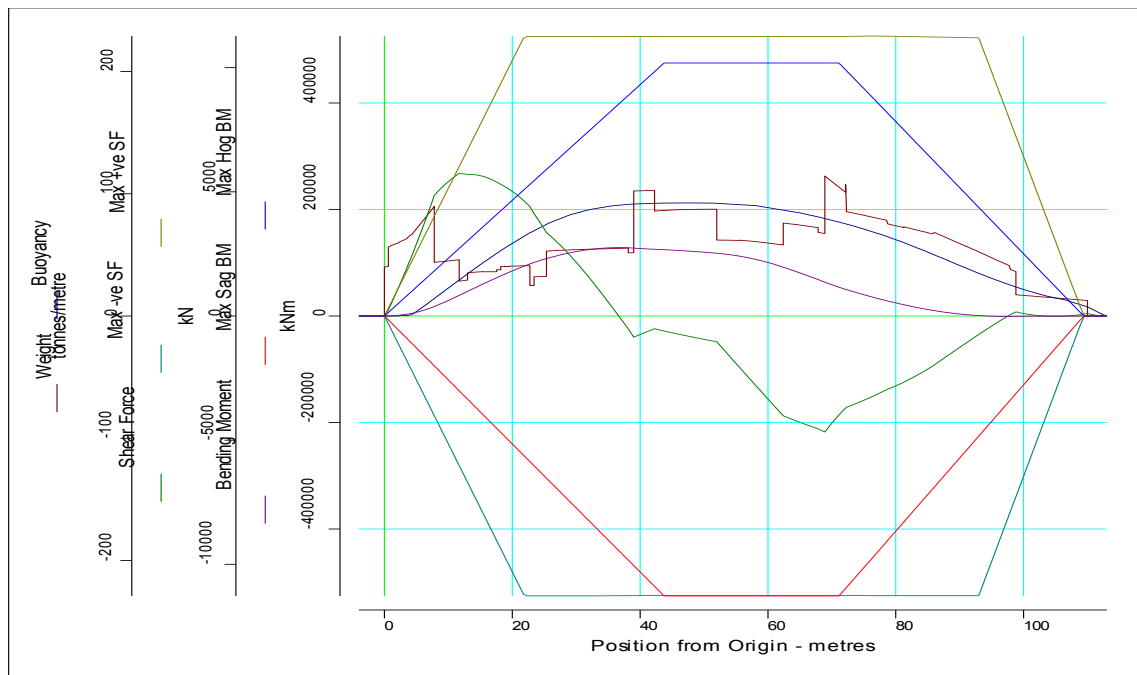
Σχήμα 6.2.2.2: Κατανομή Βάρους και Άντωσης



Σχήμα 6.2.2.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.2.2.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.2.2.5: Καμπλές Κατανομών Βάρους, Αντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	5790.09	5738.7	51.39	0.896%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	127545.30	128436	890.70	0.693%	± 5%

Πίνακας 6.2.2.5: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

LOADING CONDITION 3: Light Ballast Arrival

Κατά την κατάσταση ερματισμού στην άφιξη, το πλάνο φόρτωσης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο ευστάθειας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
PIPE TUNNEL.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO10.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO11.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO12.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO13.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO15.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO15.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO16.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO17.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO19.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO19.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO2.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO20.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO21.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO23.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO23.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO25.S: BALLAST	77	1.025
WBT NO26.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO27.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO29.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO3.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO4.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO5.S: BALLAST	100	1.025
WBT NO8.P: BALLAST	100	1.025
WBT NO9.S: BALLAST	100	1.025
HFO NO5.S: FUEL	75.2	0.92
HFO NO6.P: FUEL	70.4	0.92
HFO NO7.S: FUEL	70.2	0.92
HFO NO9.S: FUEL	73.1	0.92
MDF NO3.S: DIESEL	10	0.86
MDF NO4.P: DIESEL	24.8	0.86
CWT.P: FRESH	100	1
LOW APT.C: FRESH	92.6	1
LO CIRC NO1.C: LUB	89.5	0.89
LO STOR NO2.P: LUB	10	0.89
LO STOR NO4.P: LUB	9.9	0.89
DIRTY WATER.S: MISC	98	1
SLUDGE.S: MISC	98	1
WASTE OT.S: MISC	98	1

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	3
Προμηθειες και Σταθερα	0.5

Πίνακας 6.2.3.1: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών περιέχονται στους παρακάτω πίνακες:

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	5082.423	tn	5082.4	tn	0.023	0.000%	2%
Βύθισμα στο LCF	4.269	m	4.27	m	0.001	0.023%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	4.539	m	4.545	m	0.006	0.132%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	3.996	m	3.989	m	0.007	0.175%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	-0.543	m	-0.555	m	0.012	2.162%	1% / 2cm max.
LCB	53.454	m	53.44	m	0.014	0.026%	1% / 50 cm max.
VCB	2.368	m	2.37	m	0.002	0.069%	1% / 5 cm max.
LCF	54.072	m	54.052	m	0.020	0.037%	1% / 50 cm max.
TPC	14.570	tn/cm	14.572	tn/cm	0.002	0.013%	-
MTC	80.878	tn.m/cm	80.884	tn.m/cm	0.006	0.007%	2%
KMt	8.611	m	8.609	m	0.002	0.024%	-
BMt	6.243	m	6.241	m	0.002	0.027%	-
BMI	174.175	m	174.135	m	0.040	0.023%	-
GMt (corrected)	1.931	m	1.922	m	0.009	0.468%	1% / 5 cm max.
WPA	1421.666	sq.m	1421.69	sq.m	0.024	0.002%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	53.457	m	53.46	m	0.003	0.006%	1% / 50 cm max.
VCG	5.922	m	5.92	m	0.002	0.034%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	6.681	m	6.687	m	0.006	0.097%	1% / 50 cm max.
TCG	0.000	m	0.000	m	0.000	0.000%	0.5% of B / 5 cm max.

Πίνακας 6.2.3.2: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοιχείων φόρτωσης

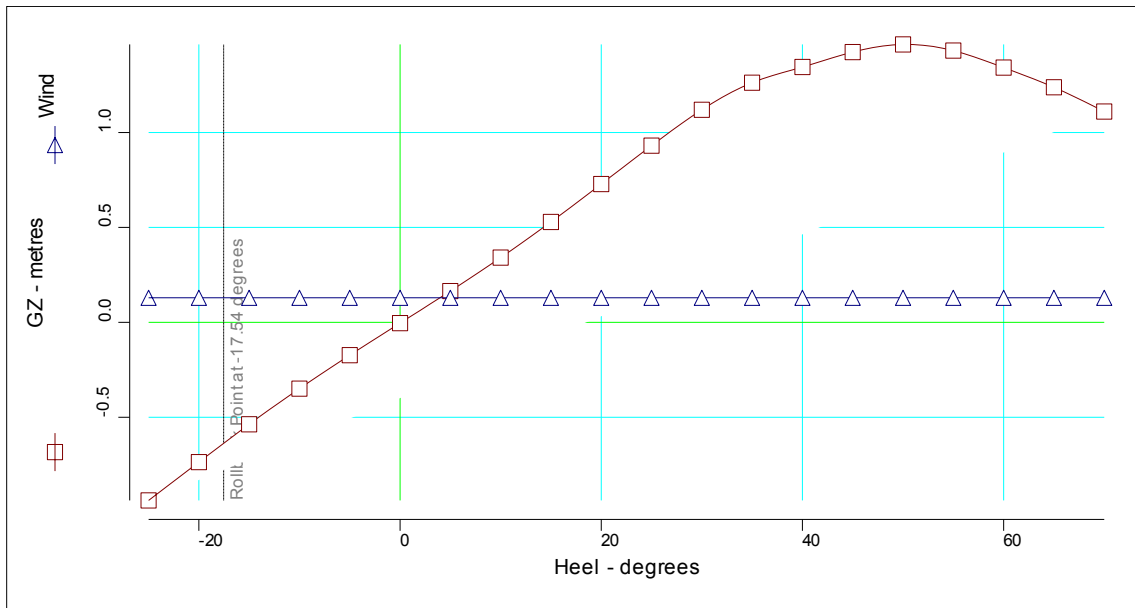
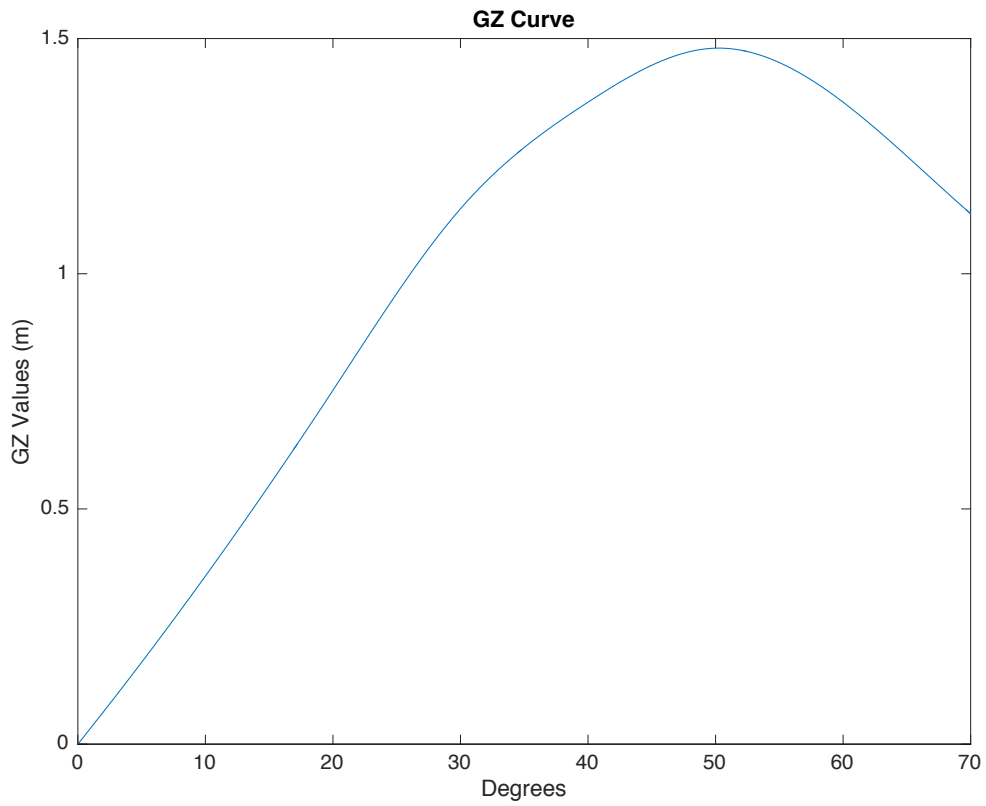
Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	-0.0042	m	0.0042	0.420%	5% / 5 cm max.	
10	0.3573	0.341	m	0.0163	4.782%	5% / 5 cm max.	
20	0.7522	0.7285	m	0.0237	3.258%	5% / 5 cm max.	
30	1.1381	1.1197	m	0.0184	1.647%	5% / 5 cm max.	
40	1.3647	1.3448	m	0.0199	1.481%	5% / 5 cm max.	
50	1.4796	1.4637	m	0.0159	1.083%	5% / 5 cm max.	
60	1.3647	1.3418	m	0.0229	1.706%	5% / 5 cm max.	
70	1.1276	1.1104	m	0.0172	1.546%	5% / 5 cm max.	

Πίνακας 6.2.3.3: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

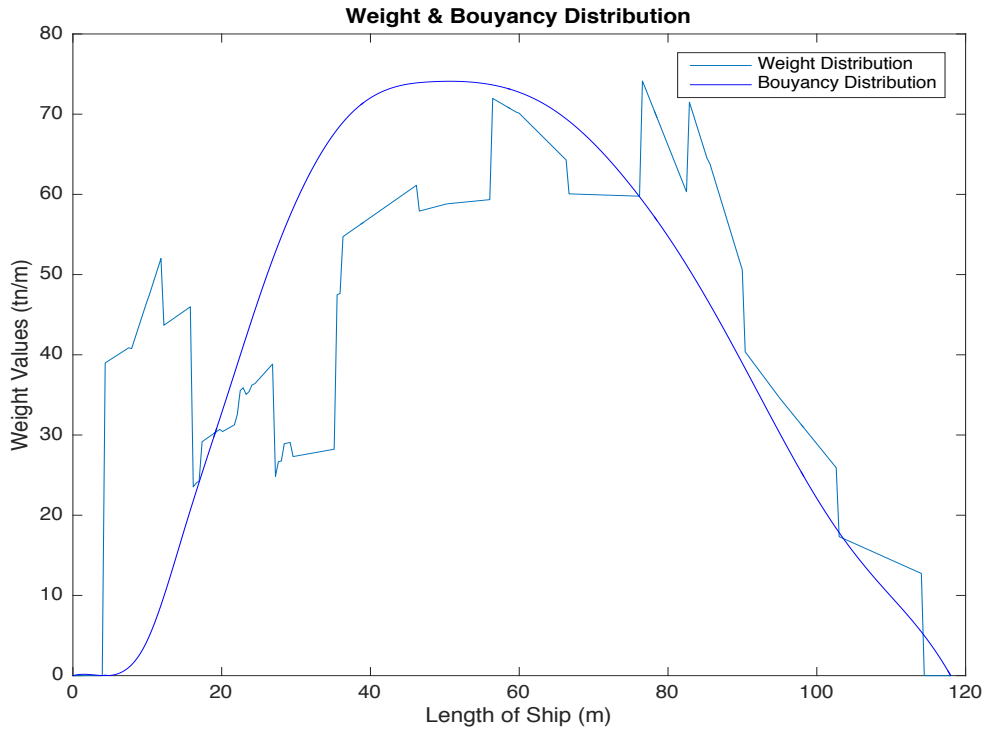
Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν	Πραγματικό	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση		
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	0.2890	m.rad	0.284	m.rad	0.005	1.761%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.2203	m.rad	0.218	m.rad	0.0023	1.055%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	0.5093	m.rad	0.502	m.rad	0.0073	1.454%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	1.9310	m	1.922	m	0.009	0.468%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	1.1381	m	1.1197	m	0.01844	1.647%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	50.3020	deg	50.493	deg	0.191	0.378%	-

Πίνακας 6.2.3.4: Κριτήρια Ευστάθειας IMO

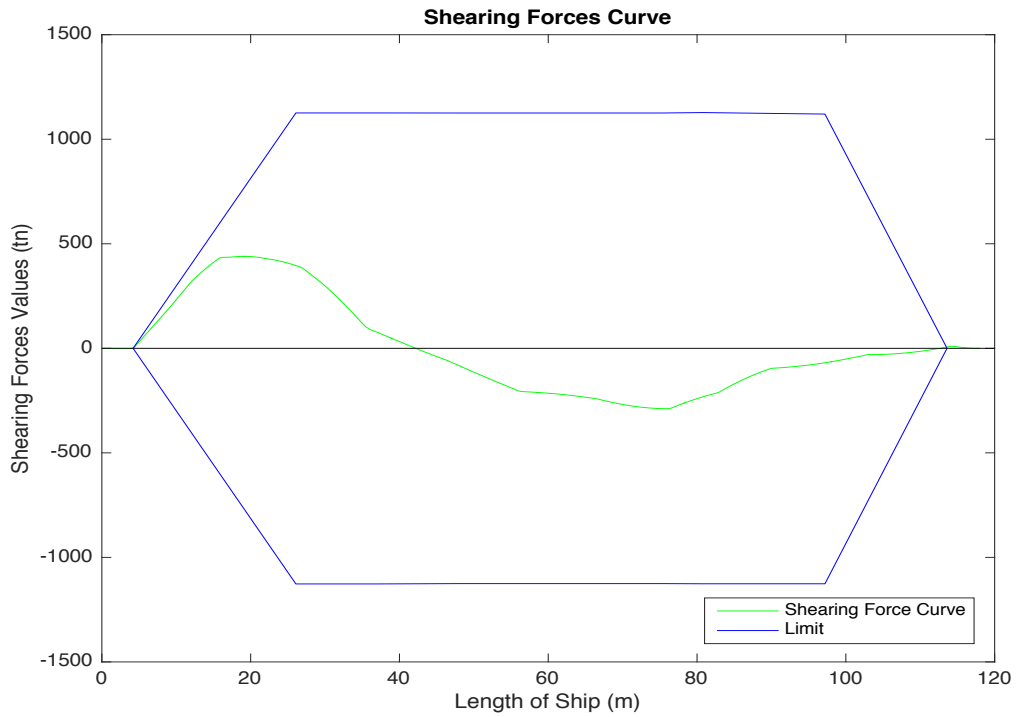
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα του προγράμματος και του Tribon:



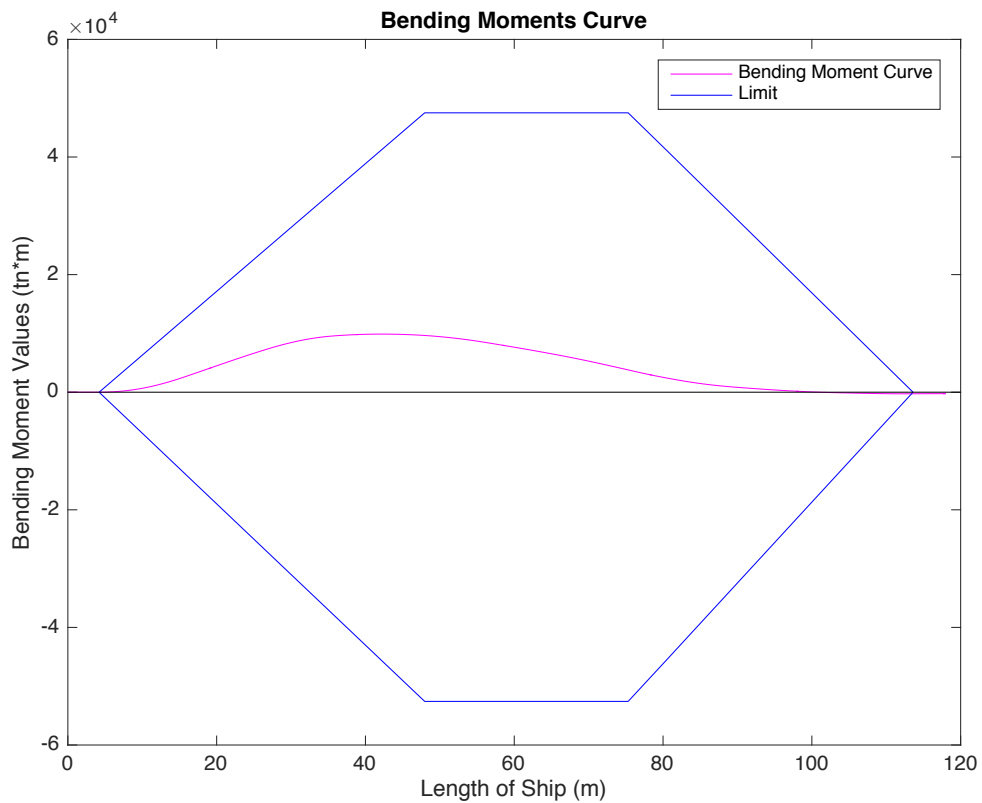
Σχήμα 6.2.3.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.



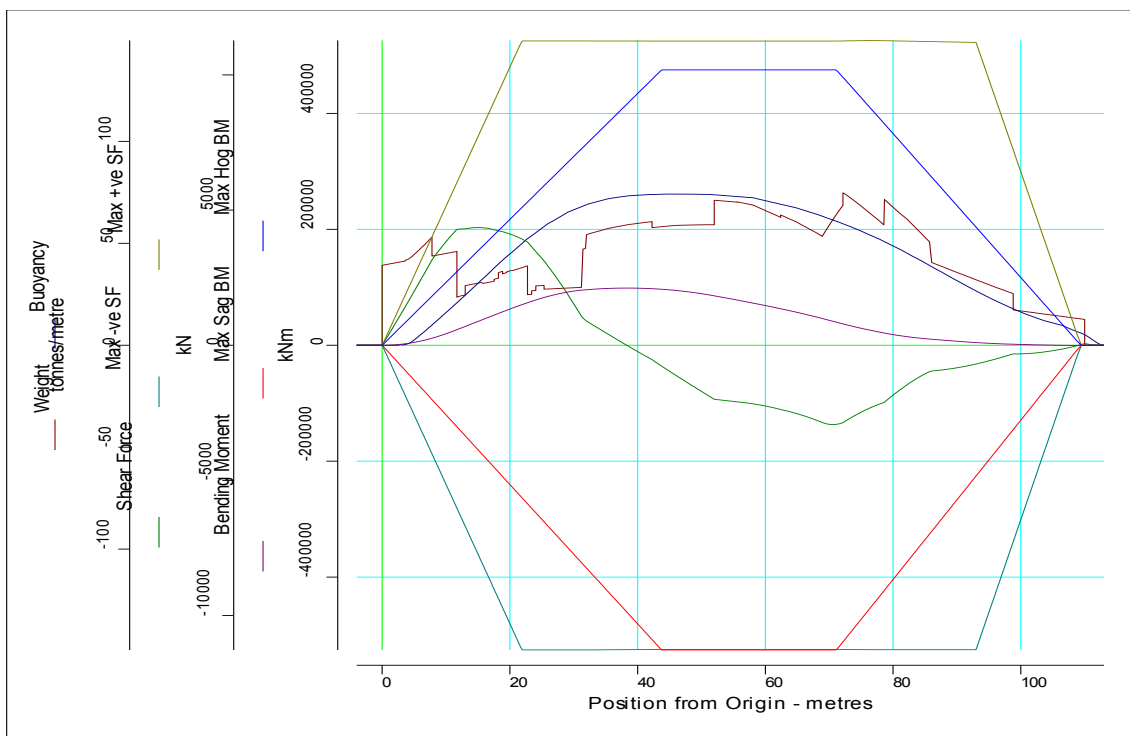
Σχήμα 6.2.3.2: Κατανομή Βάρους και Αντώσης



Σχήμα 6.2.3.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.2.3.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.2.3.5: Καμπύλες Κατανομών Βάρους, Αντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	4396.83	4354.7	42.13	0.968%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	98823.43	98640.8	182.63	0.185%	± 5%

Πίνακας 6.2.3.5: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

Παράρτημα Πινάκων Βάσης Δεδομένων «M/V Captain Joy»

Dispt	Draft	ICB	VCB	WPA	ICF	KML	KMIT	WSA	TPC	MTC	CB	CM	CP	CW	BML	BMT
817.87	1	53.882	0.573	1047.35	53.983	646.862	20.243	1095.91	10.74	48.32	0.376	0.638	0.589	0.493	646.29	19.671
1037.14	1.2	53.911	0.684	1091.05	54.054	542.734	17.827	1155.36	11.18	51.39	0.397	0.674	0.59	0.514	542.05	17.142
1264.88	1.4	53.945	0.795	1129.22	54.148	470.505	16.021	1217.02	11.57	54.31	0.415	0.702	0.592	0.532	469.71	15.226
1499.78	1.6	53.983	0.906	1162.21	54.225	416.009	14.626	1272.54	11.91	56.91	0.431	0.725	0.594	0.548	415.103	13.772
1741.17	1.8	54.022	1.016	1191.59	54.302	373.826	13.513	1326.09	12.21	59.34	0.445	0.745	0.597	0.561	372.81	12.497
1988.19	2	54.061	1.126	1218.23	54.366	339.716	12.633	1378.22	12.49	61.53	0.457	0.761	0.6	0.574	338.59	11.508
2240.51	2.2	54.099	1.236	1242.74	54.419	311.904	11.91	1429.43	12.74	63.62	0.468	0.776	0.603	0.586	310.669	10.674
2497.63	2.4	54.134	1.345	1265.59	54.461	288.783	11.312	1479.93	12.97	65.62	0.478	0.789	0.606	0.596	287.438	9.966
2799.3	2.6	54.167	1.455	1286.53	54.49	268.951	10.807	1529.77	13.19	67.47	0.488	0.8	0.61	0.606	267.497	9.352
3025.01	2.8	54.196	1.564	1305.72	54.506	251.773	10.374	1579.01	13.38	69.19	0.497	0.81	0.613	0.615	250.209	8.81
3294.62	3	54.222	1.673	1324.62	54.528	237.19	10.015	1628.2	13.58	70.93	0.505	0.82	0.616	0.624	235.516	8.342
3567.83	3.2	54.245	1.783	1340.72	54.523	223.9	9.685	1676.45	13.74	72.44	0.513	0.828	0.619	0.632	222.117	7.902
3844.31	3.4	54.265	1.892	1356.62	54.524	212.429	9.408	1724.62	13.91	73.98	0.52	0.835	0.622	0.639	210.537	7.516
4123.99	3.6	54.283	2.001	1371.72	54.517	202.292	9.166	1772.58	14.06	75.5	0.527	0.842	0.625	0.646	200.291	7.165
4406.67	3.8	54.297	2.11	1386.03	54.497	193.244	8.955	1820.33	14.21	76.99	0.533	0.849	0.628	0.653	191.134	6.845
4692.25	4	54.309	2.219	1400.08	54.477	185.203	8.776	1867.99	14.35	78.48	0.539	0.855	0.631	0.66	182.984	6.557
4980.67	4.2	54.316	2.328	1413.78	54.389	177.955	8.625	1915.96	14.49	79.96	0.545	0.86	0.634	0.666	175.627	6.297
5271.9	4.4	54.318	2.437	1427.41	54.304	171.481	8.498	1963.96	14.63	81.46	0.551	0.865	0.636	0.673	169.044	6.061
5565.91	4.6	54.314	2.546	1441.06	54.204	165.69	8.393	2012.16	14.77	83	0.556	0.87	0.639	0.679	163.144	5.847
5862.72	4.8	54.306	2.655	1454.64	54.073	160.417	8.307	2060.74	14.91	84.54	0.561	0.874	0.642	0.685	157.763	5.652
6162.29	5	54.291	2.764	1467.86	53.929	155.518	8.237	2109.41	15.05	86.04	0.567	0.879	0.645	0.692	152.754	5.473
6464.69	5.2	54.269	2.873	1482.33	53.773	151.293	8.191	2159.32	15.19	87.7	0.571	0.883	0.648	0.698	148.42	5.318
6770.03	5.4	54.24	2.983	1496.67	53.505	147.427	8.155	2209.54	15.34	89.39	0.576	0.886	0.65	0.705	144.445	5.172
7078.36	5.6	54.202	3.092	1511.73	53.261	144.091	8.132	2260.54	15.5	91.23	0.581	0.89	0.653	0.712	140.999	5.04
7389.91	5.8	54.157	3.202	1527.84	52.969	141.292	8.122	2312.68	15.66	93.28	0.586	0.893	0.656	0.72	138.09	4.92
7704.84	6	54.101	3.313	1544.98	52.612	139.03	8.121	2366.34	15.84	95.58	0.59	0.896	0.659	0.728	135.717	4.808
8023.86	6.2	54.033	3.423	1567.89	52.122	138.591	8.135	2424.63	16.07	99.14	0.595	0.899	0.662	0.739	135.168	4.712
8347.9	6.4	53.948	3.535	1594.2	51.52	139.202	8.158	2487.15	16.34	103.52	0.6	0.902	0.665	0.751	135.666	4.623
8677.7	6.6	53.842	3.648	1623.78	50.821	140.688	8.192	2553.06	16.64	108.7	0.604	0.905	0.668	0.765	137.04	4.544
9013.59	6.8	53.716	3.762	1652.33	50.143	141.739	8.234	2618.84	16.94	113.68	0.609	0.907	0.672	0.779	137.977	4.472
9354.88	7	53.576	3.876	1676.79	49.583	141.471	8.282	2681.4	17.19	117.66	0.614	0.91	0.675	0.79	137.595	4.406
9700.69	7.2	53.425	3.991	1696.83	49.12	139.936	8.331	2741.26	17.39	120.55	0.619	0.912	0.679	0.8	135.945	4.34
10050.57	7.4	53.269	4.106	1716.47	48.79	138.758	8.381	2797.44	17.59	123.7	0.624	0.914	0.683	0.809	134.652	4.275
10404.3	7.6	53.112	4.222	1734.04	48.513	137.218	8.431	2852.66	17.77	126.48	0.629	0.917	0.687	0.817	133.996	4.21
10762.86	7.8	52.961	4.337	1763.81	48.642	138.421	8.517	2913.69	18.08	131.91	0.634	0.919	0.69	0.831	134.083	4.179
11127.36	8	52.822	4.454	1792.16	48.788	139.303	8.602	2974.88	18.37	137.16	0.639	0.921	0.694	0.844	135.848	4.148
11497.43	8.2	52.695	4.572	1818.03	48.954	139.767	8.681	3034.88	18.63	142.08	0.645	0.923	0.698	0.857	135.196	4.11
11872.68	8.4	52.579	4.689	1842.76	49.12	140.004	8.761	3094.99	18.89	146.85	0.65	0.925	0.703	0.868	135.315	4.072
12252.86	8.6	52.474	4.808	1866.01	49.272	139.899	8.842	3154.77	19.13	151.3	0.655	0.926	0.707	0.879	135.092	4.034
12637.66	8.8	52.379	4.926	1887.92	49.416	139.515	8.924	3214.38	19.35	155.47	0.66	0.928	0.711	0.89	134.589	3.998
13026.85	9	52.292	5.045	1908.96	49.561	138.991	9.007	3274.45	19.57	159.5	0.665	0.93	0.716	0.899	133.946	3.962

Πίνακας Υδροστατικών Στοιχείων για μηδενική διάγωγή

DISPLT	0 DEG	10 DEG	20 DEG	30 DEG	40 DEG	50 DEG	60 DEG	70 DEG	80 DEG	90 DEG
100	0	4.9	6.339	6.782	6.806	6.574	6.193	5.855	6.274	7.72
745	0	3.115	4.887	5.865	6.383	6.635	6.79	7.054	7.158	7.071
1390	0	2.502	4.226	5.385	6.16	6.695	7.12	7.326	7.277	7.022
2035	0	2.142	3.829	5.057	6.004	6.742	7.242	7.434	7.333	7.073
2680	0	1.903	3.554	4.839	5.89	6.73	7.268	7.482	7.4	7.066
3325	0	1.741	3.353	4.687	5.817	6.688	7.278	7.477	7.421	7.038
3970	0	1.629	3.201	4.577	5.752	6.644	7.246	7.47	7.402	7.007
4615	0	1.551	3.086	4.499	5.686	6.611	7.186	7.442	7.362	7.112
5260	0	1.497	3.002	4.446	5.632	6.57	7.121	7.389	7.309	7.212
5905	0	1.461	2.944	4.405	5.597	6.517	7.057	7.322	7.264	7.284
6550	0	1.438	2.906	4.357	5.572	6.453	6.996	7.249	7.233	7.337
7195	0	1.426	2.887	4.312	5.541	6.387	6.932	7.178	7.218	7.376
7840	0	1.423	2.883	4.28	5.5	6.323	6.863	7.113	7.218	7.405
8485	0	1.428	2.888	4.26	5.447	6.26	6.794	7.059	7.23	7.442
9130	0	1.439	2.886	4.244	5.385	6.195	6.729	7.017	7.242	7.492
9775	0	1.454	2.881	4.223	5.316	6.127	6.666	6.985	7.269	7.536
10420	0	1.473	2.879	4.192	5.243	6.055	6.608	6.965	7.299	7.573
11065	0	1.493	2.878	4.15	5.167	5.982	6.554	6.956	7.331	7.603
11710	0	1.499	2.877	4.097	5.091	5.91	6.506	6.956	7.362	7.63
12355	0	1.493	2.865	4.037	5.018	5.838	6.463	6.963	7.395	7.659
13000	0	1.483	2.843	3.971	4.949	5.77	6.424	6.969	7.428	7.687

Πίνακας Καμπυλών Ευστάθειας για μηδενική Διαγωγή

DMATS	S0	S0.5	S1	S1.5	S2	S2.5	S3	S3.5	S4	S4.5	S5	S5.5	S6	S6.5	S7	S7.5	S8	S8.5	S9	S9.5	S10	
1	0.000	0.275	1.968	3.989	6.857	9.462	11.663	12.767	12.790	12.697	12.360	11.742	10.584	9.033	7.304	5.625	4.042	2.498	1.235	0.650		
1.2	0.000	0.410	2.598	5.189	8.703	11.952	14.665	15.750	16.147	16.159	16.079	15.631	14.789	13.319	11.385	9.224	7.139	5.182	3.273	1.692	0.171	
1.4	0.000	0.562	3.274	6.462	10.654	14.567	19.113	19.605	19.681	19.565	18.966	17.922	16.145	13.834	11.243	8.737	6.386	4.101	2.200	0.356		
1.6	0.000	0.730	3.988	7.808	12.712	17.283	20.748	22.541	23.124	23.232	23.075	22.410	21.126	19.047	16.370	13.353	10.412	7.642	4.974	2.752	0.602	
1.8	0.000	0.913	4.739	9.227	14.864	20.086	24.000	26.024	26.692	26.832	26.692	26.053	24.391	22.018	18.985	15.547	12.160	8.951	5.889	3.347	0.900	
2	0.000	1.107	5.521	10.711	17.095	22.975	27.312	29.553	30.302	30.475	30.283	29.415	27.706	25.050	21.671	17.818	13.972	10.303	6.841	3.978	1.243	
2.2	0.000	1.312	6.336	12.260	19.410	25.940	30.680	33.124	33.950	34.158	33.948	32.981	31.069	28.137	24.421	20.163	15.848	11.993	7.827	4.642	1.627	
2.4	0.000	1.523	7.185	13.873	21.804	28.972	34.098	36.731	37.631	37.812	37.644	36.584	34.473	31.273	27.231	22.571	17.780	13.127	8.846	5.337	2.044	
2.6	0.000	1.740	8.070	15.552	24.272	32.063	37.560	40.373	41.342	41.614	41.371	40.218	37.914	34.455	30.095	25.041	19.766	14.606	9.897	6.060	2.488	
2.8	0.000	1.956	8.992	17.296	26.812	35.212	41.064	44.043	45.080	45.378	45.119	43.879	41.388	37.676	33.008	27.562	21.800	16.123	10.978	6.808	2.952	
3	0.000	2.171	9.957	19.107	29.419	38.411	44.605	47.742	48.840	49.164	48.890	47.563	44.894	40.935	35.967	30.135	23.879	17.679	12.089	7.580	3.436	
3.2	0.000	2.386	10.963	20.966	32.091	41.566	48.178	51.465	52.620	52.969	52.680	51.288	48.427	44.229	38.968	32.752	26.003	23.879	19.273	13.229	8.374	3.935
3.4	0.000	2.597	12.015	22.933	34.825	44.944	51.781	55.205	56.790	56.486	54.992	51.982	47.553	42.007	35.410	28.167	22.902	14.394	9.189	4.447		
3.6	0.000	2.802	13.113	24.950	37.620	48.269	55.409	58.863	60.224	60.628	60.307	58.731	55.558	50.906	45.081	38.105	30.370	22.564	15.589	10.027	4.972	
3.8	0.000	3.000	14.259	27.036	40.471	51.636	59.062	62.734	64.041	64.479	64.140	62.466	59.154	54.284	48.184	40.834	32.608	24.622	16.814	10.884	5.506	
4	0.000	3.197	15.459	29.191	43.377	55.039	62.735	66.516	67.869	68.343	67.987	66.252	62.764	57.685	51.316	43.594	34.882	25.996	18.069	11.763	6.050	
4.2	0.000	3.399	16.718	31.422	46.343	58.479	66.428	70.310	71.706	72.218	71.845	70.029	66.390	61.107	54.473	46.383	37.188	27.763	19.351	12.657	6.600	
4.4	0.000	3.614	18.004	33.734	49.374	61.962	70.140	74.114	75.551	76.102	75.711	73.817	70.031	64.549	57.652	49.198	39.524	29.561	20.657	13.564	7.157	
4.6	0.000	3.846	19.440	36.129	52.461	65.488	73.872	77.928	79.404	79.994	79.585	77.613	73.682	68.010	60.830	52.036	41.891	31.389	21.988	14.485	7.717	
4.8	0.000	4.105	20.919	38.613	55.602	69.049	77.622	81.752	83.265	83.895	83.468	81.418	77.344	71.486	64.067	54.897	44.284	33.246	23.350	15.417	8.276	
5	0.000	4.403	22.487	41.189	58.797	72.642	81.388	85.585	87.133	87.806	87.360	85.231	81.017	74.976	67.298	57.777	46.705	35.132	24.738	16.356	8.822	
5.2	0.000	4.757	24.157	43.856	62.057	76.271	85.170	89.428	91.011	91.723	91.260	89.052	84.701	78.481	70.546	60.679	49.152	37.046	26.151	17.300	9.347	
5.4	0.000	5.182	25.944	46.618	65.376	79.937	88.870	92.879	94.896	95.648	95.166	92.883	88.396	81.998	73.806	63.601	51.624	38.987	27.584	18.248	9.839	
5.6	0.000	5.697	27.850	49.473	68.753	83.631	92.788	97.137	98.788	99.580	99.078	96.722	92.102	85.528	77.081	66.541	54.121	40.957	29.040	19.193	10.287	
5.8	0.000	6.328	29.898	52.422	72.193	87.358	96.624	101.001	102.691	103.519	102.995	100.567	95.818	89.070	80.370	69.498	56.644	42.955	30.523	20.138	10.684	
6	0.000	7.110	32.086	55.464	75.684	91.111	100.474	104.873	106.600	107.462	106.919	104.417	99.545	92.626	83.673	72.473	59.192	44.979	32.032	21.078	11.055	
6.2	0.033	8.098	34.424	58.593	79.230	94.889	104.337	108.753	110.518	111.410	110.848	108.275	103.282	96.193	86.991	75.467	61.765	47.032	33.565	22.011	11.316	
6.4	0.370	9.339	36.909	61.800	82.822	98.691	108.214	112.642	114.440	115.361	114.785	112.140	107.032	99.775	90.325	78.482	64.366	49.116	35.120	22.937	11.556	
6.6	1.063	10.903	39.536	65.084	86.457	102.511	112.105	116.540	120.447	121.362	120.777	118.033	112.830	103.368	93.675	81.520	66.994	51.230	36.700	23.858	11.753	
6.8	2.065	12.792	42.297	68.432	90.129	106.349	116.007	120.447	122.300	123.314	122.672	119.896	114.562	106.975	97.041	84.579	69.649	53.374	38.303	24.766	11.909	
7	3.344	14.938	45.181	71.843	93.833	110.200	119.922	124.362	126.236	127.230	126.622	123.790	118.344	110.594	100.421	87.658	72.329	55.548	39.916	25.670	12.035	
7.2	4.865	17.292	48.178	75.309	97.561	114.063	123.846	128.288	130.179	131.193	130.582	127.666	122.139	114.228	103.817	90.758	75.033	57.749	41.544	26.569	12.136	
7.4	6.604	19.802	51.274	78.823	101.305	117.994	127.778	132.227	134.135	135.159	134.553	131.613	125.943	117.874	107.230	93.877	77.761	59.974	43.181	27.468	12.222	
7.6	8.543	22.445	54.461	82.379	105.069	121.816	131.720	136.180	138.101	139.128	138.526	135.542	129.759	121.532	110.662	97.016	80.509	62.219	44.825	28.368	12.303	
7.8	10.662	25.203	57.726	85.971	108.848	125.705	135.668	140.146	142.075	143.101	142.503	139.480	133.587	125.209	114.126	100.199	83.308	64.531	46.532	29.330	12.409	
8	12.947	28.073	61.056	93.295	112.638	129.601	139.622	144.109	146.058	147.076	146.481	143.425	137.420	128.919	117.633	103.446	86.191	66.957	48.837	50.319	12.506	
8.2	15.385	31.041	64.441	99.546	116.643	133.506	143.581	148.125	150.047	151.054	150.461	147.375	141.275	132.633	121.178	106.752	89.160	69.487	51.619	53.619	12.886	
8.4	17.964	34.098	67.872	96.920	120.264	137.425	147.543	152.096	154.036	155.033	154.443	151.317	145.123	136.376	124.762	110.109	92.209	72.119	52.384	55.346	13.171	
8.6	20.673	37.240	71.347	100.615	124.101	141.356	151.507	156.081	158.025	159.012	158.424	155.263	148.985	140.140	128.378	113.518	95.339	74.847	54.555	56.830	13.567	
8.8	23.502	40.466	74.865	104.332	127.952	145.300	155.476	160.067	162.014	162.992	162.405	159.208	152.853	143.921	132.028	116.980	98.544	77.668	56.830	58.394	14.024	
9	26.444	43.764	78.426	108.072	131.822	149.252	159.447	164.050	166.998	166.973	166.387	163.154	156.771	147.721	135.708	120.488	101.820	80.579	59.204	57.586	14.542	

Πίνακας Κοιμητών Bonjean

Water Ballast No19 (P)

Percentage (%)	Sounding (m)	Volume (m³)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m⁴)
0	0	0	0	0	0	0
1.233	0.100	1.180	57.050	-2.070	0.070	7.760
4.021	0.200	3.850	57.140	-2.540	0.130	31.640
7.844	0.300	7.510	57.170	-2.890	0.190	61.700
12.398	0.400	11.870	57.170	-3.160	0.260	91.930
17.506	0.500	16.760	57.170	-3.370	0.310	126.560
23.062	0.600	22.080	57.160	-3.550	0.370	155.560
28.974	0.700	27.740	57.160	-3.710	0.430	181.870
35.147	0.800	33.650	57.150	-3.830	0.490	204.070
41.540	0.900	39.770	57.150	-3.940	0.550	222.260
48.089	1.000	46.040	57.150	-4.040	0.600	238.760
54.784	1.100	52.450	57.140	-4.120	0.660	252.270
61.594	1.200	58.970	57.140	-4.190	0.710	264.250
68.498	1.300	65.580	57.140	-4.250	0.770	275.200
75.486	1.400	72.270	57.140	-4.310	0.820	284.920
82.567	1.500	79.050	57.140	-4.360	0.880	294.120
89.701	1.600	85.880	57.140	-4.400	0.930	302.560
96.919	1.700	92.790	57.140	-4.440	0.980	310.280
100.000	1.800	95.740	57.140	-4.460	1.010	313.171

Παράδειγμα Πίνακα Χωρητικότητας Δεξαμενών

Length	SF (+)	SF (-)	Sag BM	Hog BM
4.20	0.00	0.00	0.00	0.00
26.08	1125.80	-1127.00	-26291.00	23756.00
37.02	1125.80	-1127.00	-39436.50	35634.00
47.96	1125.50	-1125.50	-52582.80	47512.00
69.84	1125.50	-1125.50	-52582.80	47512.00
75.31	1125.50	-1125.50	-52582.80	47512.00
80.78	1127.60	-1126.30	-45115.30	40765.20
97.19	1120.40	-1126.30	-22557.60	20382.60
113.60	0.00	0.00	0.00	0.00

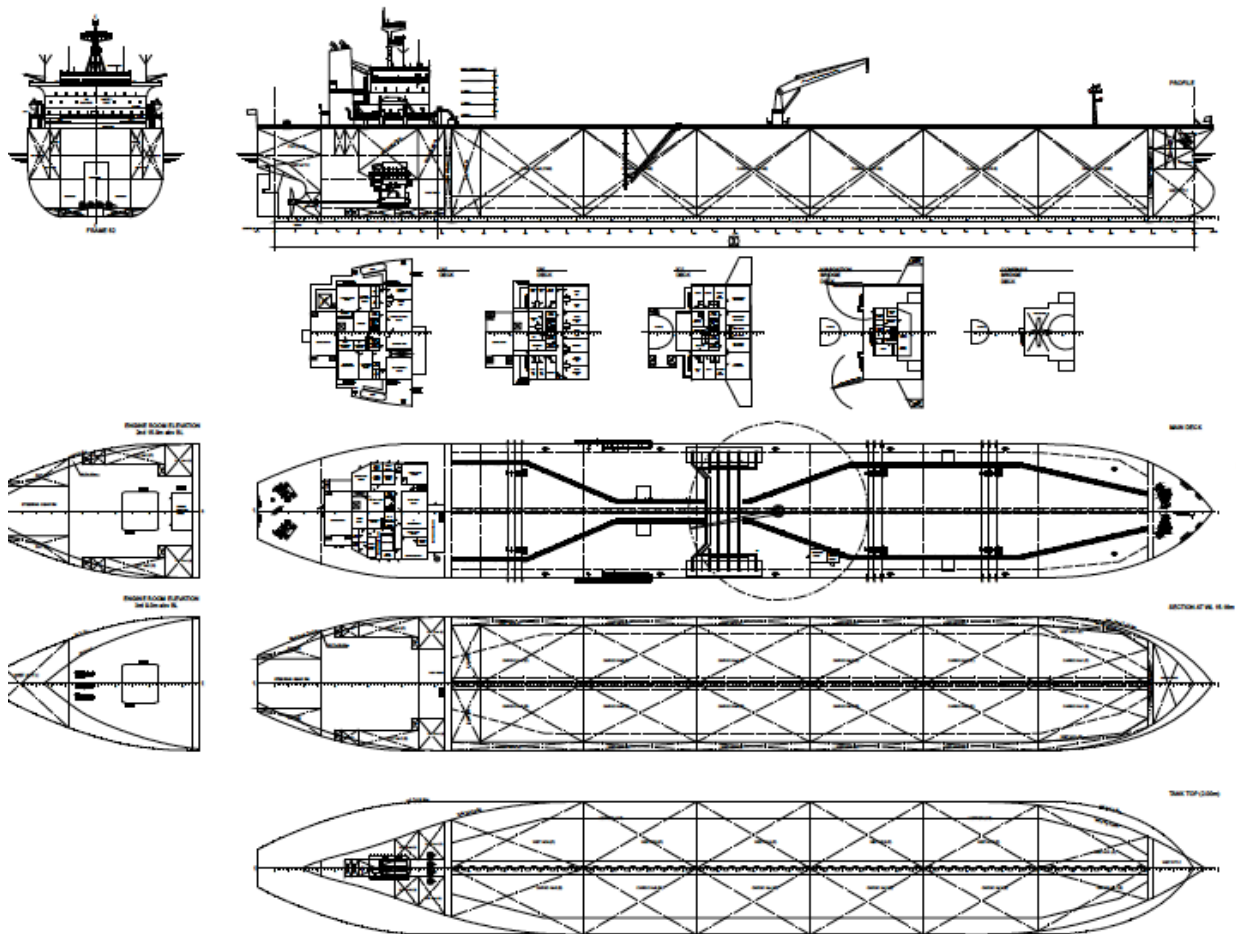
Πίνακας Κατασκευαστικών Ορίων Μέγιστης Αντοχής

Name	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM	Aft Ext	Fwd Ext
Waft	1145.30	24.15	-0.53	8.72	0.00	0.00	46.10
Wmid	269.73	50.85	-0.53	8.72	0.00	46.10	55.60
Wfwd	987.40	77.61	-0.53	8.72	0.00	55.60	110.00
Superst	236.40	6.10	-0.53	8.72	0.00	0.00	11.70
Forecastle	210.14	90.35	-0.53	8.72	0.00	72.15	110.00

Πίνακας κατανομής κενού πλοίου

6.3 «M/T MEGAN», 94284 DWT OIL CARRIER

Το δεύτερο πλοίο, που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα ελέγχου καταστάσεων φόρτωσης, είναι το δεξαμενόπλοιο «M/T MEGAN», μεταφορικής ικανότητας 94284 τόνους. Στην περίπτωση αυτή, δεν πρόκειται για ένα πραγματικό πλοίο, που έχει κατασκευαστεί, αλλά για ένα πλοίο, που σχεδιάστηκε και μελετήθηκε στο παρελθόν, στο πλαίσιο του μαθήματος «Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου» της σχολής. Πρόκειται για ένα δεξαμενόπλοιο, το οποίο εντάσσεται στην κατηγορία των Aframax, (80000 tn – 120000 tn) και μεταφέρει αργό πετρέλαιο (crude oil), με ειδικό βάρος 0.79 tn/m^3 έως 0.94 tn/m^3 . Τα βασικά του στοιχεία, καθώς και η διαμερισματοποίηση παρατίθενται παρακάτω:



Σχέδιο 6.3.1: Σχέδιο Γενική Διάταξης

Πίνακας Κυρίων Χαρακτηριστικών Πλοίου			
Σύμβολο	Έννοια	Μονάδες	Τιμή
L _{BP}	Μήκος μεταξύ Καθέτων	[m]	230
L _{OA}	Ολικό Μήκος	[m]	240
B	Πλάτος	[m]	41.4
D	Κοίλο	[m]	21.5
T	Βύθισμα Σχεδίασης	[m]	13.8

Category PL - PAYLOAD (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
CARGO NO1.P	89-96	6824.78	6824.78	203.357	-6.861	12.141	6766
CARGO NO1.S	89-96	6824.78	6824.78	203.357	6.861	12.141	6766
CARGO NO2.P	82-89	9304.67	9304.67	176.209	-8.93	12.094	13509
CARGO NO2.S	82-89	9304.67	9304.67	176.209	8.93	12.094	13509
CARGO NO3.P	75-82	9386.65	9386.65	147.46	-9.007	12.094	13855
CARGO NO3.S	75-82	9386.65	9386.65	147.46	9.007	12.094	13855
CARGO NO4.P	68-75	9386.65	9386.65	118.62	-9.007	12.094	13855
CARGO NO4.S	68-75	9386.65	9386.65	118.62	9.007	12.094	13855
CARGO NO5.P	61-68	9386.65	9386.65	89.78	-9.007	12.094	13855
CARGO NO5.S	61-68	9386.65	9386.65	89.78	9.007	12.094	13855
CARGO NO6.P	54-61	8944.85	8944.85	61.292	-8.682	12.408	13855
CARGO NO6.S	54-61	8944.85	8944.85	61.292	8.682	12.408	13855
CARGO SLOP.P	53-54	1135.61	1135.61	44.475	-7.956	13.074	1979
CARGO SLOP.S	53-54	1135.61	1135.61	44.475	7.956	13.074	1979
Total		108739.74	108739.74	128.132	0	12.172	
Category FOT - FUEL (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
FOT NO1.P	35-53	1144.37	1144.37	35.964	-15.887	14.751	370
FOT NO1.S	35-53	1144.37	1144.37	35.964	15.887	14.751	370
FOT NO2.C	48-53	494	494	40.4	0	19	5565
FOT NO3.P	30-35	194.21	194.21	26.082	-15.361	16.549	54
FOT NO3.S	30-35	194.21	194.21	26.082	15.361	16.549	54
Total		3171.18	3171.18	35.444	0	15.633	
Category DOT - DIESEL (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
DOT NO1.P	24-30	173.33	173.33	21.747	-15.01	17.132	39
DOT NO1.S	24-30	173.33	173.33	21.747	15.01	17.132	39
Total		346.66	346.66	21.747	0	17.132	
Category LOT - LUB (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
LOT NO1.C	24-35	51.24	51.24	23.61	0	1.234	10
Total		51.24	51.24	23.61	0	1.234	
Category FWT - FRESH (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
FWT NO1.P	2-15	267.99	267.99	7.517	-10.172	19.05	185
FWT NO1.S	2-15	267.99	267.99	7.517	10.172	19.05	185
Total		535.98	535.98	7.517	0	19.05	

Category WB - BALLAST (SG = 1.000 tonnes/cu.m 100 % full)							
Compartment	Frames	Volume (m ³)	Weight (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (m ⁴)
WBT APT.C	-20	1472.73	1472.73	5.955	0	13.797	14280
WBT FPT.C	96-116	2549.53	2549.53	225.397	0	7.5	6300
WBT NO1.P	89-96	2584.24	2584.24	205.33	-11.934	8.866	7354
WBT NO1.S	89-96	2584.24	2584.24	205.33	11.934	8.866	7354
WBT NO2.P	82-89	2725.69	2725.69	176.089	-14.622	6.462	18798
WBT NO2.S	82-89	2725.69	2725.69	176.089	14.622	6.462	18798
WBT NO3.P	75-82	2782.91	2782.91	147.46	-14.794	6.305	20251
WBT NO3.S	75-82	2782.91	2782.91	147.46	14.794	6.305	20251
WBT NO4.P	68-75	2782.85	2782.85	118.62	-14.794	6.305	20251
WBT NO4.S	68-75	2782.85	2782.85	118.62	14.794	6.305	20251
WBT NO5.P	61-68	2781.7	2781.7	89.786	-14.791	6.307	20243
WBT NO5.S	61-68	2781.7	2781.7	89.786	14.791	6.307	20243
WBT NO6.P	53-61	3238.21	3238.21	58.744	-14.246	6.744	16467
WBT NO6.S	53-61	3238.21	3238.21	58.744	14.246	6.744	16467
Total		37813.45	37813.45	131.316	0	7.126	

Πίνακας 6.3.1.1: Στοιχεία Διαμερισμάτων (Tanks Plan)

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, του συγκεκριμένου πλοίου είναι:

- Πίνακας των κυρίων χαρακτηριστικών, όπως αυτός που παρατίθεται παραπάνω.
- Πίνακας των στοιχείων κατανομής βαρών κενού πλοίου.
- Πίνακας των καμπυλών bonjean για βυθίσματα από 1 m έως 21 m, ανά 0.5 m στις θέσεις 20 θεωρητικών νομέων.
- Υδροστατικοί πίνακας, για ίδιο εύρος βυθισμάτων με τις καμπύλες bonjean και για ένα εύρος διαγωγών από 4 m εμπρυσμη έως 2 m εμπρωςη, ανά 1 m.
- Πίνακες καμπυλών ευστάθειας για εκτοπίσματα από 5000 tn έως 180000 tn, ανά 5000 tn και για εύρος διαγωγών, ίδιο με αυτό των υδροστατικών πινάκων.
- Πίνακες χωρητικότητας διαμερισμάτων.
- Πίνακες κατασκευαστικών ορίων διαμηθικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο πλαίσιο του μαθήματος από τους τύπους των νηογνόμων.

Αντίστοιχα με το προηγούμενο πλοίο, τα στοιχεία αυτά βρέθηκαν από το *Tribon*, εισήχθησαν στη βάση δεδομένων του προγράμματος και στο τέλος του κεφαλαίου υπάρχει παράρτημα με σχετικά παραδείγματα. Όμοια με το προηγούμενο πλοίο, επιλέχθηκαν και οι τρεις καταστάσεις φόρτωσης που εξετάστηκαν, οι οποίες είναι:

- Κατάσταση πλήρους φόρτωσης κατά την αναχώρηση με φορτίο πετρέλαιο ειδικού βάρους 0.846 tn/m³.
- Κατάσταση μερικής φόρτωσης κατά την άφιξη με φορτίο πετρέλαιο ειδικού βάρους 0.846 tn/m³.
- Κατάσταση ερματισμού κατά την άφιξη.

Σημειώνεται ότι το πλάνο φόρτωσης, που χρησιμοποιήθηκε για κάθε κατάσταση φόρτωσης είναι αυτό που είχε οριστεί κατά την εκπόνηση του αντίστοιχου ερωτήματος, στο πλαίσιο του μαθήματος. Εν συνεχεία, παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα.

LOADING CONDITION 1: Homogeneous Full Load Departure 0.846 tn/m³

Το πλάνο φόρτωσης, όπως είχε εισηχθεί στο *Tribon*, κατά τη σχεδίαση του πλοίου είναι:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
CARGO NO1.P	98	0.846
CARGO NO1.S	98	0.846
CARGO NO2.P	98	0.846
CARGO NO2.S	98	0.846
CARGO NO3.P	98	0.846
CARGO NO3.S	98	0.846
CARGO NO4.P	98	0.846
CARGO NO4.S	98	0.846
CARGO NO5.P	98	0.846
CARGO NO5.S	98	0.846
CARGO NO6.P	98	0.846
CARGO NO6.S	98	0.846
CARGO SLOP.P	98	0.846
CARGO SLOP.S	98	0.846
FOT NO1.P	98	0.98
FOT NO1.S	98	0.98
FOT NO2.C	98	0.98
FOT NO3.P	98	0.98
FOT NO3.S	98	0.98
DOT NO1.P	98	0.9
DOT NO1.S	98	0.9
LOT NO1.C	98	0.9
FWT NO1.P	100	1
FWT NO1.S	100	1

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	10
Προμήθειες	22.1
Σταθερά Βάρη	187

Πίνακας 6.3.1.2: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών περιέχονται στους παρακάτω πίνακες:

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	11113.5	tn	111092.2	tn	21.300	0.019%	2%
Βύθισμα στο LCF	13.8004	m	13.801	m	0.001	0.004%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	14.05	m	14.054	m	0.004	0.028%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	13.55	m	13.543	m	0.007	0.052%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	-0.500	m	-0.511	m	0.011	2.153%	1% / 2cm max.
LCB	120.853	m	120.84	m	0.013	0.011%	1% / 50 cm max.
VCB	7.168	m	7.17	m	0.002	0.028%	1% / 5 cm max.
LCF	113.901	m	113.841	m	0.060	0.053%	1% / 50 cm max.
TPC	88.189	tn/cm	88.185	tn/cm	0.004	0.005%	-
MTC	1435.9	tn.m/cm	1435.68	tn.m/cm	0.220	0.015%	2%
KMt	17.231	m	17.230	m	0.001	0.006%	-
BMt	10.063	m	10.064	m	0.001	0.010%	-
BMI	297.281	m	297.236	m	0.045	0.015%	-
GMt (corrected)	3.967	m	3.963	m	0.004	0.101%	1% / 5 cm max.
WPA	8578.03	sq.m	8577.71	sq.m	0.320	0.004%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	120.857	m	120.85	m	0.007	0.006%	1% / 50 cm max.
VCG	12.021	m	12.02	m	0.001	0.008%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	13.264	m	13.267	m	0.003	0.023%	1% / 50 cm max.
TCG	0	m	0	m	0.000	0.000%	0.5% of B / 5 cm max.

Πίνακας 6.3.1.3: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοιχείων φόρτωσης

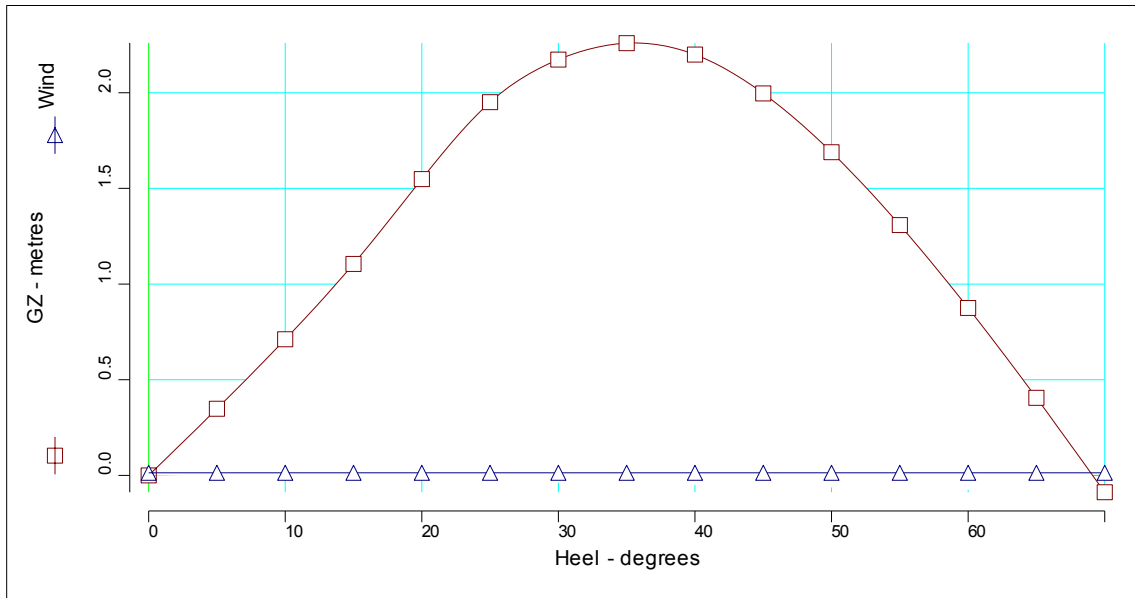
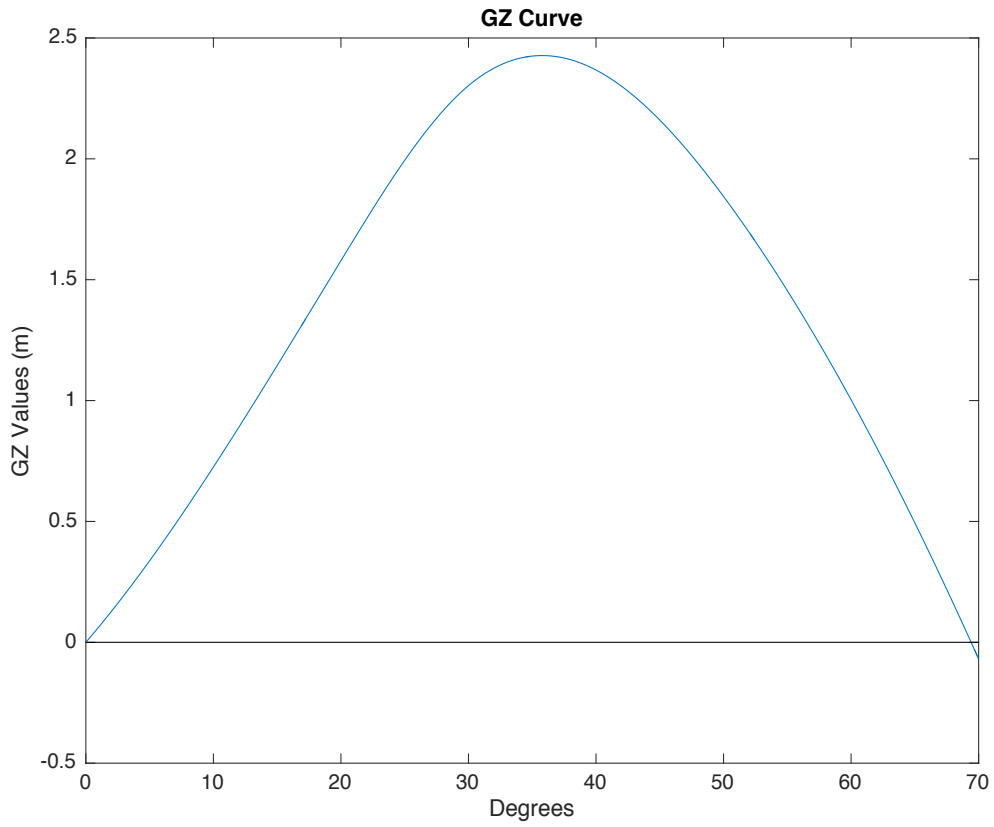
Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	0	m	0.0000	0.000%	5% / 5 cm max.	
10	0.7250	0.7114	m	0.0136	1.912%	5% / 5 cm max.	
20	1.5787	1.5485	m	0.0302	1.950%	5% / 5 cm max.	
30	2.2429	2.1732	m	0.0697	3.207%	5% / 5 cm max.	
40	2.2874	2.1995	m	0.0879	3.996%	5% / 5 cm max.	
50	1.7465	1.689	m	0.0575	3.404%	5% / 5 cm max.	
60	0.9436	0.8751	m	0.0685	7.282%	5% / 5 cm max.	
70	-0.0690	-0.0883	m	0.0193	21.857%	5% / 5 cm max.	

Πίνακας 6.3.1.4: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

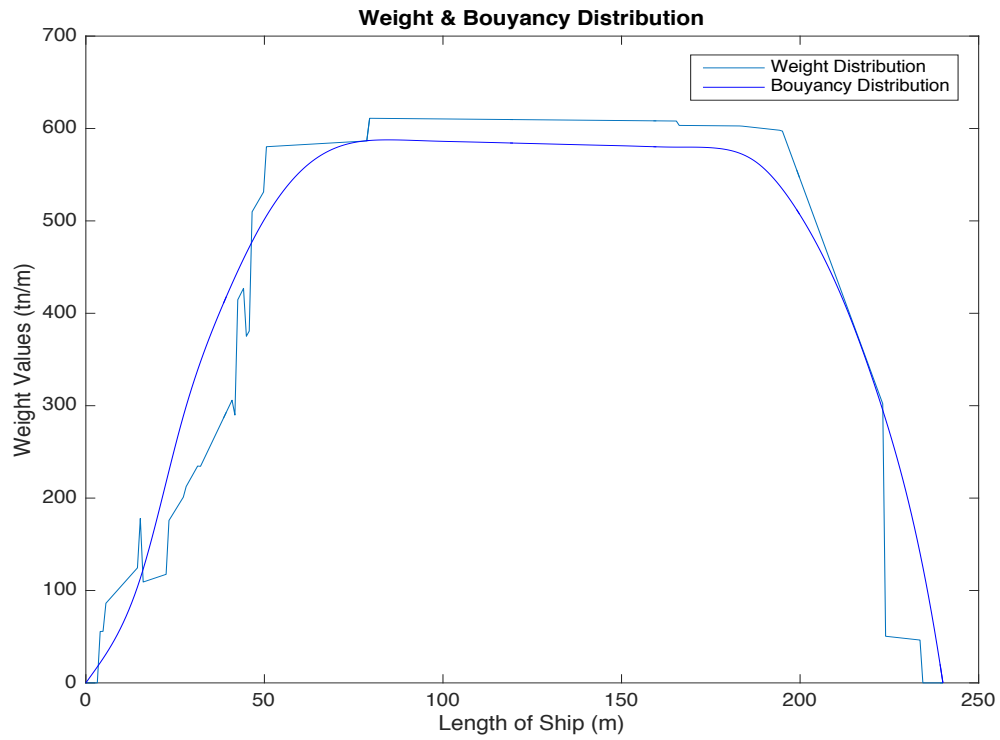
Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	0.5970	m.rad	0.59	m.rad	0.007	1.186%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.3590	m.rad	0.39	m.rad	0.031	7.949%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	0.9560	m.rad	0.981	m.rad	0.025	2.548%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	3.9670	m	3.963	m	0.004	0.101%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	2.2429	m	2.1732	m	0.0697	3.207%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	35.8800	deg	35.615	deg	0.265	0.744%	-

Πίνακας 6.3.1.5: Κριτήρια Ευστάθειας IMO

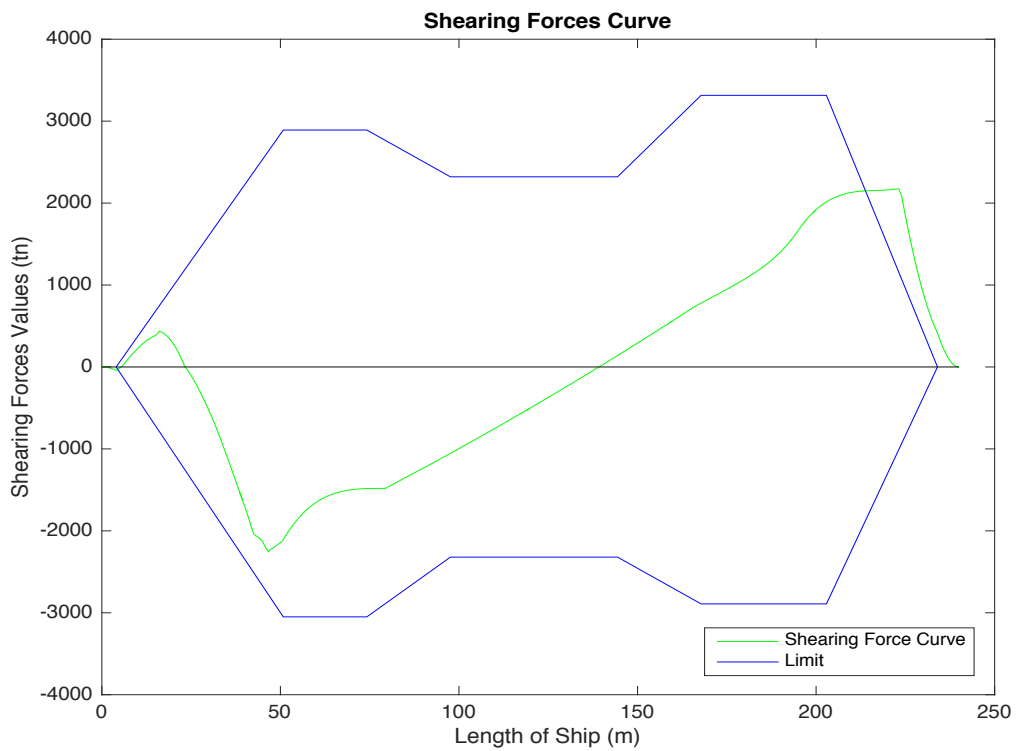
Παρατίθενται τα διαγράμματα του προγράμματος και του Tribon:



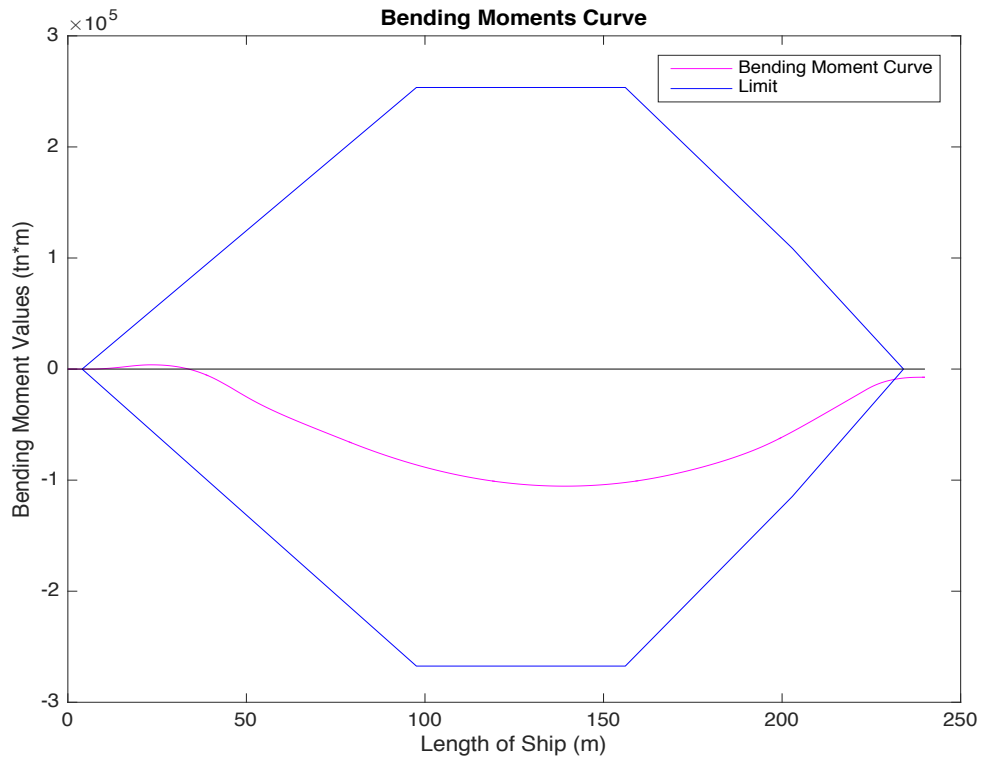
Σχήμα 6.3.1.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.



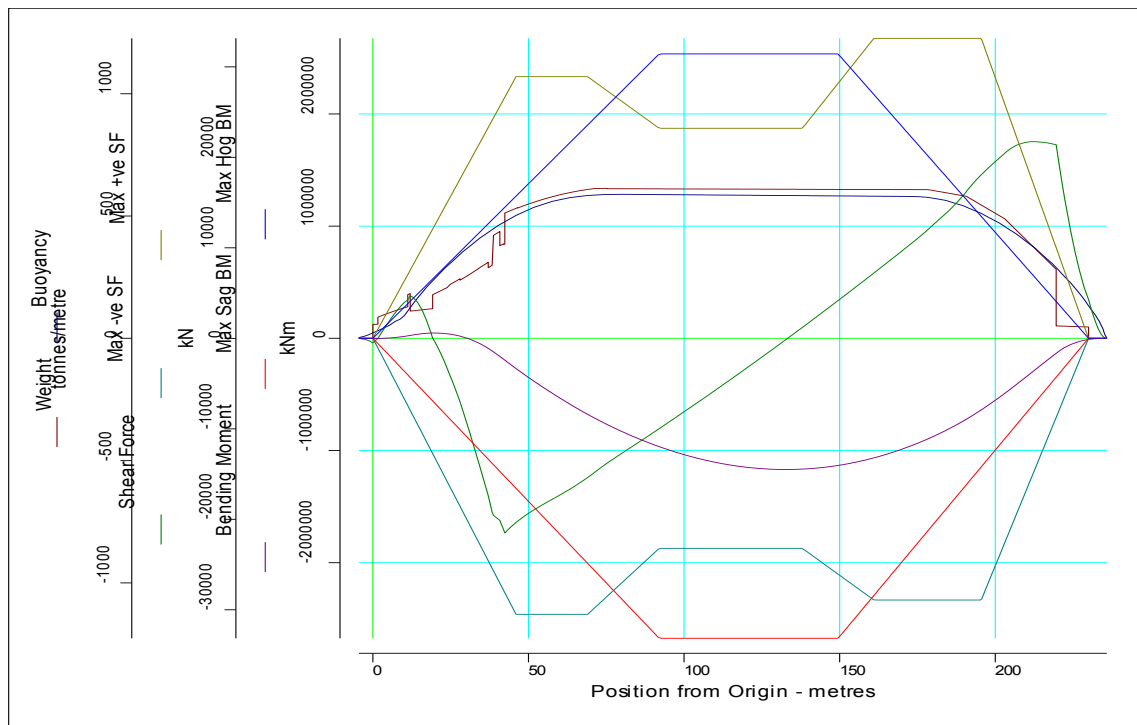
Σχήμα 6.3.1.2: Κατανομή Βάρους και Αντώσης



Σχήμα 6.3.1.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.3.1.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.3.1.5: Καμπύλες Κατανομών Βάρους, Άντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	21754	21734.2	19.80	0.091%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	-1226063.6	-1169234.5	56829.10	4.860%	± 5%

Πίνακας 6.3.1.6: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

LOADING CONDITION 2: Homogeneous Partly Load Arrival 0.846 tn/m³

Το πλάνο φόρτωσης, όπως είχε εισηχθεί στο *Tribon*, κατά τη σχεδίαση του πλοίου είναι:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
CARGO NO1.P	75	0.846
CARGO NO1.S	75	0.846
CARGO NO2.P	50	0.846
CARGO NO2.S	50	0.846
CARGO NO3.P	50	0.846
CARGO NO3.S	50	0.846
CARGO NO4.P	50	0.846
CARGO NO4.S	50	0.846
CARGO NO5.P	50	0.846
CARGO NO5.S	50	0.846
CARGO NO6.P	50	0.846
CARGO NO6.S	50	0.846
CARGO SLOP.P	50	0.846
CARGO SLOP.S	50	0.846
FOT NO1.P	10	0.98
FOT NO1.S	10	0.98
FOT NO2.C	10	0.98
FOT NO3.P	10	0.98
FOT NO3.S	10	0.98
DOT NO1.P	10	0.9
DOT NO1.S	10	0.9
LOT NO1.C	10	0.9
FWT NO1.P	100	1
FWT NO1.S	100	1

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	10
Προμήθειες	22.1
Σταθερά Βάρη	187

Πίνακας 6.3.2.1: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών περιέχονται στους πίνακες που ακολουθούν:

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	66793.448	tn	66781.9	tn	11.548	0.017%	2%
Βύθισμα στο LCF	8.626	m	8.625	m	0.001	0.016%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	8.669	m	8.67	m	0.001	0.007%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	8.588	m	8.586	m	0.002	0.027%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	-0.081	m	-0.084	m	0.003	3.452%	1% / 2cm max.
LCB	123.618	m	123.62	m	0.002	0.002%	1% / 50 cm max.
VCB	4.463	m	4.46	m	0.003	0.062%	1% / 5 cm max.
LCF	122.037	m	122.041	m	0.004	0.003%	1% / 50 cm max.
TPC	83.142	tn/cm	83.141	tn/cm	0.001	0.001%	-
MTC	1212.345	tn.m/cm	1212.282	tn.m/cm	0.063	0.005%	2%
KMt	20.080	m	20.072	m	0.008	0.041%	-
BMt	15.618	m	15.61	m	0.008	0.048%	-
BMI	417.700	m	417.511	m	0.189	0.045%	-
GMt (corrected)	9.155	m	9.138	m	0.017	0.185%	1% / 5 cm max.
WPA	8087.066	sq.m	8087.02	sq.m	0.046	0.001%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	123.619	m	123.62	m	0.001	0.001%	1% / 50 cm max.
VCG	8.865	m	8.87	m	0.005	0.055%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	10.925	m	10.934	m	0.009	0.078%	1% / 50 cm max.
TCG	0.000	m	0	m	0.000	0.000%	0.5% of B / 5 cm max.

Πίνακας 6.3.2.2: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοιχείων φόρτωσης

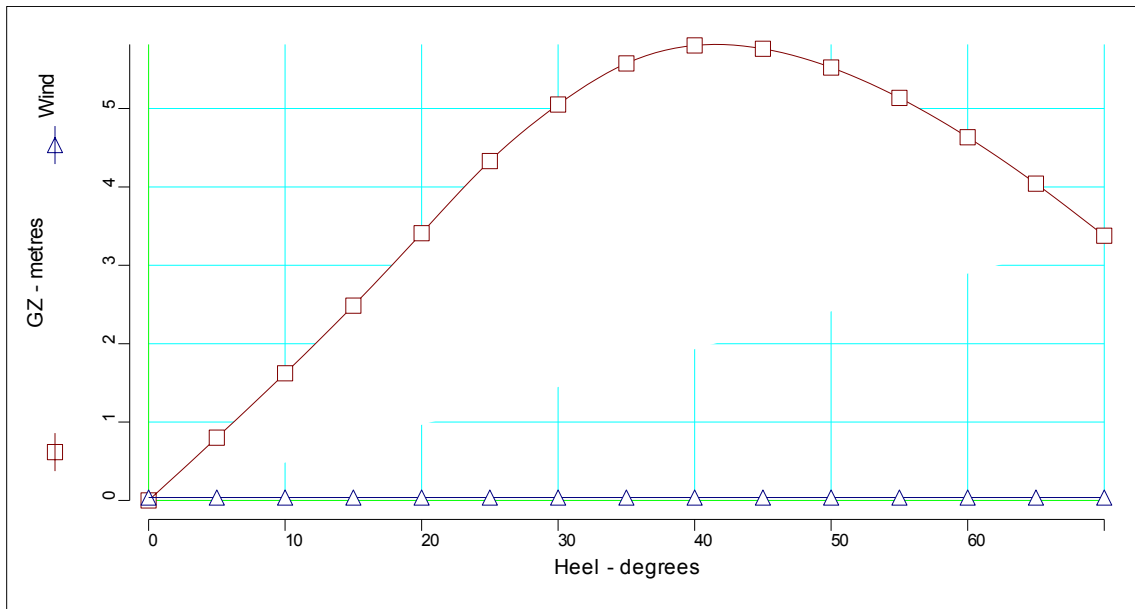
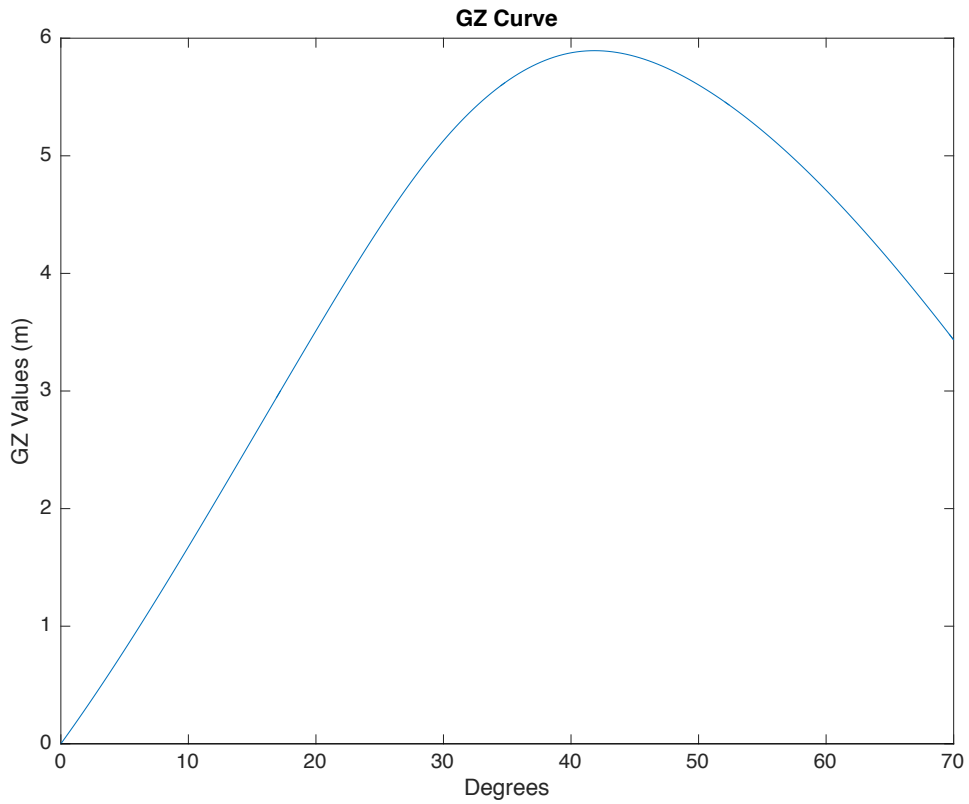
Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	0	m	0.0000	0.000%	5% / 5 cm max.	
10	1.6750	1.6222	m	0.0528	3.257%	5% / 5 cm max.	
20	3.5120	3.4091	m	0.1029	3.018%	5% / 5 cm max.	
30	5.1289	5.0507	m	0.0782	1.548%	5% / 5 cm max.	
40	5.8759	5.8049	m	0.0710	1.223%	5% / 5 cm max.	
50	5.6031	5.523	m	0.0801	1.450%	5% / 5 cm max.	
60	4.7075	4.6335	m	0.0740	1.597%	5% / 5 cm max.	
70	3.4348	3.3771	m	0.0577	1.709%	5% / 5 cm max.	

Πίνακας 6.3.2.3: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

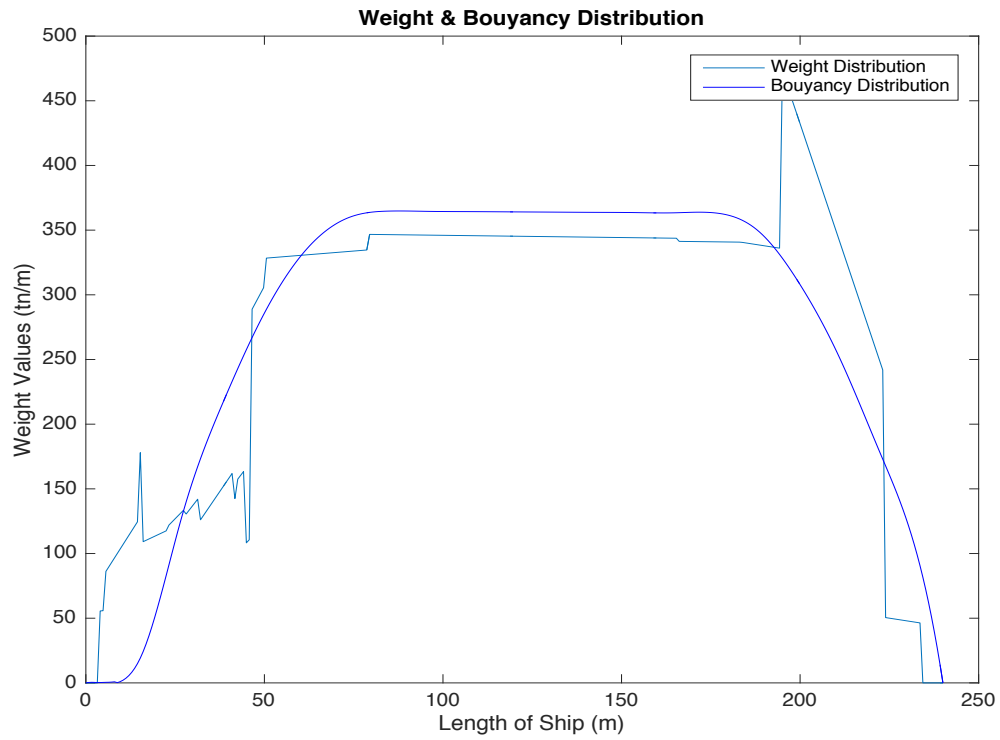
Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	1.3370	m.rad	1.325	m.rad	0.012	0.906%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.9725	m.rad	0.964	m.rad	0.0085	0.882%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	2.3094	m.rad	2.289	m.rad	0.0204	0.891%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	9.1549	m	9.138	m	0.0169	0.185%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	5.1289	m	5.0507	m	0.07821	1.548%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	41.8590	deg	41.501	deg	0.358	0.863%	-

Πίνακας 6.3.2.4: Κριτήρια Ευστάθειας IMO

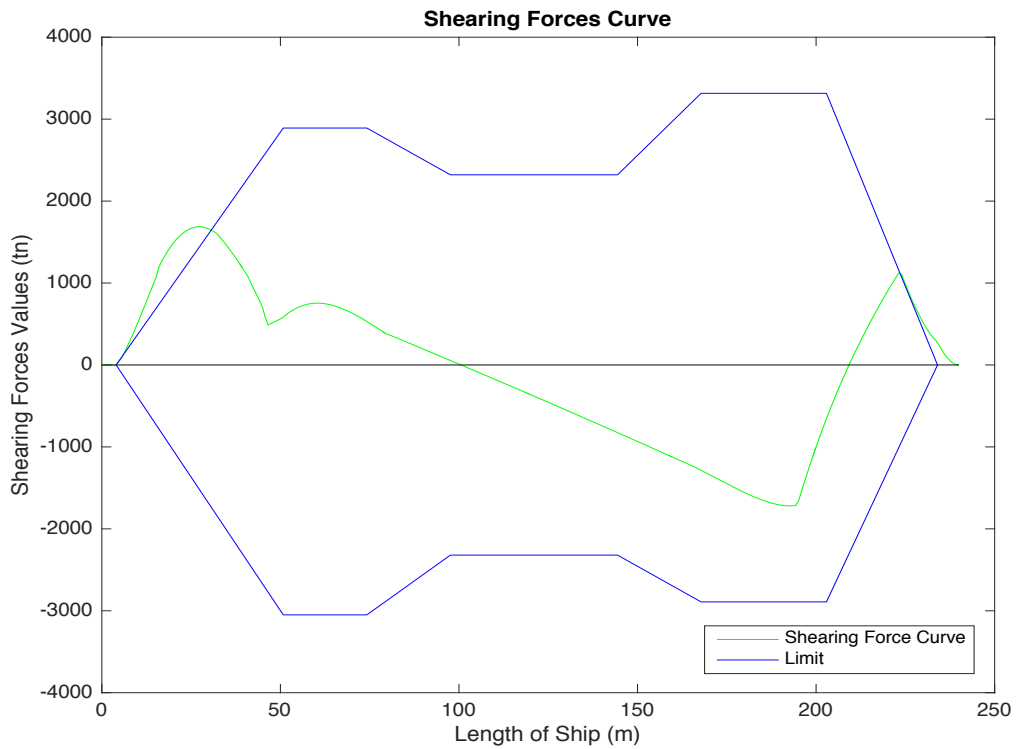
Παρατίθενται τα διαγράμματα του προγράμματος και του Tribon:



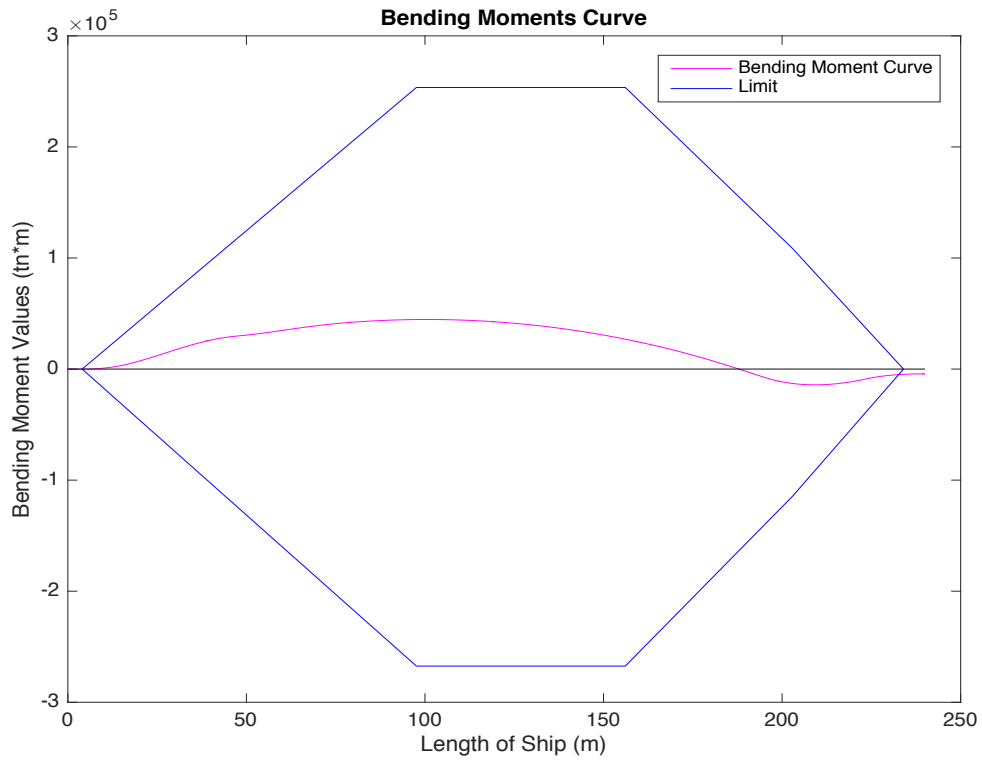
Σχήμα 6.3.2.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.



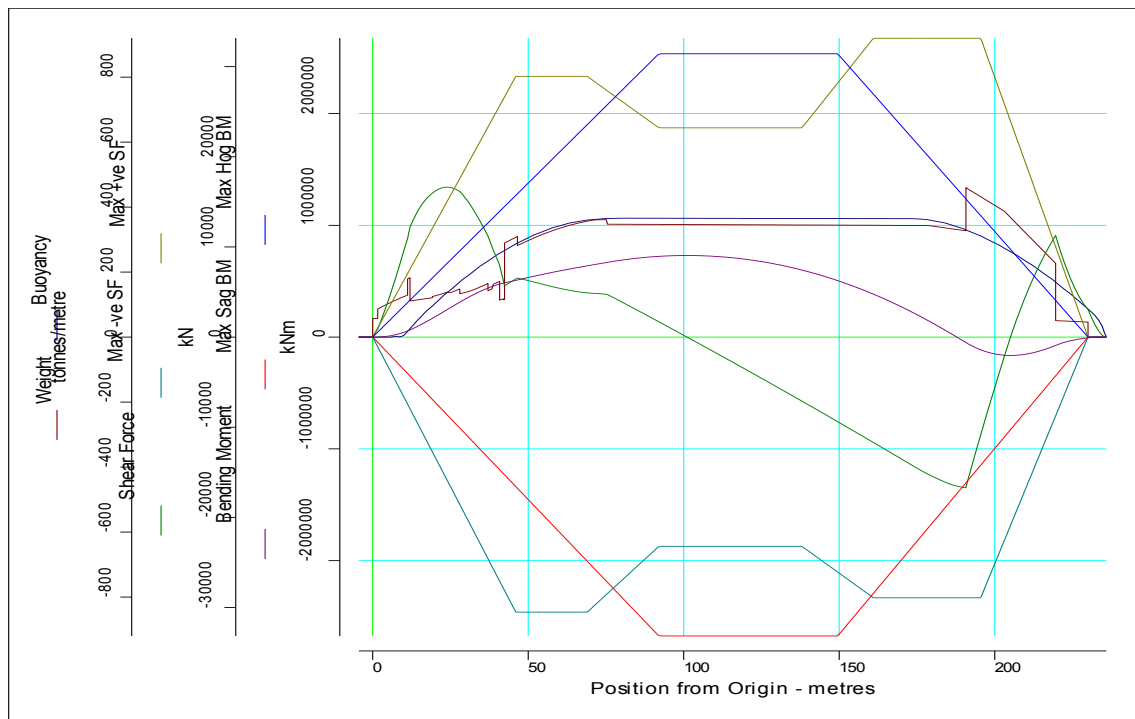
Σχήμα 6.3.2.2: Κατανομή Βάρους και Άντωσης



Σχήμα 6.3.2.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.3.2.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.3.2.5: Καμπύλες Κατανομών Βάρους, Αντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	-17195.52	-16702.40	493.12	2.952%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	728639.69	729994.30	1354.61	0.186%	± 5%

Πίνακας 6.3.2.5: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

LOADING CONDITION 3: Light Ballast Arrival

Το πλάνο φόρτωσης, όπως είχε εισηχθεί στο *Tribon*, κατά τη σχεδίαση του πλοίου είναι:

COMPARTMENT NAME	FILLING PERCENTAGE	SPECIFIC GRAVITY
FOT NO1.P	10	0.98
FOT NO1.S	10	0.98
FOT NO2.C	10	0.98
FOT NO3.P	10	0.98
FOT NO3.S	10	0.98
DOT NO1.P	10	0.9
DOT NO1.S	10	0.9
LOT NO1.C	10	0.9
FWT NO1.P	100	1
FWT NO1.S	100	1
WBT APT.C	100	1.025
WBT FPT.C	100	1.025
WBT NO1.P	100	1.025
WBT NO1.S	100	1.025
WBT NO2.P	100	1.025
WBT NO2.S	100	1.025
WBT NO3.P	100	1.025
WBT NO3.S	100	1.025
WBT NO4.P	100	1.025
WBT NO4.S	100	1.025
WBT NO5.P	100	1.025
WBT NO5.S	100	1.025
WBT NO6.P	80	1.025
WBT NO6.S	80	1.025

Κατηγορία Βαρών	Τιμή Βάρους (tn)
Επιβάτες	10
Προμήθειες	22.1
Σταθερά Βάρη	187

Πίνακας 6.3.3.1: Κατάσταση Φόρτωσης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών Περιέχονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 6.3.3.2: Πίνακας υδροστατικών στοιχείων και στοι

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΑΛΟΥ							
	Υπολογισθέν		Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Εκτόπισμα Δ	55340.795	tn	55340.7	tn	0.095	0.000%	2%
Βύθισμα στο LCF	7.239	m	7.24	m	0.001	0.014%	1% / 5 cm max.
Πρυμναίο Βύθισμα	7.591	m	7.598	m	0.007	0.092%	1% / 5 cm max.
Πρωραίο Βύθισμα	6.932	m	6.928	m	0.004	0.058%	1% / 5 cm max.
Διαγωγή	-0.659	m	-0.67	m	0.011	1.642%	1% / 2cm max.
LCB	122.595	m	122.58	m	0.015	0.012%	1% / 50 cm max.
VCB	3.747	m	3.75	m	0.003	0.077%	1% / 5 cm max.
LCF	122.912	m	122.91	m	0.002	0.002%	1% / 50 cm max.
TPC	82.144	tn/cm	82.157	tn/cm	0.013	0.016%	-
MTC	1174.995	tn.m/cm	1175.561	tn.m/cm	0.566	0.048%	2%
KMt	22.260	m	22.239	m	0.021	0.094%	-
BMt	18.513	m	18.493	m	0.020	0.106%	-
BMI	488.879	m	488.555	m	0.324	0.066%	-
GMt (corrected)	9.921	m	9.912	m	0.009	0.091%	1% / 5 cm max.
WPA	7989.951	sq.m	7991.33	sq.m	1.379	0.017%	-
ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ							
LCG	122.602	m	122.6	m	0.002	0.002%	1% / 50 cm max.
VCG	8.301	m	8.3	m	0.001	0.012%	1% / 5 cm max.
VCG (corrected)	12.339	m	12.327	m	0.012	0.097%	1% / 5 cm max.
TCG	0.000	m	0	m	0.000	0.000%	0.5% of B / 5 cm max.

χείων φόρτωσης

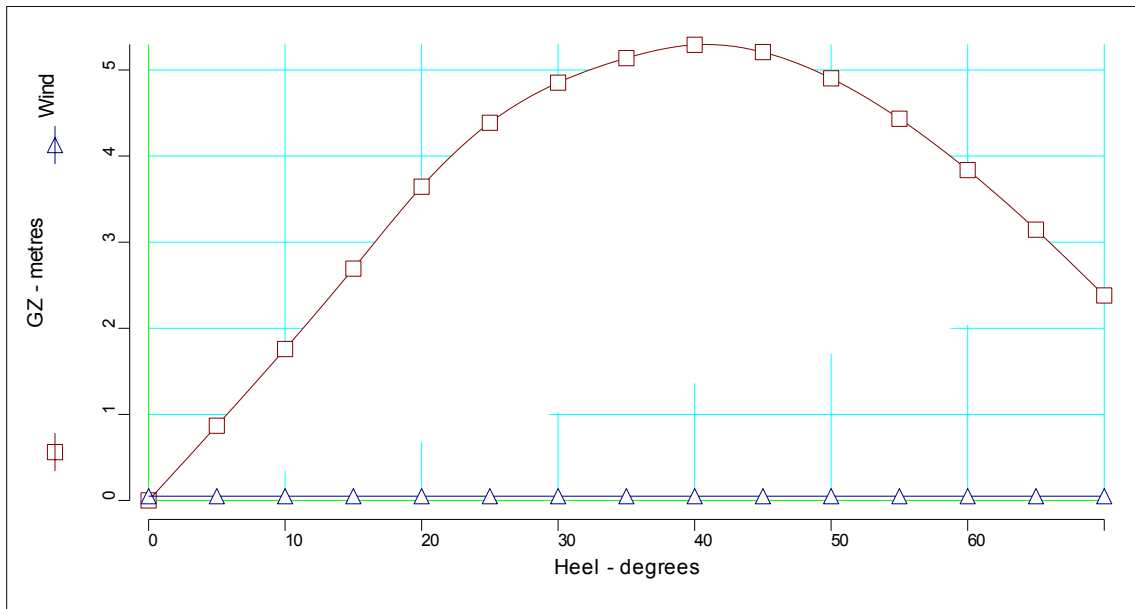
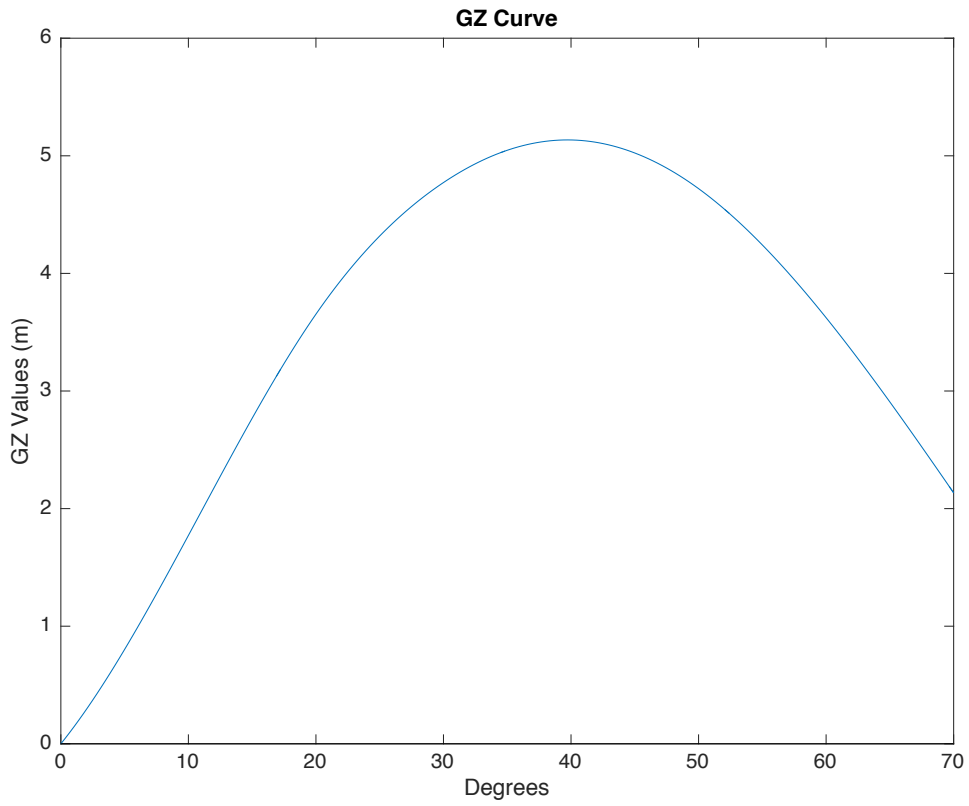
Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ							
Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης (deg)	Υπολογισθέν	Πραγματικό		Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση	
0	0.0000	0	m	0.0000	0.000%	5% / 5 cm max.	
10	1.8221	1.759	m	0.0631	3.585%	5% / 5 cm max.	
20	3.7525	3.6438	m	0.1087	2.983%	5% / 5 cm max.	
30	4.9176	4.8525	m	0.0651	1.341%	5% / 5 cm max.	
40	5.3210	5.2922	m	0.0288	0.545%	5% / 5 cm max.	
50	4.9429	4.9025	m	0.0404	0.825%	5% / 5 cm max.	
60	3.8743	3.8374	m	0.0369	0.961%	5% / 5 cm max.	
70	2.4061	2.3809	m	0.0252	1.060%	5% / 5 cm max.	

Πίνακας 6.3.3.3: Πίνακας τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς

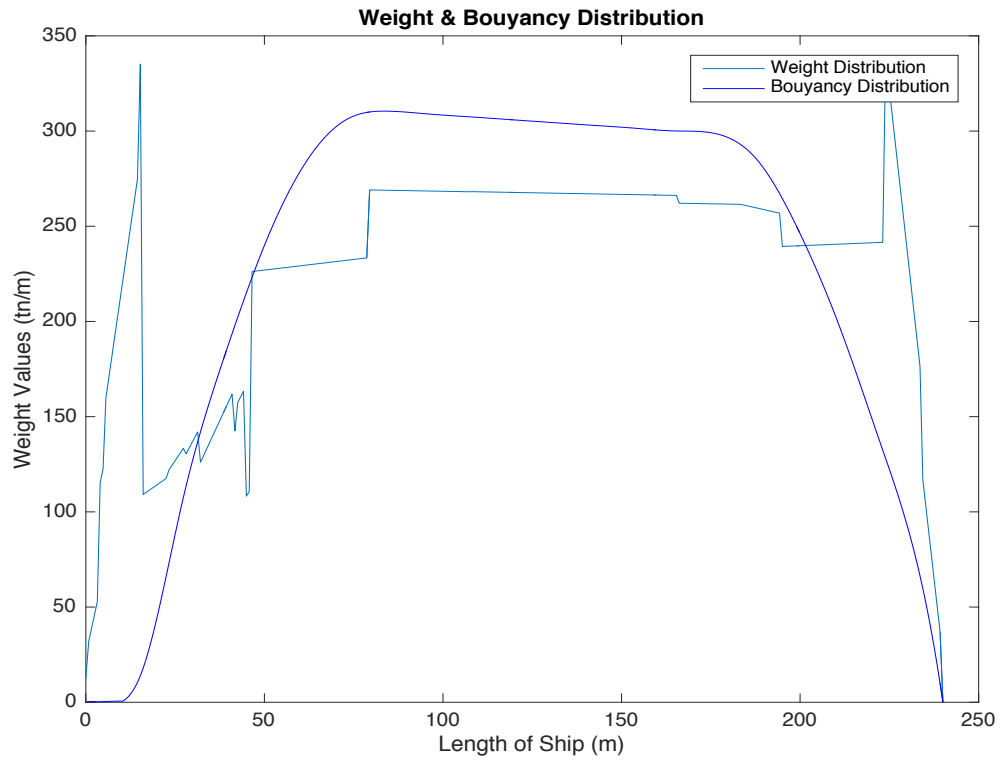
Κριτήρια Ευστάθειας IMO 749 Εμπορικών Πλοίων								
		Υπολογισθέν	Πραγματικό	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση		
1	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 30 deg > 0.055 m-rad	1.3930	m.rad	1.38	m.rad	0.013	0.942%	5% / 0.0012 m.rad max.
2	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μεταξύ 30 & 40 deg > 0.03 m-rad	0.8700	m.rad	0.893	m.rad	0.023	2.576%	5% / 0.0012 m.rad max.
3	Εμβαδόν της καμπύλης GZ-φ μέχρι 40 deg > 0.09 m-rad	2.2630	m.rad	2.274	m.rad	0.011	0.484%	5% / 0.0012 m.rad max.
4	Αρχικό Μετακεντρικό Ύψος GM > 0.15 m	9.9210	m	9.912	m	0.009	0.091%	1% / 5 cm max.
5	Μοχλοβραχίονας Επαναφοράς GZ τουλάχιστον ίσο με 0.2 m στις 30 deg	4.9176	m	4.8525	m	0.06506	1.341%	-
6	Γωνία μέγιστης τιμής Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς > 30 deg	40.1000	deg	40.858	deg	0.758	1.855%	-

Πίνακας 6.3.3.4: Κριτήρια Ευστάθειας IMO

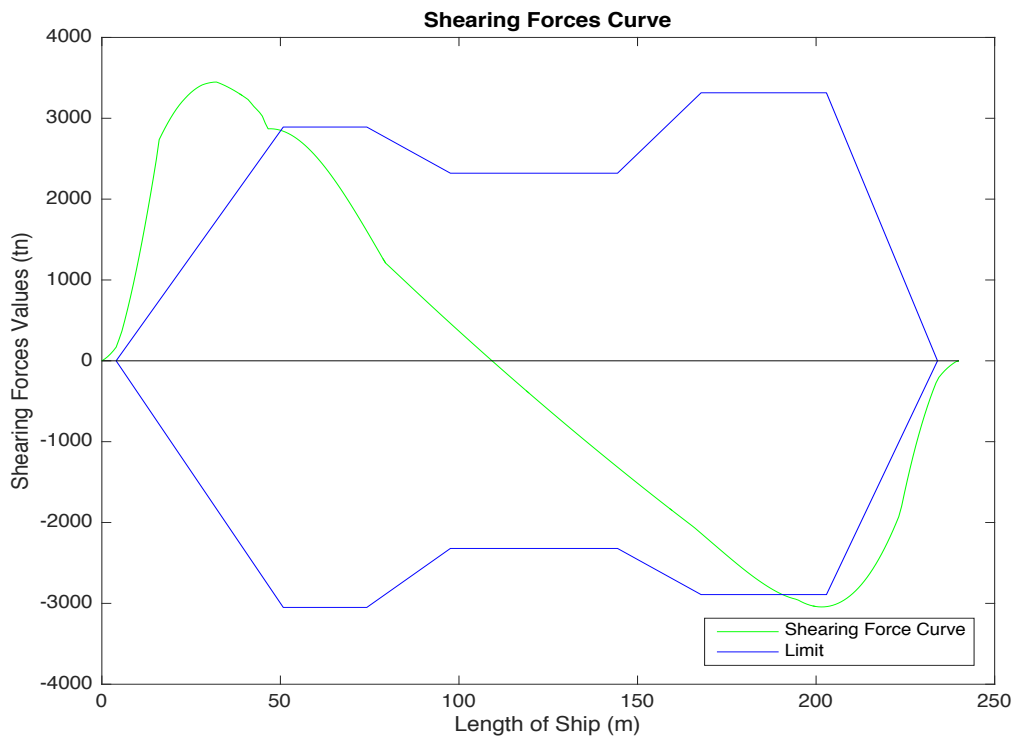
Παρατίθενται τα διαγράμματα του προγράμματος και του Tribon.



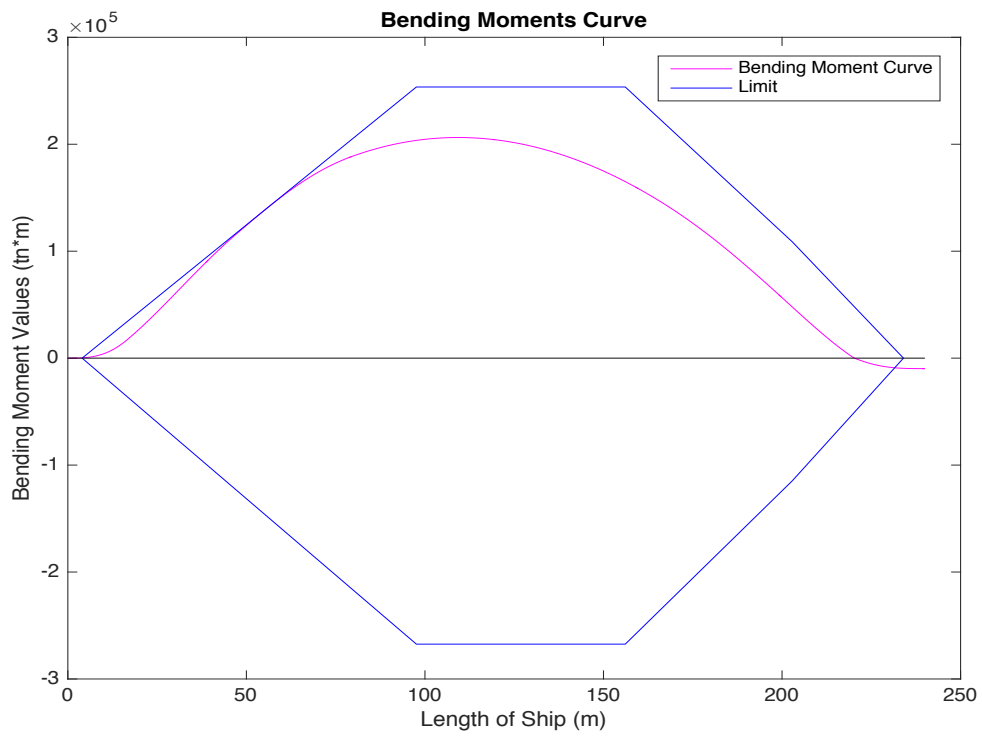
Σχήμα 6.3.3.1: Καμπύλες μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Πάνω η υπολογισθείσα, κάτω η πραγματική.



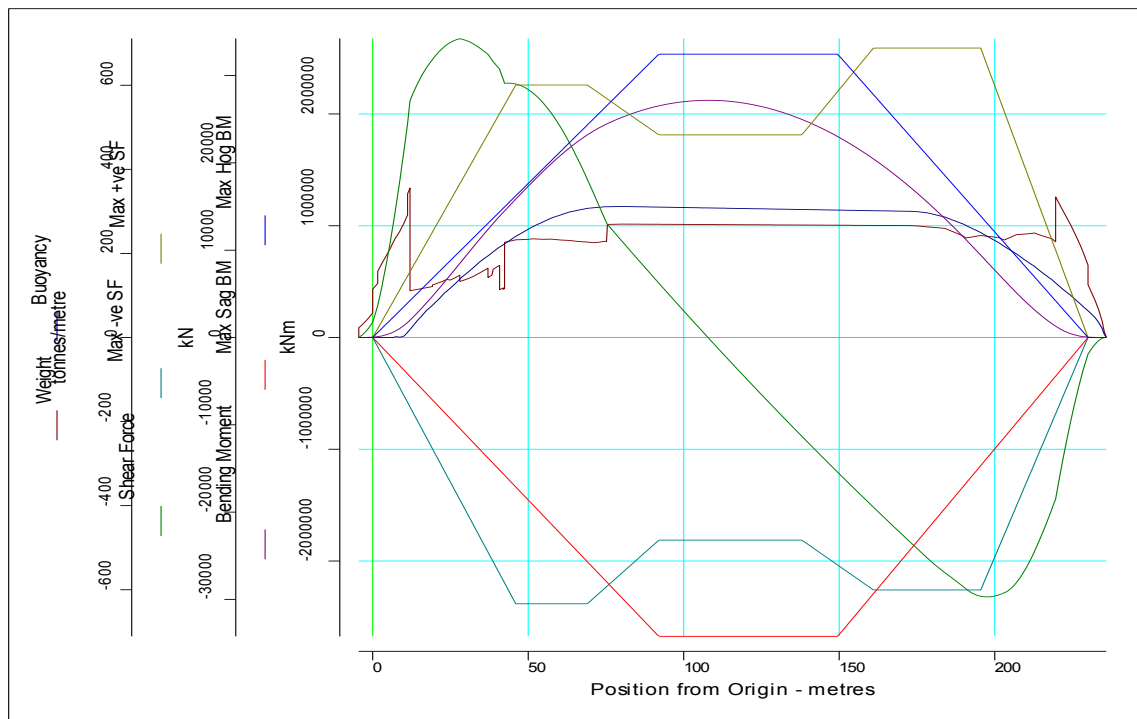
Σχήμα 6.3.3.2: Κατανομή Βάρους και Άντωσης



Σχήμα 6.3.3.3: Κατανομή Διατμητικών Δυνάμεων



Σχήμα 6.3.3.4: Κατανομή Καμπτικών Ροπών



Σχήμα 6.3.3.5: Καμπύλες Κατανομών Βάρους, Άντωσης, Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών από το Tribon

	Υπολογισθείσα	Πραγματική	Διαφορά	Διαφορά (%)	Αποδεκτή Απόκλιση
Μέγιστη τιμή Διατμητικής Δύναμης (kN)	34481.16	34221.1	260.06	0.760%	± 5%
Μέγιστη τιμή Καμπτικής Ροπής (kN-m)	2062968.13	2122234.5	59266.37	2.793%	± 5%

Πίνακας 6.3.3.5: Μέγιστες τιμές Διατμητικών Δυνάμεων και Καμπτικών Ροπών

Παράρτημα Πινακόν Βόσης Αεδομένων «M/T Megan»

Dispt	Draft	LCB	VCB	WPA	LCF	KML	KMT	W5A	TPC	MTC	CB	GM	CP	CW	BML	BMT
6673.33	1.00	124.41	0.51	6874.55	124.25	2787.50	122.33	7006.98	70.68	808.63	0.68	0.96	0.71	0.72	2786.99	121.81
10266.14	1.50	124.34	0.77	7091.00	124.18	1942.98	84.26	7336.82	72.90	866.91	0.70	0.97	0.72	0.75	1942.21	83.49
13952.98	2.00	124.29	1.03	7245.56	124.12	1508.47	64.45	7634.95	74.49	914.49	0.71	0.98	0.73	0.76	1507.44	63.42
17708.98	2.50	124.25	1.29	7365.53	124.10	1240.65	52.42	7916.54	75.72	954.26	0.72	0.98	0.74	0.77	1239.36	51.13
21522.10	3.00	124.22	1.55	7467.19	124.09	1058.16	44.45	8188.44	76.77	988.72	0.73	0.99	0.74	0.78	1056.61	42.90
25384.01	3.50	124.20	1.81	7557.16	124.07	925.80	38.81	8454.84	77.69	1019.77	0.74	0.99	0.75	0.79	924.00	37.00
29289.71	4.00	124.18	2.07	7637.08	124.05	824.80	34.63	8716.98	78.51	1047.72	0.75	0.99	0.76	0.80	822.73	32.57
33233.01	4.50	124.17	2.33	7703.30	124.02	743.26	31.42	8973.81	79.20	1070.59	0.75	0.99	0.76	0.81	740.93	29.09
37208.19	5.00	124.15	2.58	7762.55	123.98	677.01	28.89	9228.08	79.80	1091.05	0.76	0.99	0.77	0.82	674.43	26.31
41212.87	5.50	124.13	2.84	7818.06	123.92	622.75	26.86	9480.77	80.38	1110.79	0.77	0.99	0.77	0.82	619.91	24.02
45244.75	6.00	124.10	3.10	7868.06	123.78	576.94	25.20	9730.85	80.89	1128.83	0.77	0.99	0.78	0.83	574.84	22.10
49301.12	6.50	124.07	3.36	7913.99	123.57	537.76	23.83	9980.31	81.36	1145.50	0.78	0.99	0.78	0.83	534.40	20.47
53380.56	7.00	124.02	3.62	7957.18	123.33	504.16	22.69	10230.04	81.81	1161.69	0.78	0.99	0.78	0.84	500.54	19.07
57480.86	7.50	123.96	3.88	7996.10	123.00	474.58	21.72	10480.61	82.21	1176.35	0.78	0.99	0.79	0.84	470.70	17.84
61601.23	8.00	123.89	4.14	8035.39	122.64	449.00	20.91	10732.99	82.61	1191.48	0.79	1.00	0.79	0.84	444.86	16.77
65741.76	8.50	123.79	4.40	8074.19	122.21	426.63	20.22	10988.15	83.01	1206.88	0.79	1.00	0.79	0.85	422.23	15.83
69902.24	9.00	123.68	4.66	8113.43	121.67	407.94	19.64	11266.56	83.41	1222.94	0.79	1.00	0.80	0.85	402.39	14.98
74083.47	9.50	123.55	4.92	8155.20	121.08	390.08	19.15	11508.05	83.84	1240.62	0.80	1.00	0.80	0.86	385.16	14.23
78287.32	10.00	123.40	5.18	8202.07	120.36	375.71	18.73	11775.83	84.32	1261.23	0.80	1.00	0.80	0.86	370.54	13.56
82516.26	10.50	123.23	5.44	8253.19	119.52	363.43	18.38	12050.73	84.85	1284.38	0.80	1.00	0.81	0.87	358.00	12.95
86772.66	11.00	123.02	5.70	8307.26	118.60	352.80	18.09	12331.41	85.40	1309.54	0.81	1.00	0.81	0.87	347.11	12.40
91057.55	11.50	122.79	5.96	8364.67	117.62	343.57	17.86	12616.50	86.00	1336.61	0.81	1.00	0.81	0.88	337.61	11.90
95371.45	12.00	122.54	6.22	8417.64	116.66	334.61	17.66	12901.02	86.54	1361.71	0.81	1.00	0.82	0.88	328.39	11.44
99709.92	12.50	122.26	6.48	8461.90	115.79	325.33	17.46	13179.86	86.99	1382.28	0.82	1.00	0.82	0.89	318.85	11.01
104070.60	13.00	121.97	6.74	8503.76	115.03	316.49	17.36	13453.73	87.43	1401.55	0.82	1.00	0.82	0.89	309.75	10.62
108451.04	13.50	121.68	7.01	8538.91	114.35	307.62	17.26	13724.87	87.79	1417.45	0.82	1.00	0.82	0.90	300.61	10.25
111087.83	13.80	121.50	7.17	8559.73	114.04	302.62	17.21	13883.11	88.00	1427.00	0.82	1.00	0.83	0.90	295.45	10.04
112849.52	14.00	121.38	7.27	8576.53	113.90	299.74	17.18	13988.10	88.17	1435.00	0.82	1.00	0.83	0.90	292.47	9.91
117268.73	14.50	121.10	7.53	8615.80	113.62	292.67	17.12	14249.09	88.58	1453.83	0.83	1.00	0.83	0.91	285.14	9.59
121706.12	15.00	120.82	7.80	8648.59	113.37	285.49	17.08	14507.17	88.91	1469.42	0.83	1.00	0.83	0.91	277.69	9.28
126159.88	15.50	120.55	8.06	8680.01	113.20	278.70	17.05	14764.59	89.24	1484.50	0.83	1.00	0.83	0.91	270.64	8.99
130629.26	16.00	120.30	8.32	8708.58	113.08	272.14	17.04	15021.27	89.53	1498.34	0.83	1.00	0.84	0.92	263.81	8.72
135112.30	16.50	120.06	8.59	8733.36	112.97	265.70	17.05	15277.28	89.79	1510.42	0.84	1.00	0.84	0.92	257.12	8.46
139608.01	17.00	119.83	8.85	8758.31	112.97	259.76	17.06	15533.92	90.04	1523.01	0.84	1.00	0.84	0.92	250.91	8.22
144116.03	17.50	119.61	9.11	8780.88	112.97	254.01	17.09	15790.39	90.27	1534.53	0.84	1.00	0.84	0.92	244.90	7.98
148635.00	18.00	119.41	9.37	8801.20	112.99	248.45	17.13	16046.83	90.48	1545.02	0.84	1.00	0.85	0.92	239.08	7.76
153164.35	18.50	119.22	9.64	8821.14	113.09	243.24	17.18	16304.00	90.69	1555.25	0.85	1.00	0.85	0.93	233.61	7.55
157703.42	19.00	119.05	9.90	8838.95	113.19	238.18	17.24	16561.10	90.87	1565.65	0.85	1.00	0.85	0.93	228.28	7.34
162251.19	19.50	118.89	10.16	8855.49	113.31	233.33	17.31	16818.57	91.04	1574.29	0.85	1.00	0.85	0.93	223.17	7.15
166807.36	20.00	118.74	10.42	8871.08	113.48	228.69	17.39	17076.63	91.20	1583.01	0.85	1.00	0.85	0.93	218.27	6.96
171370.99	20.50	118.60	10.68	8885.15	113.65	224.21	17.47	17334.73	91.35	1590.93	0.85	1.00	0.86	0.93	213.52	6.79
175942.22	21.00	118.47	10.95	8900.17	113.85	220.00	17.57	17593.42	91.50	1599.18	0.86	1.00	0.86	0.94	209.05	6.62

Πίνακας Υποστατικών για μηδενική διαγωγή

DISPLT	0 DEG	10 DEG	20 DEG	30 DEG	40 DEG	50 DEG	60 DEG	70 DEG	80 DEG	90 DEG
5000.000	0.000	13.353	15.237	15.523	15.021	13.986	12.601	11.146	10.473	11.523
10000.000	0.000	10.924	13.748	14.662	14.703	14.190	13.347	12.517	12.168	11.436
15000.000	0.000	9.253	12.624	14.010	14.454	14.331	13.892	13.481	12.711	11.402
20000.000	0.000	7.958	11.719	13.463	14.242	14.441	14.337	13.972	12.938	11.381
25000.000	0.000	6.891	10.969	12.984	14.053	14.533	14.684	14.198	13.034	11.363
30000.000	0.000	6.032	10.325	12.568	13.881	14.613	14.856	14.288	13.065	11.348
35000.000	0.000	5.389	9.758	12.203	13.724	14.680	14.907	14.299	13.058	11.333
40000.000	0.000	4.897	9.250	11.880	13.584	14.693	14.881	14.262	13.028	11.320
45000.000	0.000	4.514	8.790	11.589	13.460	14.636	14.804	14.192	12.983	11.306
50000.000	0.000	4.213	8.369	11.326	13.349	14.530	14.691	14.100	12.927	11.293
55000.000	0.000	3.972	7.983	11.085	13.244	14.390	14.553	13.992	12.863	11.280
60000.000	0.000	3.777	7.637	10.863	13.115	14.224	14.398	13.874	12.794	11.266
65000.000	0.000	3.618	7.338	10.658	12.960	14.041	14.231	13.747	12.721	11.253
70000.000	0.000	3.488	7.084	10.467	12.783	13.845	14.054	13.615	12.646	11.241
75000.000	0.000	3.381	6.870	10.288	12.589	13.638	13.871	13.479	12.569	11.228
80000.000	0.000	3.294	6.691	10.121	12.382	13.425	13.684	13.340	12.490	11.216
85000.000	0.000	3.223	6.543	9.951	12.162	13.206	13.494	13.199	12.411	11.203
90000.000	0.000	3.165	6.420	9.768	11.933	12.983	13.303	13.057	12.330	11.191
95000.000	0.000	3.119	6.319	9.574	11.695	12.755	13.111	12.915	12.250	11.179
100000.000	0.000	3.081	6.237	9.375	11.451	12.524	12.918	12.773	12.170	11.168
105000.000	0.000	3.051	6.170	9.173	11.200	12.289	12.723	12.633	12.092	11.157
110000.000	0.000	3.028	6.117	8.971	10.943	12.051	12.527	12.493	12.016	11.149
115000.000	0.000	3.010	6.076	8.769	10.680	11.808	12.329	12.352	11.941	11.144
120000.000	0.000	2.997	6.038	8.568	10.411	11.562	12.129	12.212	11.868	11.141
125000.000	0.000	2.987	5.987	8.368	10.139	11.313	11.927	12.072	11.796	11.141
130000.000	0.000	2.982	5.919	8.166	9.868	11.061	11.724	11.931	11.724	11.142
135000.000	0.000	2.980	5.834	7.964	9.601	10.805	11.520	11.789	11.653	11.144
140000.000	0.000	2.980	5.732	7.759	9.340	10.548	11.313	11.647	11.582	11.148
145000.000	0.000	2.984	5.613	7.550	9.087	10.290	11.106	11.504	11.512	11.152
150000.000	0.000	2.989	5.476	7.339	8.841	10.037	10.896	11.361	11.441	11.157
155000.000	0.000	2.988	5.321	7.123	8.602	9.792	10.686	11.216	11.369	11.163
160000.000	0.000	2.952	5.146	6.901	8.368	9.561	10.478	11.070	11.298	11.168
165000.000	0.000	2.874	4.950	6.674	8.139	9.343	10.278	10.924	11.226	11.175
170000.000	0.000	2.750	4.732	6.438	7.913	9.138	10.095	10.780	11.153	11.181
175000.000	0.000	2.573	4.488	6.193	7.688	8.946	9.937	10.649	11.081	11.188
180000.000	0.000	2.304	4.179	5.903	7.440	8.749	9.795	10.550	11.012	11.196

Πίνακας Καυτωδίων Ευστάθειας για μηδενική Διαγωγή

Section 0	Section 0.5	Section 1	Section 1.5	Section 2	Section 2.5	Section 3	Section 3.5	Section 4	Section 4.5	Section 5	Section 5.5	Section 6	Section 6.5	Section 7	Section 7.5	Section 8	Section 8.5	Section 9	9.5	Section 10
0	0.037	6.277	13.455	22.294	30.807	37.272	39.855	39.837	39.837	39.834	39.833	39.834	39.837	39.843	39.85	36.194	28.898	20.426	10.925	0.675
0	0.364	10.779	22.211	35.286	47.738	56.834	60.396	60.386	60.379	60.375	60.374	60.374	60.38	60.387	60.396	55.226	44.744	32.341	18.287	2.76
0	1.006	15.95	31.87	49.23	65.292	76.738	81.073	81.062	81.054	81.05	81.048	81.05	81.054	81.062	81.073	74.587	61.134	44.953	26.466	5.753
0	1.915	21.661	42.302	63.908	83.368	96.888	101.773	101.762	101.754	101.75	101.748	101.75	101.754	101.762	101.773	94.203	77.973	58.154	35.334	9.409
0	3.043	27.855	53.418	79.203	101.866	117.243	122.473	122.462	122.454	122.45	122.448	122.45	122.454	122.462	122.473	114.023	95.2	71.865	44.801	13.883
0	4.316	34.477	65.136	95.039	127.179	137.727	143.173	143.162	143.154	143.15	143.148	143.15	143.154	143.162	143.173	133.999	112.478	86.017	54.81	18.783
0	5.647	41.516	77.395	111.35	139.875	158.295	163.873	163.862	163.854	163.85	163.848	163.85	163.854	163.862	163.873	154.098	130.593	100.553	65.205	24.172
0	6.955	48.962	90.155	128.098	159.294	178.929	184.573	184.562	184.554	184.55	184.548	184.55	184.554	184.562	184.573	174.293	148.676	115.425	76.021	29.996
0	8.149	56.784	107.037	145.231	178.934	199.6	205.273	205.262	205.254	205.25	205.248	205.25	205.254	205.262	205.273	194.554	166.958	130.579	87.117	36.118
0	9.224	64.98	117.072	162.71	198.761	220.29	225.973	225.962	225.954	225.95	225.948	225.95	225.954	225.962	225.973	214.88	185.435	146.01	98.605	42.588
0	10.347	73.559	131.106	180.599	218.75	240.988	246.673	246.662	246.654	246.65	246.648	246.65	246.654	246.662	246.673	235.26	204.086	161.699	110.284	59.168
0	11.352	82.546	145.576	198.588	238.869	261.667	267.373	267.362	267.354	267.35	267.348	267.35	267.354	267.362	267.373	255.675	222.866	177.571	122.152	69.926
0	12.654	91.956	160.433	216.931	259.103	282.386	288.073	288.062	288.054	288.05	288.048	288.05	288.054	288.062	288.073	276.119	241.771	193.63	134.182	82.786
0	14.284	101.821	175.655	235.51	279.495	308.085	308.773	308.762	308.754	308.75	308.748	308.75	308.754	308.762	308.773	296.586	260.766	209.835	146.374	69.57
0	16.331	112.155	191.235	254.306	299.823	323.784	329.473	329.462	329.454	329.45	329.448	329.45	329.454	329.462	329.473	317.07	279.842	226.17	158.553	84.634
0	18.946	122.966	207.168	273.297	320.293	344.483	350.173	350.162	350.154	350.15	350.148	350.15	350.154	350.162	350.173	337.571	298.995	242.631	170.864	83.008
0	22.301	134.312	223.424	292.455	340.813	365.182	370.873	370.862	370.854	370.85	370.848	370.85	370.854	370.862	370.873	358.081	318.202	259.179	183.205	89.513
0	26.543	146.203	229.997	311.775	361.376	388.881	391.573	391.562	391.554	391.55	391.548	391.55	391.554	391.562	391.573	378.599	337.456	275.808	195.565	95.817
0	31.881	158.695	256.88	331.251	381.981	406.58	412.273	412.262	412.254	412.25	412.248	412.25	412.254	412.262	412.273	399.123	356.753	292.511	207.994	101.898
0	38.468	171.714	274.047	350.859	402.613	427.279	432.973	432.962	432.954	432.95	432.948	432.95	432.954	432.962	432.973	419.651	376.076	309.264	220.286	107.676
0	46.331	185.373	291.483	370.587	423.268	447.978	453.673	453.662	453.654	453.65	453.648	453.65	453.654	453.662	453.673	440.179	395.417	326.053	232.611	113.089
0	55.386	199.6	309.171	390.421	443.939	468.677	474.373	474.362	474.354	474.35	474.348	474.35	474.354	474.362	474.373	460.708	414.767	342.867	244.908	118.057
1.3	65.457	214.347	327.094	410.351	464.621	489.376	495.073	495.062	495.054	495.05	495.048	495.05	495.054	495.062	495.073	481.237	434.119	359.692	257.181	122.493
4.675	76.362	229.561	345.251	430.376	485.314	510.075	515.773	515.762	515.754	515.75	515.748	515.75	515.754	515.762	515.773	501.765	453.473	376.529	269.432	126.247
9.277	87.965	245.178	363.621	450.48	506.011	530.774	536.473	536.462	536.454	536.45	536.448	536.45	536.454	536.462	536.473	522.292	472.822	393.367	281.672	128.995
14.788	100.145	261.167	382.191	470.658	526.711	551.473	557.173	557.162	557.154	557.15	557.148	557.15	557.154	557.162	557.173	542.817	492.164	410.2	293.911	129.185
21.029	112.809	277.52	400.958	490.906	547.411	572.172	577.873	577.862	577.854	577.85	577.848	577.85	577.854	577.862	577.873	563.342	511.498	427.028	306.149	130.205
27.874	125.88	294.158	419.894	511.213	568.111	592.871	598.573	598.562	598.554	598.55	598.548	598.55	598.554	598.562	598.573	583.864	530.821	443.85	318.411	130.755
35.228	139.005	311.062	438.991	531.574	588.811	613.57	619.273	619.262	619.254	619.25	619.248	619.25	619.254	619.262	619.273	604.384	550.133	460.663	330.701	133.415
43.021	153.005	328.215	458.24	551.988	609.511	634.269	639.962	639.954	639.94	639.95	639.948	639.95	639.954	639.962	639.973	624.903	569.435	477.47	343.028	135.333
51.19	166.962	345.552	477.61	572.444	630.211	654.968	660.673	660.662	660.654	660.65	660.648	660.65	660.654	660.662	660.673	645.42	588.726	494.274	355.479	138.846
59.684	181.124	363.067	497.097	592.942	650.911	675.667	681.373	681.362	681.354	681.35	681.348	681.35	681.354	681.362	681.373	665.935	608.008	511.074	367.876	142.955
68.454	195.452	380.729	516.684	613.475	671.611	696.366	702.073	702.062	702.054	702.05	702.048	702.05	702.054	702.062	702.073	686.449	627.28	527.876	380.414	147.625
77.465	209.906	398.489	536.34	634.036	692.311	717.065	722.773	722.762	722.754	722.75	722.748	722.75	722.754	722.762	722.773	706.961	646.547	544.686	395.057	152.805
86.679	224.484	416.346	556.066	654.625	713.011	737.764	743.473	743.462	743.454	743.45	743.448	743.45	743.454	743.462	743.473	727.473	665.807	561.503	405.807	158.492
96.063	239.141	434.261	575.836	675.231	733.711	758.463	764.173	764.162	764.154	764.15	764.148	764.15	764.154	764.162	764.173	747.984	685.068	578.341	418.68	164.655
105.588	253.851	452.21	595.634	695.851	754.411	779.162	784.873	784.862	784.854	784.85	784.848	784.85	784.854	784.862	784.873	768.496	704.335	595.206	431.691	171.273
115.225	268.608	470.188	615.457	716.482	775.111	799.861	805.573	805.562	805.554	805.55	805.548	805.55	805.554	805.562	805.573	789.009	723.607	612.101	444.838	176.342
124.948	283.372	488.158	635.283	737.113	795.811	820.56	826.273	826.262	826.254	826.25	826.248	826.25	826.254	826.262	826.273	809.524	742.899	629.045	458.13	185.822
134.729	298.131	506.111	655.105	757.741	816.511	841.259	846.973	846.962	846.954	846.95	846.948	846.95	846.954	846.962	846.973	830.042	762.215	646.045	471.569	193.702
144.545	312.885	524.046	674.907	778.366	837.211	861.958	867.673	867.662	867.654	867.65	867.648	867.65	867.654	867.662	867.673	850.561	781.569	663.116	485.154	201.939

Πίνακας Κινητών Βοηθών

Fresh Water No1 (P)						
Percentage	Sounding (m)	Volume (m ³)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	IT (m ⁴)
0	0	0	0	0	0	0
1.8135005	0.1	4.86	7.65	-9.96	16.55	143.33
3.64192694	0.2	9.76	7.65	-9.97	16.6	145.38
5.48154782	0.3	14.69	7.64	-9.97	16.65	147.41
7.33609463	0.4	19.66	7.64	-9.98	16.7	149.44
9.19810441	0.5	24.65	7.63	-9.99	16.75	151.46
11.0750401	0.6	29.68	7.63	-9.99	16.8	153.48
12.9631703	0.7	34.74	7.62	-10	16.85	155.5
14.8624949	0.8	39.83	7.62	-10.01	16.9	157.5
16.7730139	0.9	44.95	7.61	-10.01	16.95	159.51
18.6947274	1	50.1	7.61	-10.02	17.01	161.53
20.6276354	1.1	55.28	7.61	-10.03	17.06	163.55
22.5680063	1.2	60.48	7.6	-10.03	17.11	165.59
24.5233031	1.3	65.72	7.6	-10.04	17.16	167.63
26.4860629	1.4	70.98	7.6	-10.05	17.21	169.67
28.4562857	1.5	76.26	7.59	-10.05	17.26	171.17
30.4339714	1.6	81.56	7.59	-10.06	17.31	172.3
32.4191201	1.7	86.88	7.59	-10.07	17.36	173.39
34.4117318	1.8	92.22	7.58	-10.07	17.41	174.47
36.4118064	1.9	97.58	7.58	-10.08	17.47	175.51
38.4156125	2	102.95	7.58	-10.08	17.52	176.54
40.4268816	2.1	108.34	7.57	-10.09	17.57	177.56
42.4418822	2.2	113.74	7.57	-10.09	17.62	178.55
44.4643457	2.3	119.16	7.57	-10.1	17.67	179.53
46.4905407	2.4	124.59	7.57	-10.1	17.72	180.5
48.5204672	2.5	130.03	7.56	-10.11	17.77	181.47
50.5578566	2.6	135.49	7.56	-10.11	17.83	182.44
52.5989776	2.7	140.96	7.56	-10.11	17.88	183.4
54.64383	2.8	146.44	7.56	-10.12	17.93	184.35
56.6924139	2.9	151.93	7.55	-10.12	17.98	184.71
58.7447293	3	157.43	7.55	-10.13	18.03	184.9
60.7970447	3.1	162.93	7.55	-10.13	18.08	185.05
62.8530915	3.2	168.44	7.55	-10.13	18.13	185.17
64.9128699	3.3	173.96	7.54	-10.14	18.19	185.27
66.9689168	3.4	179.47	7.54	-10.14	18.24	185.35
69.0324266	3.5	185	7.54	-10.14	18.29	185.41
71.0922049	3.6	190.52	7.54	-10.14	18.34	185.46
73.1557148	3.7	196.05	7.54	-10.15	18.39	185.5
75.2192246	3.8	201.58	7.53	-10.15	18.44	185.53
77.2827344	3.9	207.11	7.53	-10.15	18.49	185.55
79.3462443	4	212.64	7.53	-10.15	18.54	185.56
81.4134856	4.1	218.18	7.53	-10.16	18.59	185.55
83.4769954	4.2	223.71	7.53	-10.16	18.64	185.54
85.5442367	4.3	229.25	7.53	-10.16	18.7	185.52
87.6077466	4.4	234.78	7.52	-10.16	18.75	185.5
89.6749879	4.5	240.32	7.52	-10.16	18.8	185.48
91.7384977	4.6	245.85	7.52	-10.17	18.85	185.45
93.805739	4.7	251.39	7.52	-10.17	18.9	185.41
95.8692489	4.8	256.92	7.52	-10.17	18.95	185.37
97.9364902	4.9	262.46	7.52	-10.17	19	185.33
100	5	267.99	7.52	-10.17	19.05	185.33

Παράδειγμα Πίνακα Χωρητικότητας Δεξαμενών

Length	SF (+)	SF (-)	SAG BM	HOG BM
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.80	2891.50	-3049.93	-133710.68	126764.99
74.20	2891.50	-3049.93	-200566.01	190147.48
97.60	2320.60	-2320.60	-267421.35	253529.97
144.40	2320.60	-2320.60	-267421.35	253529.97
156.10	2817.87	-2606.05	-267421.35	253529.97
167.80	3315.14	-2891.50	-229218.30	217311.41
202.90	3315.14	-2891.50	-114609.15	108655.70
234.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Κατασκευαστικών Ορίων Μέγιστης Αντοχής

Name	Weight	LCG	TCG	VCG	FSM	Aft Ext	Fwd Ext
HULL AFT	4102.00	39.80	0.00	11.24	0.00	0.00	75.16
HULL MID	6578.35	127.16	0.00	11.24	0.00	75.16	179.16
HULL FORE	2714.02	203.00	0.00	11.24	0.00	179.16	230.00
MACHINERY	1425.37	27.00	0.00	11.24	0.00	11.20	40.80
OUTFIT	1550.26	92.40	0.00	11.24	0.00	0.00	230.00
SUPERSTR	438.00	25.50	0.00	11.24	0.00	11.20	37.06

Πίνακας κατανομής κενού πλοίου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λουκάκης, Θ.Α. και Πέρρας, Π.Τ., «Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου», 2002
2. Γεώργιος Δ. Τζαμπίρας, «Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου Ι», 2015
3. Kemp & Young, Revised by Dr. C. B. Barass, «*Ship Stability Notes & Examples*», 2001
4. Adrian B. Biran, Ruben Lopez-Pulido, «*Ship Hydrostatics and Stability*», 2014
5. SNAME, «*Principles of Naval Architecture, Volume I – Stability and Strength*»
6. Εμμανουήλ Σαμουηλίδης, «*Σημειώσεις Αντοχής Πλοίου*», 2007
7. David Laurence Hansch, «*Methods of Determining the Longitudinal Weight Distribution of a ship*», 2008
8. Yasuhisa Okumoto, Yu Takeda, Masaki Mano, Tetsuo Okada, «*Design of Ship Hull*», 2008
9. D.J Eyres, G.J Brucem «*Ship Construction*», Seventh Edition
10. DNV – GL, «*Additional Rules & Guidelines, Guidelines for Loading Computer Systems*», 2015