



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

**Μελέτη ευστάθειας πλοίου τύπου oil tanker πριν και μετά από κατάκλιση**  
**Stability Analysis of an Oil Tanker Before and After Damage**

Συγγραφέας:

Λούβρος Δημήτριος

A.M.: 51114050

Επιβλέπων: Δρ. Μηχ. Ιωάννης Τίγκας

Αιγάλεω, 2024





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διπλωματική εργασία**

**Τίτλος: Μελέτη ευστάθειας πλοίου τύπου oil tanker πριν και μετά από κατάκλιση**

**Συγγραφέας:**

Λούβρος Δημήτριος (51114050)

**Επιβλέπων:**

Δρ. Μηχ. Ιωάννης Τίγκας

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

**Ημερομηνία εξέτασης**

12/07/2024

**Εξεταστική Επιτροπή**

Κ. Πολίτης,  
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ι. Τίγκας,  
Επικ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Θ. Μαζαράκος,  
Επικ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.





## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Λούβρος Δημήτριος** του **Αριστείδη**, με αριθμό μητρώου **14050** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Ναυπηγών Μηχανικών**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Ο Δηλών

Λούβρος Δημήτριος





## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Ιωάννη Τίγκα, που με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Η βοήθειά του και οι συμβουλές του ήταν πολύτιμες για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Μέσω της καθοδήγησής του, μπόρεσα να εμβαθύνω στο θέμα και να βελτιώσω τις δεξιότητές μου. Η ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το αντικείμενο ήταν πολύ σημαντική για την ακαδημαϊκή μου πορεία και τον ευχαριστώ ειλικρινά γι' αυτό.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και την αδερφή μου για την αδιάκοπη υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συναισθηματική και πρακτική βοήθειά τους ήταν ανεκτίμητη. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στην κοπέλα μου, που ήταν πάντα δίπλα μου, προσφέροντάς μου αγάπη και υπομονή. Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους φίλους μου για την ενθάρρυνση και τη βοήθειά τους, που με στήριξαν και με βοήθησαν σε κάθε βήμα αυτής της πορείας.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μοντελοποίηση του προβλήματος της ευστάθειας πλοίου τύπου oil tanker, καθώς επίσης και της ικανότητας επιβίωσής του σε περίπτωση ατυχήματος. Ξεκινώντας από την μοντελοποίηση του πλοίου σε τρισδιάστατο περιβάλλον ελέγχεται το ποσοστό ακρίβειας του σχεδίου και στη συνέχεια με κατάλληλο υπολογιστικό λογισμικό μελετάμε τη συμμόρφωση του πλοίου με τους κανονισμούς άθικτης ευστάθειας και ευστάθειας έναντι βλάβης. Ολοκληρώνοντας προτείνονται ενέργειες βελτιστοποίησης της σχεδίασης ως προς την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας.

Στην εργασία αυτή εξετάζουμε την μελέτη ευστάθειας ενός δεξαμενοπλοίου με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος “CAD” και του υπολογιστικού λογισμικού “MAXSURF STABILITY”. Στα πλαίσια του υπολογισμού αυτού θα εξεταστεί η άθικτη ευστάθεια του πλοίου, η ευστάθεια κατόπιν βλάβης μίας ή περισσότερων δεξαμενών πετρελαίου.

**Λέξεις κλειδιά:** Μοντέλο, σχεδίαση, ευστάθεια, βλάβη, κανονισμός

## ***Abstract***

*This thesis delves into the modeling of stability analysis and survivability assessment for an oil tanker before and after the event of an accident. The study commences with the three-dimensional modeling of the vessel to ensure the design's utmost precision. Subsequently, appropriate computational software is employed to evaluate the ship's compliance with intact stability and damage stability regulations. The thesis culminates in proposing design optimization measures aimed at preventing marine pollution.*

*This study delves into the stability analysis of an oil tanker employing the design software RHINO 6 and the computational software MAXSURF STABILITY. The scope of this analysis encompasses both the intact stability of the vessel and its stability in the aftermath of damage to one or more cargo oil tanks.*

*Key words: Model, Design, Stability, Damage, Regulation*

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	iii
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κεφάλαιο 1: Πρόλογος.....	1
Κεφάλαιο 2: Ιστορική αναδρομή.....	2
2.1 Αρχιμήδης.....	2
2.2 Η Εξέλιξη της Υδροστατικής στην Ναυπηγική: Από τους Αρχαίους Έλληνες στους Πρωτοπόρους των Μεθόδων Ευστάθειας.....	4
2.3 Νομοθεσίες και Ευστάθεια σήμερα.....	6
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο.....	7
3.1 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά.....	7
3.1.1 Ορισμοί και κύριες διαστάσεις.....	7
3.1.2 Χαρακτηριστικά Γάστρας.....	17
3.2 Υδροστατική πλοίου.....	20
3.2.1 Εκτόπισμα και βάρη.....	20
3.2.2 Στατική ισορροπία (Static equilibrium).....	21
3.3 Ευστάθεια πλοίου.....	24
3.3.1 Ευστάθεια για μικρές γωνίες, αρχική ευστάθεια.....	24
3.3.2 Καμπύλες Ευστάθειας.....	26
3.3.3 Επίδραση ελεύθερων επιφανειών.....	30
3.4 Ευστάθεια μετά από βλάβη.....	32
3.4.1 Μέθοδος της χαμένης άντωσης.....	32
3.4.2 Μέθοδος του πρόσθετου βάρους.....	32
Κεφάλαιο 4: Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας.....	33
4.1 Γενικά.....	33
4.2 Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας.....	33

4.3	Κριτήριο καιρού.....	34
Κεφάλαιο 5: Κριτήρια Ευστάθειας Μετά Από Βλάβη .....		37
5.1	Γενικά.....	37
5.2	Κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη .....	37
5.3	Κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη με τη χρήση πιθανοθεωρητικής θεώρησης..	39
Κεφάλαιο 6: ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....		41
6.1	Σκοπός.....	41
6.2	Κύρια Στοιχεία Πλοίου .....	42
6.3	Παραγωγή Τρισδιάστατου Μοντέλου .....	43
6.3.1	Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών .....	43
6.3.2	Τρισδιάστατη σχεδίαση σε <i>Rhino3D</i> .....	48
6.3.3	Εισαγωγή μοντέλου στο “ <i>Maxsurf</i> ” και έλεγχος γάστρας.....	57
6.3.4	Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	67
6.3.5	Σχεδίαση διαμερισμάτων και δεξαμενών .....	67
6.4	Μελέτη Ευστάθειας .....	70
6.4.1	Καταστάσεις φόρτωσης .....	70
6.4.2	Υπολογισμός ευστάθειας .....	71
6.4.3	Αποτελέσματα άθικτης ευστάθειας .....	74
6.5	Μελέτη Ευστάθειας Μετά από Βλάβη .....	86
6.5.1	Καταστάσεις Βλάβης .....	86
6.5.2	Υπολογισμός ευστάθειας έναντι βλάβης .....	87
6.5.3	Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη .....	88
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα .....		96
Κεφάλαιο 8: Προτάσεις .....		98
Βιβλιογραφία .....		100

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Προτομή του Αρχιμήδη (Φουντουκίδου & Τζιόνα, 2013).....	2
Εικόνα 2 «Παλίμψηστο του Αρχιμήδη» (Flood, 2011).....	2
Εικόνα 3 Simon Stevin (Alberg , n.d.).....	4
Εικόνα 4 Leonhard Euler (Lim, 2018).....	5
Εικόνα 5 Pierre Bouguer (Watts, 2023).....	5
Εικόνα 6 Βασικά επίπεδα αναφοράς ενός πλοίου (Kairis, 2012).....	8
Εικόνα 7 Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών (Lewis, 1988).....	9
Εικόνα 9 Body plan (Gillmer, 1982).....	9
Εικόνα 8 Εγκάρσιες τομές (Gillmer, 1982).....	9
Εικόνα 10 Τομές παράλληλες στην CL (Gillmer, 1982).....	10
Εικόνα 11 Sheer plan (Gillmer, 1982).....	10
Εικόνα 12 Τομές παράλληλες ως προς την επιφάνεια της ισάλου (Gillmer, 1982).....	11
Εικόνα 13 Half-breadth plan (Gillmer, 1982).....	11
Εικόνα 14 Μήκη του πλοίου (Biran & López-Pulido, 2014).....	12
Εικόνα 15 Παραδείγματα γραμμών σχεδίασης και εκτοπίσματος (Rawson & Tupper, 1976).....	13
Εικόνα 16 Παράδειγμα μη παράλληλης βύθισης (Biran & López-Pulido, 2014).....	14
Εικόνα 17 Έμπρομη διαγωγή πλοίου (Τζαμπίρας, 2015).....	14
Εικόνα 18 Βασικά χαρακτηριστικά μέσης τομής (Biran & López-Pulido, 2014).....	15
Εικόνα 19 Κατανομή σχεδίου ναυπηγικών γραμμών σε τριδιάστατο περιβάλλον (Wikimedia Commons, n.d.)...	16
Εικόνα 20 Τριδιάστατη αναπαράσταση γάστρας με χρήση σχεδίου ναυπηγικών γραμμών (PolyCAD, n.d.).....	16
Εικόνα 21 Συντελεστής γάστρας (Biran & López-Pulido, 2014).....	17
Εικόνα 22 Συντελεστής μέσης τομής (Biran & López-Pulido, 2014).....	18
Εικόνα 23 Συντελεστής πληρότητας επιφανείας ισάλου (Biran & López-Pulido, 2014).....	19
Εικόνα 24 Πρισματικός συντελεστής (Biran & López-Pulido, 2014).....	19
Εικόνα 25 Κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής (Biran & López-Pulido, 2014).....	20
Εικόνα 26 Υδροστατική πίεση (Tupper, 2004).....	22
Εικόνα 27 Ισορροπία επιπλέοντος σώματος (Lewis, 1988).....	22
Εικόνα 28 Επαναφορά στατικής ισορροπίας (Biran & López-Pulido, 2014).....	23
Εικόνα 29 Στατική ισορροπία πλοίου (Biran & López-Pulido, 2014).....	23
Εικόνα 30 Καταστάσεις ισορροπίας σώματος (Pond, Sympathetic Vibratory Physics   Equilibrium, n.d.).....	24
Εικόνα 31 Μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ και μετακεντρικό ύψος (Robert E & Randall, 2010).....	24
Εικόνα 32 Χαρακτηρίστηκες θέσης μετάκεντρου (Ueng, 2013).....	25
Εικόνα 33 Βασικά σημεία εγκάρσιας ευστάθειας ( <a href="https://portalpermohonan.com/transverse-stability-of-ship/">https://portalpermohonan.com/transverse-stability-of-ship/</a> )	26
Εικόνα 34 Οπτική αναπαράσταση της καμπύλης GZ-φ (Christensen, 2014).....	27
Εικόνα 35 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (Lee, 2019).....	28
Εικόνα 36 Γωνία εγκάρσιας κλίσης με θεωρητικό “KG” (Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD (Autodesk, n.d.))	29
Εικόνα 37 Γωνία εγκάρσιας κλίσης με θεωρητικό “KG” στην τρόπιδα (Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD (Autodesk, n.d.).....	29



Εικόνα 38 Πλοίο με μερικούς γεμάτη δεξαμενή (Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD) (Autodesk, n.d.) .....	30
Εικόνα 39 Πλοίο με μερικούς γεμάτη δεξαμενή υπό κλίση (Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD) (Autodesk, n.d.)	31
Εικόνα 40 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς για κριτήρια άθικτης ευστάθειας (Gyuyeol, 2008) .....	34
Εικόνα 41 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς για κριτήριο καιρού (IMO Instruments, 1993).....	35
Εικόνα 42 Εισαγωγή σχεδίου στο AutoCAD.....	43
Εικόνα 43 Απεικόνιση σχεδίου γραμμών σε AutoCAD.....	43
Εικόνα 44 Ορισμός επιπέδου αναφοράς.....	44
Εικόνα 45 Περιστροφή σχεδίου.....	44
Εικόνα 46 μέτρηση ολικού μήκους πριν από τη διόρθωση.....	45
Εικόνα 47 Εκτέλεση της εντολής "scale".....	46
Εικόνα 48 Όρια σχεδίασης.....	46
Εικόνα 49 Χάραξη νομέα 9 3/4 .....	47
Εικόνα 50 Σχεδίαση ισάλων με χρήση νομέα .....	47
Εικόνα 51 Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών σε AutoCAD.....	48
Εικόνα 52 Εξαγωγή αρχείου απο AutoCAD.....	48
Εικόνα 53 Επιλογή αρχείου IGS.....	48
Εικόνα 54 Import σε Rhino .....	49
Εικόνα 55 Εισαγωγή γραμμών στο Rhino 3D.....	49
Εικόνα 56 Περιστροφή και ορθή διαρρύθμιση σχεδίων.....	50
Εικόνα 57 Τρισδιάστατη αναπαράσταση σχεδίου γραμμών .....	51
Εικόνα 58 Σχεδίαση πυθμένα.....	51
Εικόνα 59 Επιφάνεια με χρήση "sweep2 rails" .....	52
Εικόνα 60 Επιφάνεια με χρήση " edge curves" .....	53
Εικόνα 61 Επιφάνεια γάστρας.....	53
Εικόνα 62 Ένωση ανοιχτών ακμών .....	54
Εικόνα 63 Πλήρη σχεδίαση γάστρας.....	54
Εικόνα 64 Υδροστατική ανάλυση γάστρας .....	55
Εικόνα 65 Υπερκατασκευής πλοίου .....	56
Εικόνα 66 Ολοκλήρωση μοντέλου.....	56
Εικόνα 67 Εξαγωγή μοντέλου σε μορφή ".igs".....	57
Εικόνα 68 Εισαγωγή μοντέλου στο "Maxsurf" .....	57
Εικόνα 69 "Frame of reference".....	58
Εικόνα 70 Εκτέλεση ανάλυσης Upright Hydrostatics .....	60
Εικόνα 71 Trim & Stability Booklet Hydrostatic Curves.....	66
Εικόνα 72 Models Hydrostatic Curves .....	67
Εικόνα 73 Room definition window.....	68
Εικόνα 74 Σχεδίαση διαμερίσματος "Steering Gear".....	69
Εικόνα 75 Σχεδίαση δεξαμενής ακανόνιστου σχήματος ως "Link Tank" .....	69
Εικόνα 76 Τελική μορφή δεξαμενών .....	70
Εικόνα 77 Ορισμός καταστάσεων φόρτωσης .....	71

<i>Εικόνα 78</i> Ορισμός δεδομένων “ <i>Large Angle Stability</i> ” .....	72
<i>Εικόνα 79</i> Ορισμός επιφάνειας εξάλων.....	73
<i>Εικόνα 80</i> Επιλογή κριτηρίων ευστάθειας .....	73
<i>Εικόνα 81</i> Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης No1 .....	76
<i>Εικόνα 82</i> Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης No2 .....	79
<i>Εικόνα 83</i> Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης No3 .....	82
<i>Εικόνα 84</i> Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης No4 .....	85
<i>Εικόνα 85</i> Σημεία προοδευτικής κατάκλισης.....	87
<i>Εικόνα 86</i> Ορισμός καταστάσεων βλάβης.....	87
<i>Εικόνα 87</i> Κανονισμοί “ <i>MARPOL</i> ” για ευστάθεια έναντι βλάβης .....	88

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Παράμετροι για εφαρμογή κριτηρίου καιρού ( <i>IMO Instruments, 1993</i> ) .....	36
Πίνακας 2 Μέγιστη απόκλιση αποτελεσμάτων URL-5 .....	59
Πίνακας 3 Απόκλιση εκτοπίσματος .....	60
Πίνακας 4 Απόκλιση διαμήκους κέντρου άντωσης .....	61
Πίνακας 5 Απόκλιση διαμήκους θέσης κέντρου πλευστότητας .....	61
Πίνακας 6 Απόκλιση εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους .....	62
Πίνακας 7 Απόκλιση διαμήκους μετακεντρικού ύψους .....	62
Πίνακας 8 Απόκλιση εγκάρσιου κέντρου άντωσης .....	63
Πίνακας 9 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 10° .....	63
Πίνακας 10 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 20° .....	64
Πίνακας 11 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 30° .....	64
Πίνακας 12 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 40° .....	65
Πίνακας 13 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 50° .....	65
Πίνακας 14 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 60° .....	66
Πίνακας 17 Καταστάσεις βλάβης .....	86



## Κεφάλαιο 1: Πρόλογος

Το πλοίο είναι ένα μέσο μεταφοράς ανθρώπων και εμπορευμάτων, ένα μέσο αναψυχής, ένα μέσο πολέμου, που όχι μόνο έχει επιβιώσει ανά τους αιώνες, αλλά έχει εδραιωθεί ως ένα από τα σπουδαιότερα εργαλεία του σύγχρονου κόσμου. Στα πρώτα της στάδια η ναυπηγική ήταν περισσότερο τέχνη παρά επιστήμη. Με την πάροδο των χρόνων αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι σχεδίασης, που επέτρεπαν καλύτερη και ασφαλέστερη μεταφορά, καθώς επίσης και εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό τόσο των βασικών γεωμετρικών στοιχείων της γάστρας όσο και νέων εννοιών όπως η αντίσταση, η άντωση, η διαμήκης και εγκάρσια αντοχή και φυσικά η ευστάθεια ενός πλοίου. (Tupper, 2004)

Για αρκετές δεκαετίες ο προσδιορισμός των ανωτέρω εννοιών γινόταν με υπολογισμούς στο χέρι και με τη χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, που επαληθεύονταν με πειραματικές διαδικασίες. Όλες οι καταγεγραμμένες εμπειρικές μελέτες και η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη που βιώνουμε από τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα οδήγησαν στην δημιουργία σχεδιαστικών και υπολογιστικών λογισμικών που κάνουν την κατασκευή ενός πλοίου απλούστερη απ' ό,τι υπήρξε ποτέ.

Σήμερα με τη χρήση των Η/Υ μπορούμε να πραγματοποιήσουμε λεπτομερή τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός πλοίου και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του στη θάλασσα, πολύ πριν αυτό ξεκινήσει να κατασκευάζεται.

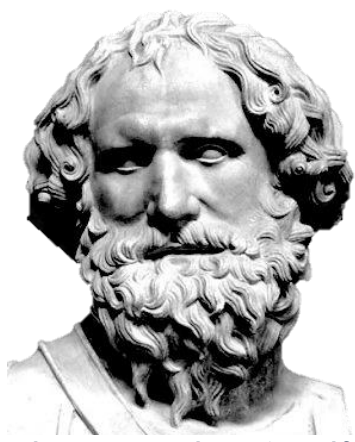
Τέλος, τα μέσα αυτά μας επιτρέπουν να δώσουμε την ύψιστη σημασία που χρειάζεται να δοθεί στην ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα, καθώς πλέον όχι μόνο μπορούμε να υπολογίσουμε την ευστάθεια ενός πλοίου αλλά και την πιθανότητα επιβιώσής του σε περίπτωση που αυτό υποστεί βλάβη (κατάκλιση).

## Κεφάλαιο 2: Ιστορική αναδρομή

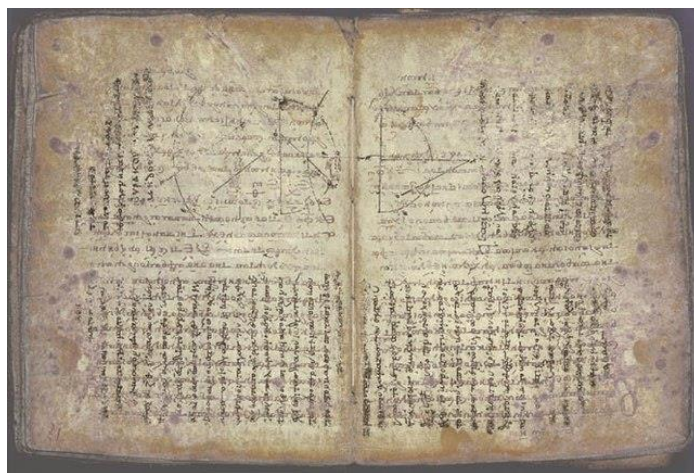
Η χρήση πλωτών μέσων για τη μεταφορά ανθρώπων και εμπορευμάτων ξεκίνησε χιλιάδες χρόνια πριν μπορέσουμε να περιγράψουμε μαθηματικά πως αυτά επιπλέουν. Θεωρείται πως οι πρώτοι που κατάφεραν να διασχίσουν τη θάλασσα ήταν οι άποικοι της Αυστραλίας και της Νέας Γουινέας 30000 με 40000 χιλιάδες χρόνια πριν (Nowacki, 2013). Για πολλά χρόνια τα πλοία κατασκευάζονταν εμπειρικά με τη μέθοδο της δοκιμής και επιτυχίας. Όπως ήταν προφανές τα πλοία που δεν ανατρέπονταν εύκολα κρίθηκαν ως πιο επιτυχημένα, οι κατασκευαστές τους έλαβαν την αναγνώριση που τους άξιζε, και ο τρόπος κατασκευής τους άρχισε να μεταδίδεται από γενιά σε γενιά. Σύντομα τα επιτυχημένα αυτά πλοία χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα για να χτιστούν νέα και κάπως έτσι ξεκινώντας από κορμούς δένδρων και σχεδίες φτάσαμε στο σημείο να κατασκευάζουμε μεγάλα πλοία ικανά να διανύουν τεράστιες αποστάσεις με ασφάλεια (Rawson & Tupper, 1976).

### 2.1 Αρχιμήδης

Τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. στην αρχαία Ελλάδα τα πλοία είχαν ήδη φτάσει σε ένα αρκετά προηγμένο επίπεδο που τους επέτρεπε να χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αγαθών και ανθρώπων, αλλά και για πολεμικούς σκοπούς. Το κριτήριο της ασφάλειάς τους ήταν η ευστάθεια, δηλαδή το ίδιο με σήμερα. Την εποχή εκείνη όμως δεν υπήρχαν τα μέσα για τον προσδιορισμό της ευστάθειας ενός πλοίου και έτσι οι άνθρωποι βασίζονταν σε μεθόδους παρατήρησης και σύγκρισης με όμοια πλοία. Ήταν ο Αρχιμήδης που ανέπτυξε τη θεωρία των υδροστατικών στοιχείων των σωμάτων βυθισμένων στο νερό, μια θεωρία που χρησιμοποιείται σχεδόν αυτούσια στα πλοία για τον προσδιορισμό της πλευστότητας και ευστάθειάς τους.



Εικόνα 1 Προτομή του Αρχιμήδη  
(Φουντουκίδου & Τζιώνα, 2013)



Εικόνα 2 «Παλίμψηστο του Αρχιμήδη» (Flood, 2011)

Το έργο του Αρχιμήδη με τίτλο «Περί των επιπλεόντων σωμάτων» αναφέρεται ως η πρώτη γραπτή αναφορά που πραγματεύεται τους νόμους της ισορροπίας σωμάτων, μερικώς ή εξ' ολοκλήρου βυθισμένα σε ρευστό, μελετώντας την αλληλεπίδραση του βάρους του σώματος με τη δύναμη της άντωσης που του ασκείται. Παρόλο που στο έργο αυτό εξετάζεται η ευστάθεια μόνο σωμάτων απλής γεωμετρίας, η σχέση αυτών των δύο δυνάμεων αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για τον υπολογισμό της ευστάθειας των πλοίων.

Στη ναυπηγική ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία δεν είναι άλλο από την Αρχή του Αρχιμήδη, που αποτελεί τη βασική αρχή της ευστάθειας ενός πλοίου. Σύμφωνα με αυτή, κάθε σώμα βυθισμένο σε ρευστό δέχεται μία ανωστική δύναμη (άντωση) ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζει.

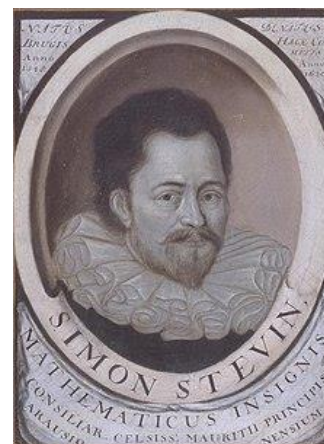
Ο Αρχιμήδης μπόρεσε να θέσει τα θεμέλια της υδροστατικής ισορροπίας επιπλεόντων σωμάτων και να ορίσει τις βασικές αρχές της ευστάθειας των πλοίων που πλαισιώνουν τη ναυπηγική μέχρι και σήμερα. Συνέβαλε στις ακόλουθες θεμελιώδεις ιδέες και μεθόδους που σχετίζονται με την υδροστατική των πλοίων:

- Όρισε τις προκύπτουσες δυνάμεις βαρύτητας και άνωσης (εκτόπισμα και άντωση) που ενεργούν σε ένα πλωτό σώμα και προσέφερε την αρχή ισορροπίας δυνάμεων δηλαδή ότι πρόκειται για ίσες δυνάμεις που δρουν στον ίδιο άξονα με αντίθετη φορά. (Αρχή του Αρχιμήδη).
- Επινόησε μεθόδους για τον υπολογισμό της επίδρασης της άντωσης και του βάρους που δρουν μέσω του κέντρου πλευστότητας και του κέντρου βάρους, τουλάχιστον για στερεά σώματα απλής γεωμετρίας, (Μέθοδος εξάντλησης, Μέθοδος Μηχανικών Θεωρημάτων, Εξομάλυνση Στοιχείων Συστήματος σε Σύνθετα Συστήματα).
- Από το αξίωμα των ροπών ισορροπίας ο Αρχιμήδης συνήγαγε ένα κριτήριο για την υδροστατική ευστάθεια εισάγοντας την έννοια των ροπών επαναφοράς (ή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς) με βάση το ζεύγος δυνάμεων άντωσης και βάρους.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε πλέον να έχουμε μία ποιοτική εικόνα ορισμένων χαρακτηριστικών ενός πλοίου προκειμένου να βελτιώσουμε τη διαδικασία της σχεδίασής του. (Nowacki, 2013).

## 2.2 Η Εξέλιξη της Υδροστατικής στην Ναυπηγική: Από τους Αρχαίους Έλληνες στους Πρωτοπόρους των Μεθόδων Ευστάθειας

Στα τέλη του 16ου αιώνα ο “Simon Stevin”, ίσως ο πρώτος που ασχολήθηκε με το θέμα της υδροστατικής και ο πρώτος που την εφάρμοσε στα πλοία, ήταν αυτός που διαμόρφωσε την έννοια της υδροστατικής πίεσης στο σύγγραμμά του με τίτλο “*The Elements of Hydrostatics*”, μία έννοια άγνωστη στα χρόνια του Αρχιμήδη. Στην προσπάθειά του να εξετάσει την ευστάθεια ενός πλοίου ο “Stevin” επιβεβαίωσε πως για να ισορροπήσουν οι δυνάμεις του βάρους και της άντωσης πρέπει να ασκούνται στην ίδια κατακόρυφη ευθεία που ενώνει το κέντρο άντωσης με το κέντρο βάρους. Ο “Stevin” κατέληξε στο συμπέρασμα πως για να είναι ένα σώμα ευσταθές, όταν αυτό επιπλέει σε ρευστό και χωρίς να υπάρχει στήριξη, πρέπει το κέντρο βάρους του να είναι πάντα σε ψηλότερο σημείο από το κέντρο άντωσης, κάτι το οποίο δεν είναι αναγκαία συνθήκη της ευστάθειας. Το λάθος αυτό συνέβη λόγω της παράληψης της μεταβολής του βυθισμένου όγκου όταν το πλοίο βρίσκεται υπό κλίση. Παρά το σφάλμα του ο “Stevin” λαμβάνει την αναγνώριση που του αξίζει ως ο θεμελιωτής της σύγχρονης υδροστατικής. (Leine & Wouw, 2010).



Εικόνα 3 Simon Stevin  
(Alberg , n.d.)

Τη σκυτάλη έπειτα έλαβαν ο “Galileo Galilei” όπου στο έργο του “*Discourse on Bodies in Water*” υποστήριξε τη θέση του Αρχιμήδη για τον προσδιορισμό της άντωσης έναντι της επικρατέστερης τότε θέσης του Αριστοτέλη, και ο “Christian Huygens” που επέκτεινε την ισορροπία επιπλεόντων σωμάτων σε ρευστά και σε άλλες γεωμετρικές μορφές, δεν μπόρεσε όμως να κάνει εφαρμογές στα πλοία καθώς δεν είχαν αναπτυχθεί ακόμα μοντέλα που να μπορούσαν να περιγράψουν την μορφή της γάστρας.

Το 18<sup>ο</sup> αιώνα, αφού είχαν αναπτυχθεί πλέον τα απαραίτητα μαθηματικά μοντέλα από τον Νεύτωνα, οι “Euler” και “Bouguer” μπόρεσαν επιτέλους να κάνουν το άλμα και να φέρουν τη ναυπηγική τέχνη σε ένα πρώιμο στάδιο της επιστήμης που είναι σήμερα. Ο “Bouguer” ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια του μετάκεντρου για μικρές κλίσεις και έθεσε ως κριτήριο ευστάθειας τη θέση του κέντρου βάρους που δεν έπρεπε να ξεπερνά σε ύψος το μετάκεντρο προκειμένου το πλοίο να θεωρείται ευσταθές. Ο “Euler” εξέτασε και αυτός πλοία περιστρέφοντάς τα σε μικρές γωνίες και διαπίστωσε πως το ζεύγος δυνάμεων του βάρους και



της άντωσης δημιουργούν μια ροπή. Όταν η ροπή αυτή είναι θετική τότε το πλοίο τείνει να επιστρέψει στην αρχική θέση ισορροπίας και το πλοίο θεωρείται ευσταθές.



Εικόνα 4 Leonhard Euler (Lim, 2018)



Εικόνα 5 Pierre Bouguer (Watts, 2023)

Οι δύο αυτές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της ευστάθειας έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα και ήταν τόσο αποτελεσματικές που εφαρμόζονται ως κριτήρια ευστάθειας μέχρι σήμερα. Χάρη στους υπολογισμούς αυτούς μπόρεσαν να υπολογιστούν και άλλα χαρακτηριστικά των υπό σχεδίαση πλοίων όπως η διαγωγή, το βύθισμα και οι καταστάσεις φόρτωσης.

Το Γαλλικό ναυτικό, αναγνωρίζοντας τις πρωτοποριακές μεθόδους των “Euler” και “Bouguer”, ήταν οι πρώτοι που έθεσαν ως βασικό κριτήριο της σχεδίασης νέων πλοίων τον υπολογισμό της ευστάθειας τους.

Τα ευρήματα των “Euler” και “Bouguer” έδωσαν τη δυνατότητα στους ναυπηγούς της εποχής να βρουν πρακτικές εφαρμογές στη σχεδίαση των πλοίων. Ο “Frederick Henrik Chapman” (1745-1807) σχεδίασε στην καριέρα του πάνω από 2000 γραμμές πλοίων (*lines plans*). Στα σχέδια του, με χρήση του κανόνα του “Simpson”, τον οποίο διδάχθηκε από τον ίδιο, υπολόγιζε μεγέθη όπως το εκτόπισμα και μετάκεντρο ως μέτρο ευστάθειας. Ο “Chapman” ήξερε να χειρίζεται τη γεωμετρία του πλοίου με τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να εξασφαλίζει καλύτερη ευστάθεια.

Την ίδια χρονική περίοδο ένας μαθηματικός και φυσικός με το όνομα “George Atwood”, μαζί με τον έμπειρο κατασκευαστή πλοίων “Vial de Clairbois”, παρατήρησαν πως η αρχική ευστάθεια, για μικρές κλίσεις, δεν αρκούσε για να εξασφαλίσει την ασφάλεια του πλοίου. Έτσι

μπόρεσαν να υπολογίσουν αριθμητικά την ευστάθεια των πλοίων σε μεγάλο εύρος κλίσεων και βυθισμάτων με κύριο κριτήριο το μοχλοβραχίονα επαναφοράς. (Nowacki, 2013).

### 2.3 Νομοθεσίες και Ευστάθεια σήμερα

Μετά την πλαισίωση του θεωρητικού υπόβαθρου της ευστάθειας άρχισε να φαίνεται και η ανάγκη του προσδιορισμού εθνικών αλλά και διεθνών κανονισμών που θα εξασφάλιζαν την προστασία από ατυχήματα. Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, στο Ηνωμένο Βασίλειο και στην Γερμανία, είχαν ήδη ξεκινήσει να εφαρμόζονται τέτοιες νομοθεσίες, όπως ένα πρώιμο στάδιο της γραμμής φόρτωσης. Σημείο καμπής αποτέλεσε το τραγικό ατύχημα του Τιτανικού μετά το οποίο καλέστηκε το πρώτο συνέδριο για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα, γνωστό σε όλους ως “*SOLAS*”.

Οι πρώτοι κανονισμοί που αφορούν την ευστάθεια ήρθαν στο προσκήνιο με την αναθεωρημένη “*SOLAS*” 48 και συγκεκριμένα αφορούσε την ευστάθεια μετά από βλάβη. Τα κριτήρια της άθικτης ευστάθειας ήρθαν πολύ αργότερα με την “*SOLAS*” 60 και “*SOLAS*” 74. Από τότε, παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στους διεθνείς κανονισμούς, οδηγώντας στην ανάπτυξη προληπτικών κανόνων ασφάλειας και ευστάθειας βασισμένων σε επιστημονικές εξελίξεις.

(Francescutto, Francescutto, & Papanikolaou, 2011)

Με την πάροδο των χρόνων και όσο η τεχνολογία συναντούσε ραγδαία ανάπτυξη ο κλάδος της ναυτιλίας γνώρισε μεγάλη πρόοδο. Μεγάλα και στιβαρά πλοία άρχισαν να χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ορυκτών καυσίμων. Παρά τις νομοθεσίες που εφαρμόστηκαν, τα ατυχήματα στη θάλασσα δεν έπαψαν να υπάρχουν. Μοιραία αποδείχτηκαν τα ατυχήματα των δεξαμενόπλοιων “*oil tankers*” προκαλώντας τεράστιες οικολογικές καταστροφές λόγω εκχύλισης πετρελαίου. Παρ’ όλο που η ρύπανση της θάλασσας από προϊόντα πετρελαίου είχε παρατηρηθεί ως πρόβλημα από το 1954 (“*International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil*”), ήταν μετά το ατύχημα του πετρελαιοφόρου “*Torrey Canyon*” το 1967 που άρχισε να αντιμετωπίζεται η ρύπανση της ναυτιλίας ως ξεχωριστό πρόβλημα. Το ατύχημα αυτό οδήγησε στην δημιουργία της “*MARPOL*”. Πρόκειται για διεθνείς κανονισμούς που έχουν ως στόχο την πρόληψη της ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων και του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως νέες μορφές γάστρας (“*double-hull*”) και υπολογισμούς ευστάθειας που συμπληρώνουν αυτούς της “*SOLAS*”. (Orszulik, 2016)

## Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο

Η θεωρία της ναυπηγικής, και πιο συγκεκριμένα της ευστάθειας των πλοίων, πέρασε από πολλά στάδια ανά τους αιώνες. Στις μέρες μας έχουμε αναπτύξει μοντέλα υπολογισμών που μας επιτρέπουν να περιγράψουμε μαθηματικά με μεγάλη ακρίβεια, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός πλοίου, τις καταστάσεις ισορροπίας του αλλά και την ίδια την ευστάθειά του. Στο κεφάλαιο αυτό θα ορίσουμε αυτές τις βασικές έννοιες και θα εξηγήσουμε πως αυτές σχετίζονται μεταξύ τους.

### 3.1 Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Η γάστρα ενός πλοίου αποτελεί μια περίπλοκη τρισδιάστατη κατασκευή. Με μερικές εξαιρέσεις δεν είναι δυνατό να περιγράφουν πλήρως από μια εξίσωση. Για το λόγο αυτό οι ναυπηγοί έχουν δώσει μεγάλη έμφαση στην περιγραφή της μορφής της γάστρας μέσω σχεδίων, τα οποία μέχρι πρότινος σχεδιάζονταν στο χέρι.

#### 3.1.1 Ορισμοί και κύριες διαστάσεις

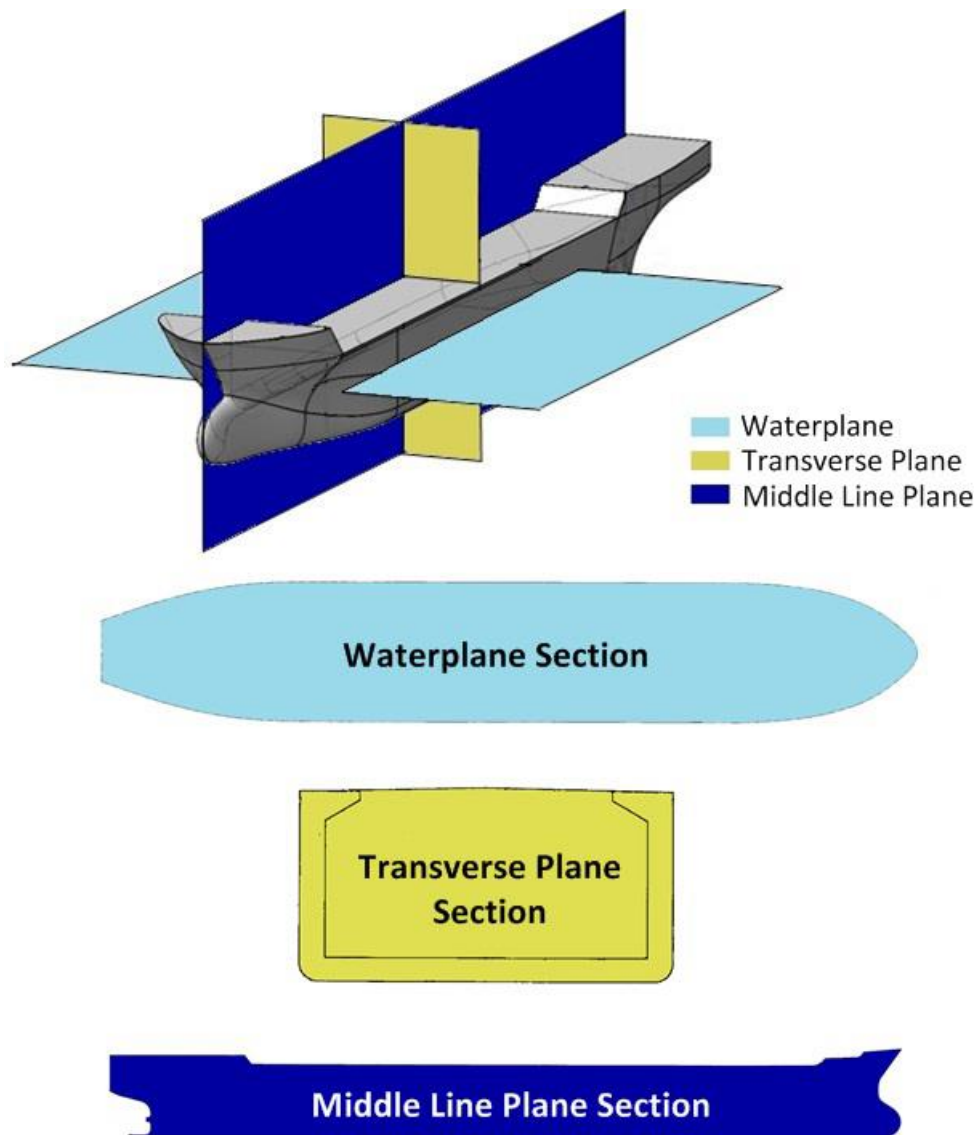
Για να μπορέσουμε να απλοποιήσουμε αυτή την πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν τα πλοία στην μορφή τους έχουμε αναπτύξει ορισμένες έννοιες έτσι ώστε να μπορούμε να αναφερόμαστε με ευκολία στο ζητούμενο σημείο.

#### **Επίπεδα αναφοράς**

Ένα πλοίο χαρακτηρίζεται από τρία βασικά επίπεδα αναφοράς.

- Το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας το οποίο θεωρείται βασικό επίπεδο αναφοράς, γνωστό και ως **“center line”** ή **“CL”** (*middle line plane section*).
- Το επίπεδο που είναι κάθετο στο επίπεδο συμμετρίας ή **ίσαλος επιφάνεια** (*“waterplane section”*).
- Το επίπεδο το οποίο είναι κάθετο τόσο στο επίπεδο αναφοράς όσο και στο επίπεδο ισάλων ονομάζεται **εγκάρσιο επίπεδο** (*“transverse plane section”*) και μία τέτοια τομή στα περισσότερα πλοία παρουσιάζει συμμετρία ως προς την **“CL”**.

(Rawson & Tupper, 1976)

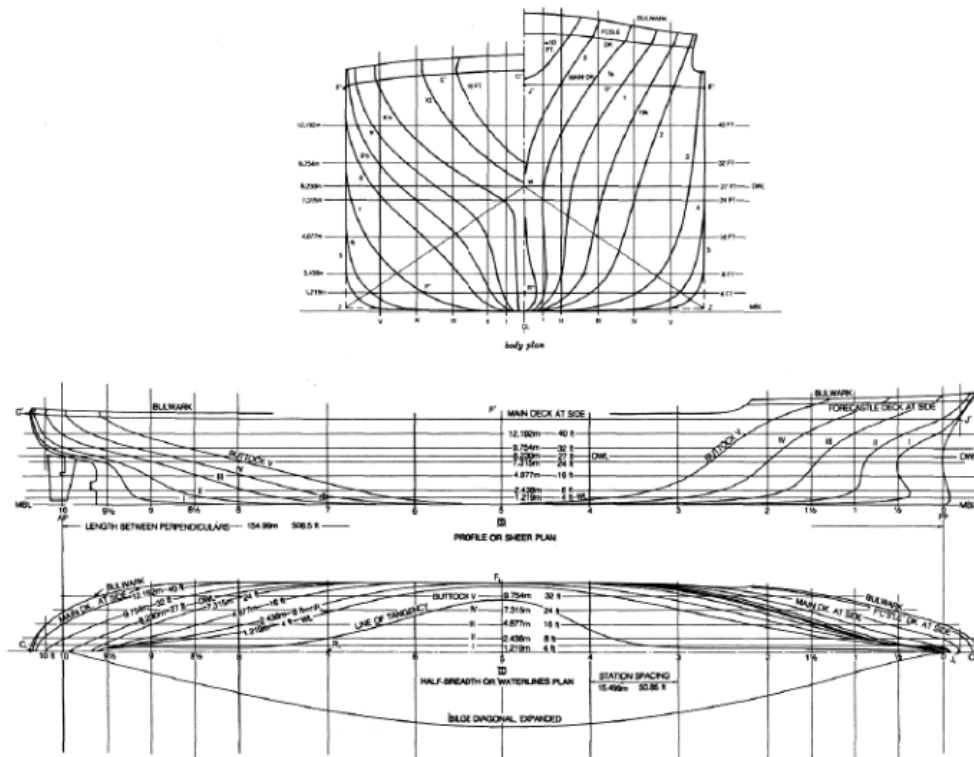


Εικόνα 6 Βασικά επίπεδα αναφοράς ενός πλοίου (Kairis, 2012)

### Σχέδια Ναυπηγικών Γραμμών (“*Lines Plan*”)

Το σχέδιο γραμμών ενός πλοίου είναι ένα σύνολο γραμμών που δείχνουν την εξωτερική μορφή της γάστρας που προβάλλεται σε τρία επίπεδα κάθετα μεταξύ τους. Το σχέδιο αυτό αποτελείται από τρεις όψεις (Babicz, 2015):

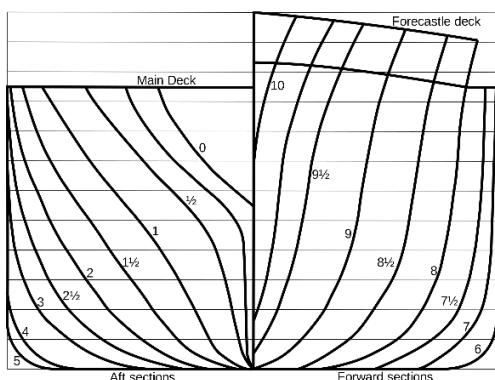
- Μια ομάδα εγκάρσιων τομών ή σχέδιο νομέων (“*body plan*”)
- Την πλάγια όψη ή σχέδιο διαμηκών τομών (“*sheer plan*”)
- Την κάτοψη ή σχέδιο ισάλων (“*half-breadth plan*”)



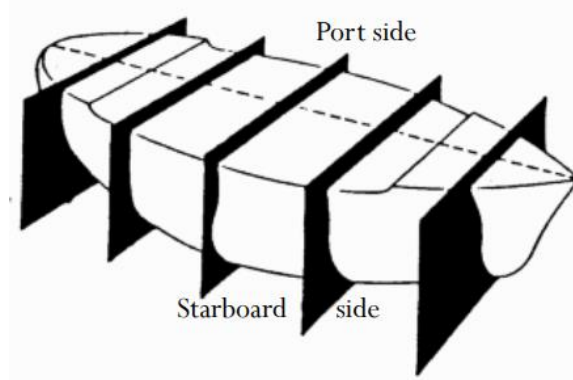
Εικόνα 7 Σχέδιο ναυπηγικών γραμμών (Lewis, 1988)

### Σχέδιο νομέων (“Body plan”)

Το σχέδιο νομέων αποτελείται από εγκάρσιες τομές (Εικόνα 2.1.3) οι οποίες τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη. Σε τέτοια σχέδια όταν το πλοίο είναι συμμετρικό ως προς την “centre line” τότε κατά σύμβαση σχεδιάζουμε μόνο τη μισή τομή (ημιτομές) και χωρίζουμε το σχέδιο στα δύο τοποθετώντας τις προωαίες ημιτομές στα δεξιά και τις πρυμναίες στα αριστερά όπως φαίνεται στην Εικόνα 7 (Rawson & Tupper, 1976).



Εικόνα 8 Εγκάρσιες τομές (Gillmer, 1982)

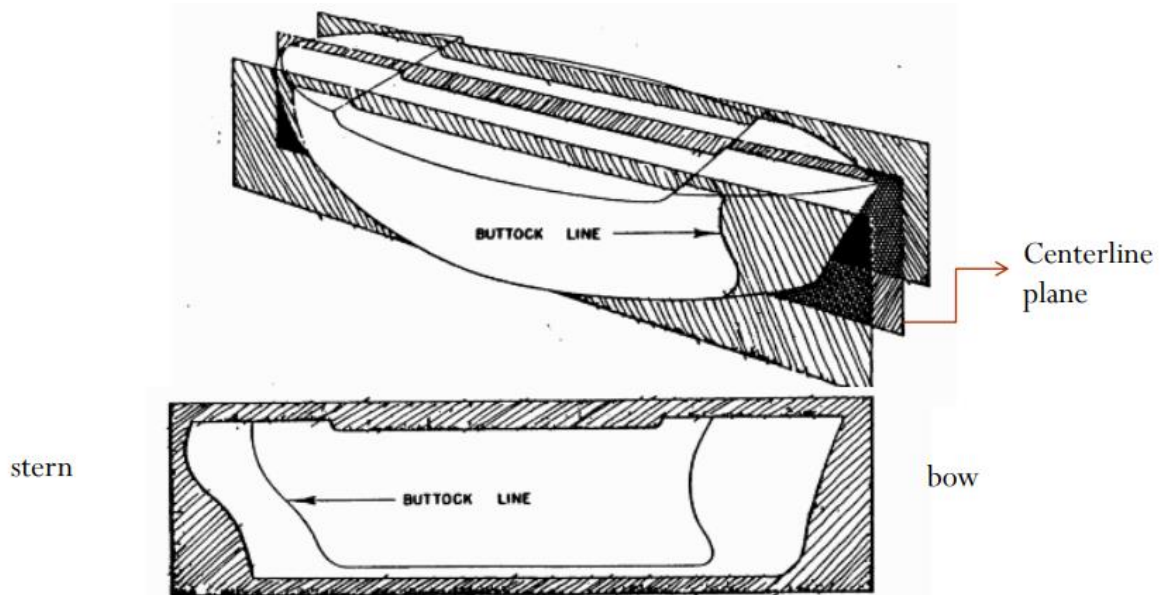


Εικόνα 9 Body plan (Gillmer, 1982)



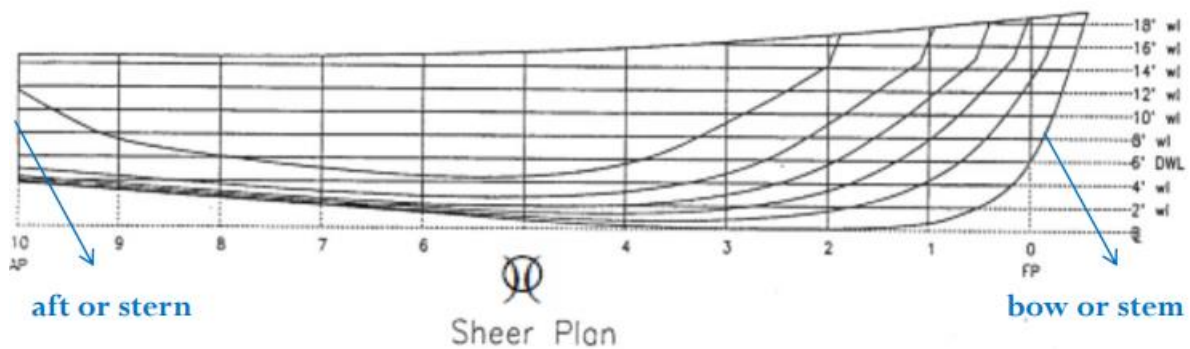
### Σχέδιο διαμήκων τομών (“sheer plan”)

Το σχέδιο αυτό αποτελείται από τομές οι οποίες είναι παράλληλες ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας (“center line”).



Εικόνα 10 Τομές παράλληλες στην CL (Gillmer, 1982)

Στο σχέδιο διαμήκων τομών μπορούμε να διακρίνουμε ευκολά την αλλαγή της καμπυλότητας της γάστρας όσο απομακρυνόμαστε από το βασικό επίπεδο αναφοράς.



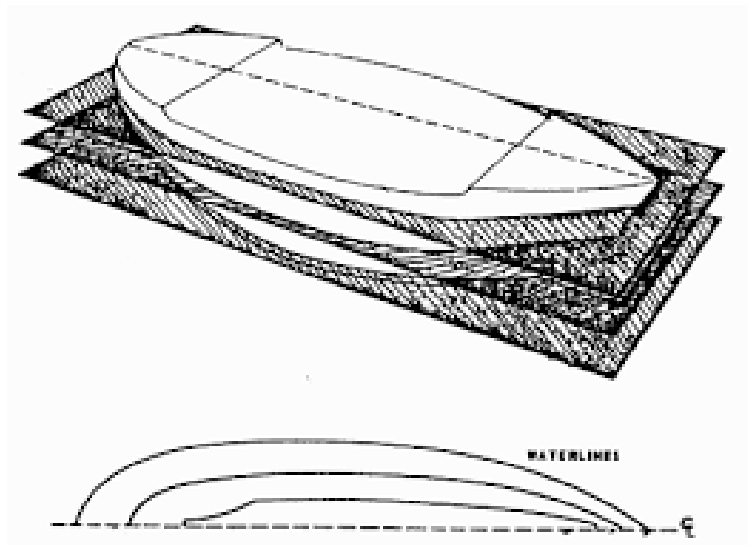
Εικόνα 11 Sheer plan (Gillmer, 1982)

(Rawson & Tupper, 1976)

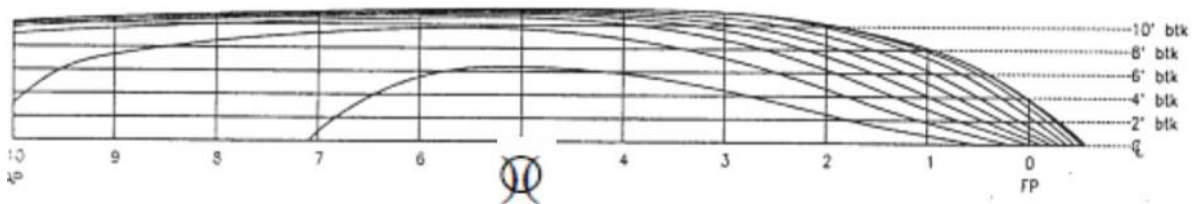
### Σχέδιο ισάλων (“Half-breadth plan”)

Θεωρώντας τομές παράλληλες στο επίπεδο ισάλων παράγουμε το σχέδιο ισάλων, το οποίο συνήθως παρουσιάζει συμμετρία ως προς την “CL”. Τα επίπεδα των ισάλων δεν είναι πάντα

παράλληλα με την τρόπιδα. Με το σχέδιο αυτό μπορούμε να περιγράψουμε την καθ' ύψος μεταβολή της καμπυλότητας της γάστρας (Rawson & Tupper, 1976).



Εικόνα 12 Τομές παράλληλες ως προς την επιφάνεια της ισάλου (Gillmer, 1982)



Εικόνα 13 Half-breadth plan (Gillmer, 1982)

### Βασική Γραμμή (“*Base line*”)

Σύμφωνα με το “ISO 7462:1985”, η βασική γραμμή είναι μια γραμμή στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας της γάστρας παράλληλη στο επίπεδο ισάλων, που καθορίζει το ύψος των σημείων της γάστρας και τον κύριο άξονα αναφοράς του συστήματος και συμβολίζεται ως “*BL*”. Ιδανικά δεν υπάρχει σημείο το οποίο να εκτείνεται κάτω από τη γραμμή αυτή.

### Ίσαλος σχεδίασης (“*Design waterline*”)

Ως ίσαλο σχεδίασης θεωρούμε την ίσαλο η οποία βρίσκεται στο ύψος του μέγιστου βυθίσματος που θα φτάσει το πλοίο σε πλήρη φόρτωση, σε θαλασσινό νερό, κατά τη θερινή περίοδο και συμβολίζεται ως “*DWL*” (“*Design Waterline*”). (Biran & López-Pulido, 2014)

### Πρωραία και πρυμναία κάθετος

Πρυμναία κάθετος ή “*AP*” (“*After Perpendicular*”) είναι γραμμή που σχεδιάζεται κάθετα στην ίσαλο γραμμή στην πρυμναία πλευρά του πλοίου και συνήθως περνάει από τον άξονα του πηδαλίου.

Αντίστοιχα η **πρωραία κάθετος** ή **“FP”** (*“Fore Perpendicular”*) είναι και αυτή γραμμή που σχεδιάζεται κάθετα στην ίσαλο γραμμή και βρίσκεται στο σημείο τομής της πλώρης του πλοίου με την ίσαλο σχεδίασης.

(Biran & López-Pulido, 2014)

### Μήκη του πλοίου

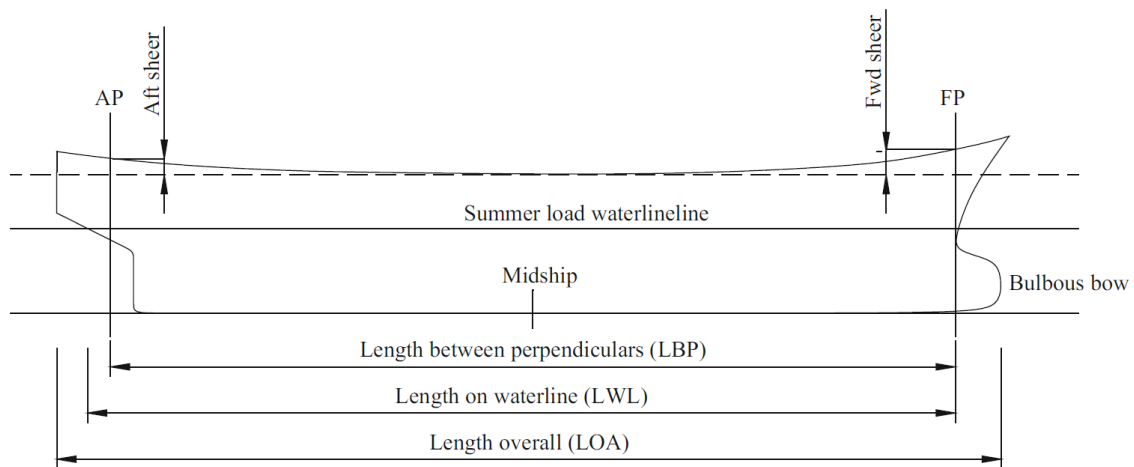
Τρία είναι τα μήκη που χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε ένα πλοίο.

Το **ολικό μήκος** ή **“Loa”** (*“length overall”*) είναι η απόσταση μεταξύ του ακροπρωαίου και ακροπρυμναίου σημείου ενός πλοίου, μετρούμενο με διεύθυνση παράλληλη στην ίσαλο γραμμή. Το ακροπρωαίο σημείο μπορεί να είναι είτε στην άκρη της πλώρης είτε στο ακραίο σημείο του βολβού.

Το **μήκος μεταξύ καθέτων** ή **“Lbp”** (ή *“Lpp”*) (*length between perpendiculars*) είναι η απόσταση της πρωραίας καθέτου από την πρυμναία.

Το **μήκος ισάλου** ή **B “Lwl”** (*length waterline*) είναι το μήκος της ισάλου που έχει το πλοίο τη δεδομένη στιγμή. Αν δεν αναφέρεται διαφορετικά, θεωρούμε το μήκος της ισάλου σχεδίασης.

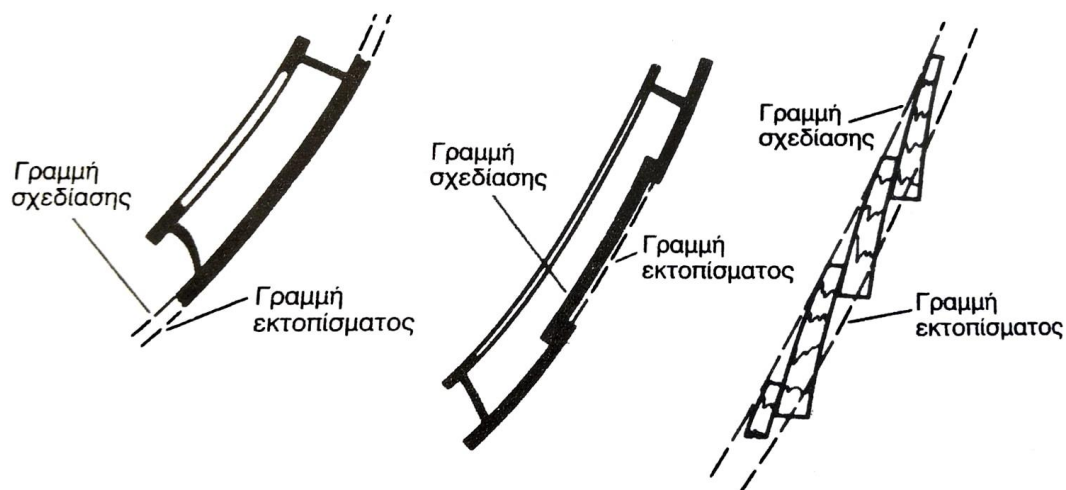
(Biran & López-Pulido, 2014)



Εικόνα 14 Μήκη του πλοίου (Biran & López-Pulido, 2014)

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να οριστεί η διαφορά των εννοιών «γραμμή σχεδίασης» και «γραμμή εκτοπίσματος» (*moulded dimensions, displacement lines*). Σύμφωνα με τους (Rawson & Tupper, 1976) οι διαστάσεις των γραμμών εκτοπίσματος διαφέρουν από αυτές τις σχεδίασης κατά το πάχος των ελασμάτων όπως ορίζεται στην Εικόνα 15.





Εικόνα 15 Παραδείγματα γραμμών σχεδίασης και εκτοπίσματος (Rawson & Tupper, 1976)

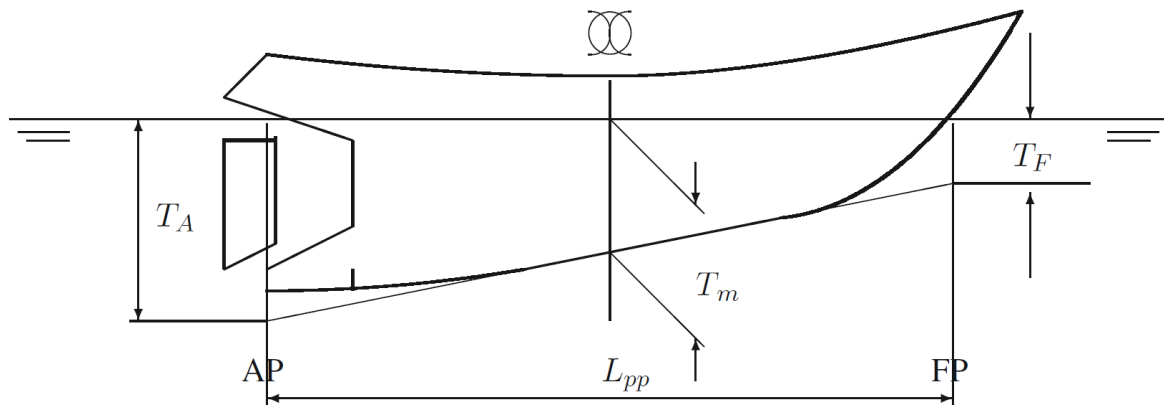
### Μέση τομή

Το μέσο σημείο του μήκους μεταξύ καθέτων θεωρείται **μέσον του πλοίου** (*amidship, midship*) και η εγκάρσια τομή στο σημείο αυτό ονομάζεται **μέση τομή** (*midship section*). Δεν είναι απαραίτητα η μεγαλύτερη εγκάρσια τομή του πλοίου. Αν δεν οριστεί διαφορετικά το **πλάτος** ή **B** (*beam, breadth*) ορίζεται στο μέσον του πλοίου. Αυτό το πλάτος είναι συνήθως το **πλάτος σχεδίασης** (*moulded beam, breadth*), δηλαδή η απόσταση μεταξύ του εσωτερικού σημείου των ελασμάτων των δύο πλευρών της γάστρας στο μεγαλύτερο πλάτος στην επιλεγμένη τομή. (Tupper, 2004)

**Κοίλο** του πλοίου ή **D** (*depth*) είναι το ύψος από τη βασική γραμμή ως το κατάστρωμα. Αν το πλοίο διαθέτει πολλά καταστρώματα τότε πρέπει να ορίσουμε σε ποιο απ' όλα γίνεται η μέτρηση. (Biran & López-Pulido, 2014)

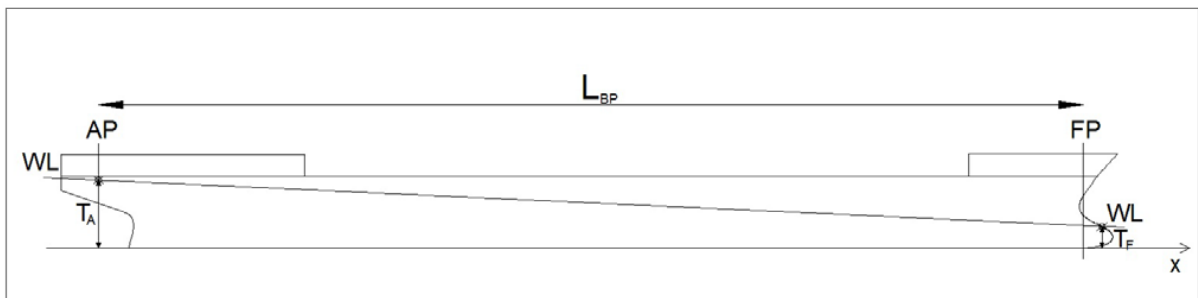
**Βύθισμα** ή **T** (*draught*) είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ της βασικής γραμμής και της ισάλο σχεδίασης, και συνήθως ορίζεται στο μέσον του πλοίου. Πολύ συχνά, είτε λόγω φόρτωσης είτε από την κατασκευή του, ένα πλοίο δεν είναι ισοβύθιστο, δηλαδή το βύθισμά του δεν είναι το ίδιο στην πλώρη και την πρύμνη. Για το λόγο αυτό ορίζουμε μια γραμμή η οποία εφάπτεται στην καρίνα (*keel*) του πλοίου και την επεκτείνουμε πλώρα και πρίμα όπως φαίνεται στην εικόνα 16. Η απόσταση μεταξύ της γραμμής αυτής και του σημείου τομής της πρυμναίας καθέτου με την ίσαλο γραμμή λέγεται **πρυμναίο βύθισμα** (*aft draught*) και συμβολίζεται ως **T<sub>A</sub>**. Αντίστοιχα η απόσταση μεταξύ της γραμμής αυτής και του σημείου τομής τις προωρίας καθέτου με την ίσαλο γραμμή λέγεται **προωραίο βύθισμα** (*fore draught*) και συμβολίζεται με

$T_F$ . Έτσι το βύθισμα που μετράται στο μέσον του πλοίου λέγεται **μέσο βύθισμα** (*midships draught*) και συμβολίζεται ως  $T_M$ . (Biran & López-Pulido, 2014)



Εικόνα 16 Παράδειγμα μη παράλληλης βύθισης (Biran & López-Pulido, 2014)

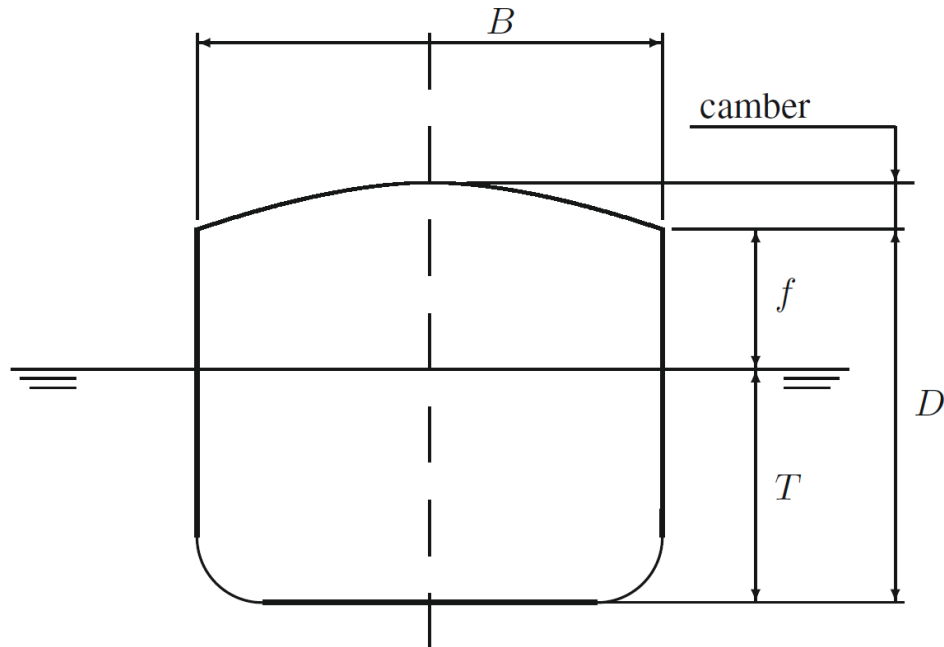
Όταν το πλοίο δεν είναι ισοβύθιστο τότε λέμε ότι παρουσιάζει **διαγωγή** (*trim*) και δηλώνει τη διαφορά μεταξύ του προραίου και του πρυμναίου βυθίσματος. Όταν  $T_A > T_B$  τότε η διαγωγή χαρακτηρίζεται ως **έμπρυμνη**, ενώ όταν  $T_A < T_B$  η διαγωγή ονομάζεται **έμπρωρη**. Συνήθως θετική θεωρείται η έμπρυμνη διαγωγή. (Τζαμπίρας, 2015)



Εικόνα 17 Έμπρωρη διαγωγή πλοίου (Τζαμπίρας, 2015)

Το **ύψος εξάλων** (*freeboard*) είναι το μέγεθος που προκύπτει αν από το ύψος του κοίλου αφαιρέσουμε το βύθισμα, μετρώντας τα και τα δύο από το πλάι. Είναι δηλαδή η απόσταση από

την ίσαλο γραμμή μέχρι τη γραμμή του καταστρώματος, λαμβάνοντας υπόψιν και το πάχος του ελάσματος του καταστρώματος. (Rawson & Tupper, 1976)



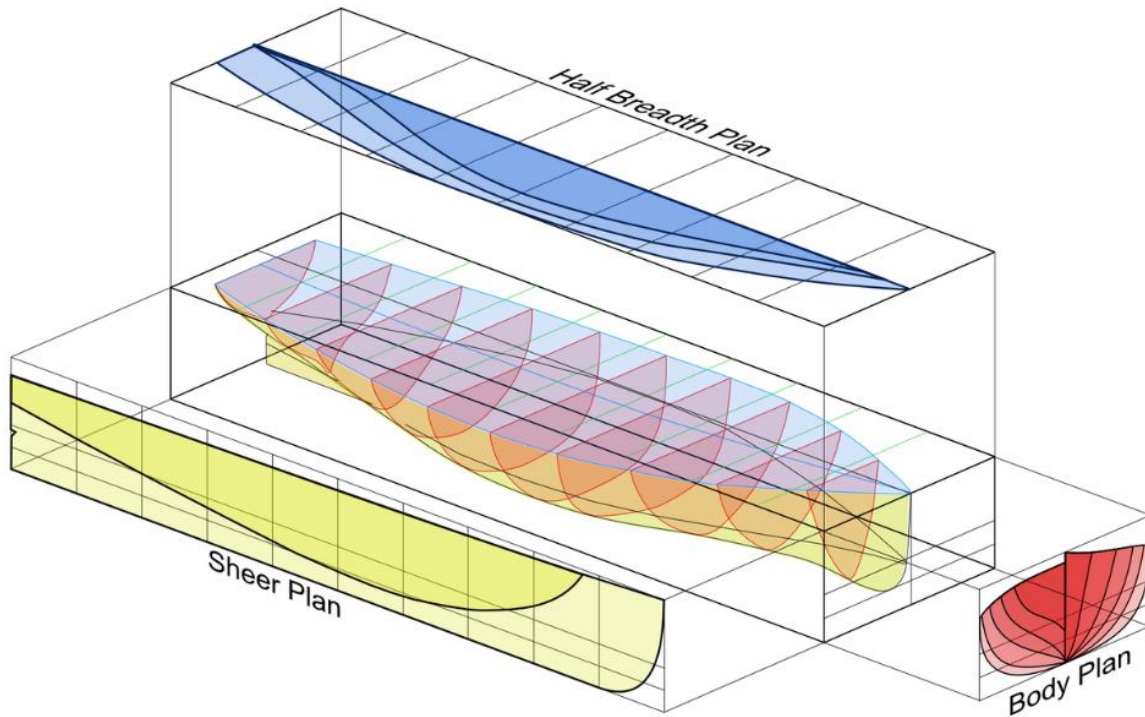
Εικόνα 18 Βασικά χαρακτηριστικά μέσης τομής (Biran & López-Pulido, 2014)

### 3.1.1.1 Εφαρμογές Σχεδίου Ναυπηγικών Γραμμών

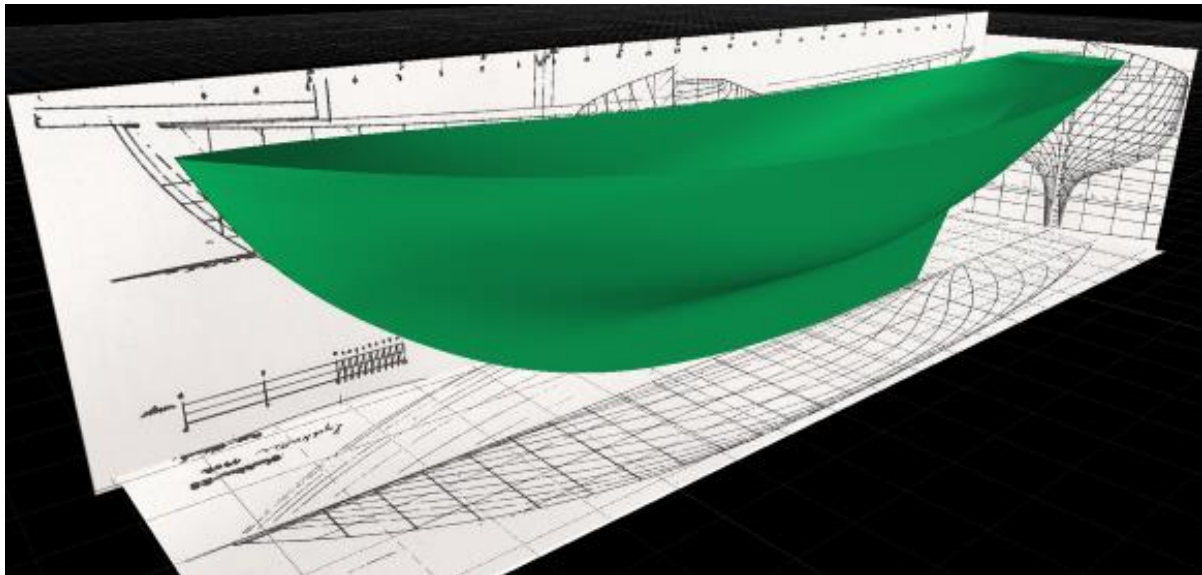
Ένα σχέδιο ναυπηγικών γραμμών αποτελεί τη βάση για την σχεδίαση ενός πλοίου προσφέροντας στους κατασκευαστές και μελετητές τα ακόλουθα:

- Υπολογισμό υδροστατικών στοιχείων: παραγωγή υδροστατικού διαγράμματος και καμπυλών ευστάθειας.
- Κατασκευή μοντέλου υπό κλίμακα για μελέτη αντίστασης και ναυσιπλοΐας σε δεξαμενές.
- Παραγωγή σχεδίων τα οποία εξαρτώνται άμεσα από την γεωμετρία της γάστρας.
- Παραγωγή του σχεδίου *shell expansion*.

Το σχέδιο γραμμών ενός πλοίου αποτελεί επίσης μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους τρισδιάστατης αναπαράστασής του χρησιμοποιώντας συστήματα Η/Υ. Ψηφιοποιώντας τις γραμμές σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα μπορεί κανείς να αναπαράγει τη μορφή της γάστρας, όπως φαίνεται στην εικόνα 19, και στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων, να εκτελέσει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς για την ευστάθεια, την αντοχή, την αντίσταση.



Εικόνα 19 Κατανομή σχεδίου ναυπηγικών γραμμών σε τρισδιάστατο περιβάλλον (Wikimedia Commons, n.d.)



Εικόνα 20 Τρισδιάστατη αναπαράσταση γάστρας με χρήση σχεδίου ναυπηγικών γραμμών (PolyCAD, n.d.)

### 3.1.2 Χαρακτηριστικά Γάστρας

#### 3.1.2.1 Όγκος εκτοπίσματος $\nabla(m^3)$

Με τον όρο **όγκος εκτοπίσματος** ή  $\nabla$  αναφερόμαστε στον συνολικό όγκο του ρευστού που εκτοπίζεται από ένα πλοίο. (Rawson & Tupper, 1976)

#### 3.1.2.2 Συντελεστές μορφής γάστρας

Προκειμένου να μπορέσουμε να ομαδοποιήσουμε τα πλοία, ανάλογα με την πληρότητα της γάστρας, έχουν αναπτυχθεί ορισμένοι αδιάστατοι συντελεστές που εξυπηρετούν το σκοπό αυτό.

Ο **συντελεστής γάστρας** ή  $C_B$  (*block coefficient*) είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος  $\nabla$  ως προς τον όγκο του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου που προκύπτει από το γινόμενο του μήκους, του πλάτους, και του βυθίσματος. (Biran & López-Pulido, 2014)

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT}$$

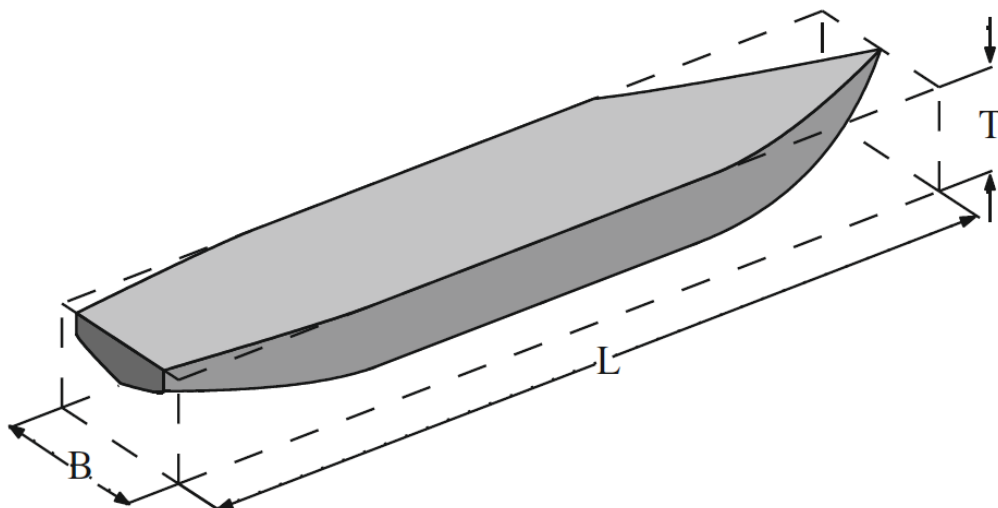
(1)

Όπου:

$L$ = μήκος μεταξύ καθέτων

$B$ = μέγιστο πλάτος

$T$ = βύθισμα σχεδίασης



Εικόνα 21 Συντελεστής γάστρας (Biran & López-Pulido, 2014)

Ο **συντελεστής μέσης τομής** ή  $C_M$  (*midship coefficient*) προκύπτει από το λόγο του **εμβαδού επιφανείας της μέσης τομής** ή  $A_M$  προς το εμβαδό του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου του

οποίου οι πλευρές είναι ίσες με το μέγιστο πλάτος και το βύθισμα σχεδίασης του πλοίου. (Rawson & Tupper, 1976)

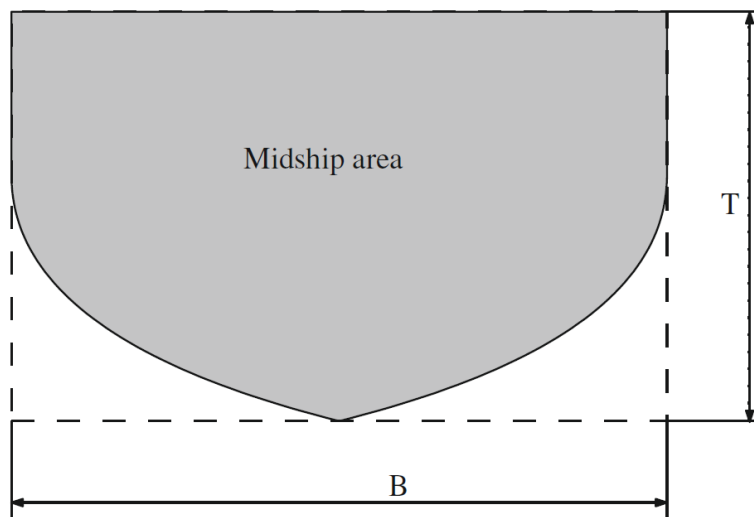
$$C_M = \frac{A_M}{BT} \quad (2)$$

Όπου:

$A_M$ = εμβαδό επιφανείας μέσης τομής (Εικόνα 22)

$B$ = μέγιστο πλάτος

$T$ = βύθισμα σχεδίασης



Εικόνα 22 Συντελεστής μέσης τομής (Biran & López-Pulido, 2014)

Ο **συντελεστής πληρότητας επιφανείας ισάλου** ή  $C_{WP}$  (*waterplane coefficient*) είναι ο λόγος της επιφάνειας που προκύπτει από το γινόμενο του μήκους ισάλου επί του πλάτους του πλοίου, προς το **εμβαδό επιφανείας της ισάλου** ή  $A_W$ . (Rawson & Tupper, 1976)

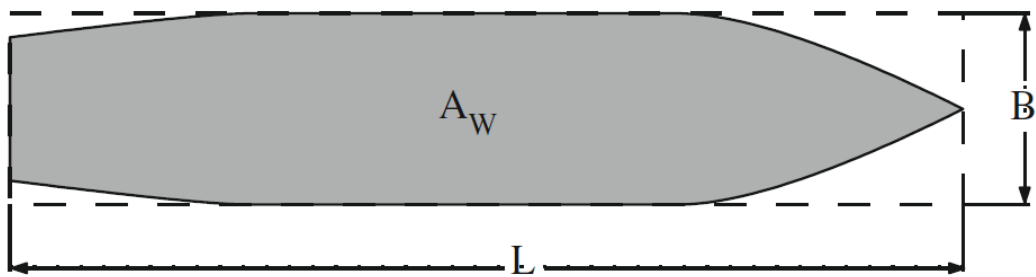
$$C_{WP} = \frac{A_W}{L_{wl}B} \quad (3)$$

Όπου:

$A_W$ = εμβαδό επιφανείας της ισάλου (Εικόνα 23)

$L_{wl}$ = μήκος μεταξύ καθέτων

$B$ = μέγιστο πλάτος



Εικόνα 23 Συντελεστής πληρότητας επιφανείας ισάλου (Biran & López-Pulido, 2014)

Το κέντρο της επιφάνειας αυτής ονομάζεται **διάμηκες κέντρο πλευστότητας** ή **LCF** (*longitudinal centre of loatation*) και το μετράμε είτε από την πρυμνέα κάθετο είτε από τη μέση τομή. (Misra, 2016)

Ο **πρισματικός συντελεστής** ή  **$C_P$**  (*prismatic coefficient*) είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς το γινόμενο του εμβαδού επιφανείας μέσης τομής και του μήκους μεταξύ καθέτων. (Rawson & Tupper, 1976)

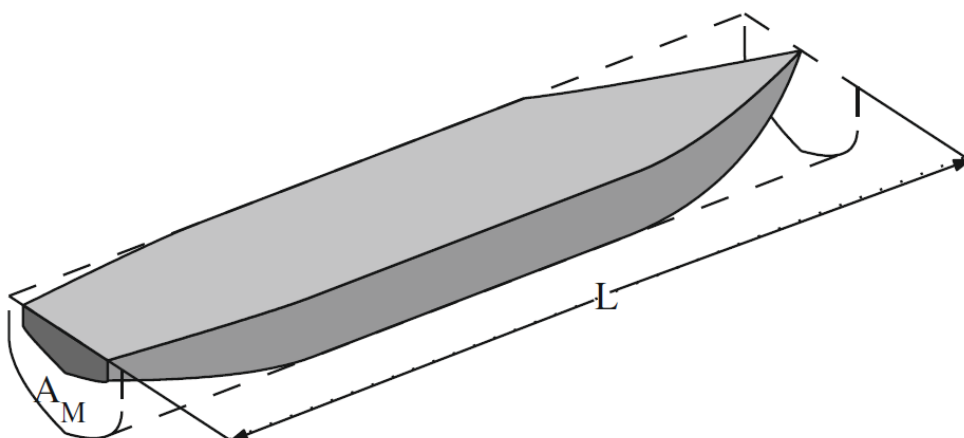
$$C_P = \frac{\nabla}{A_W L_{bp}} \quad (4)$$

Όπου:

$\nabla$ = όγκος εκτοπίσματος

$A_W$ = εμβαδό επιφανείας της ισάλου

$L_{bp}$ = μήκος μεταξύ καθέτων



Εικόνα 24 Πρισματικός συντελεστής (Biran & López-Pulido, 2014)

Ο κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής ή  $C_{VP}$  (*Vertical Prismatic Coefficient*) είναι ο λόγος του όγκου εκτοπίσματος προς το γινόμενο του εμβαδού επιφανείας της ισάλου επί το βύθισμα του πλοίου. (Rawson & Tupper, 1976)

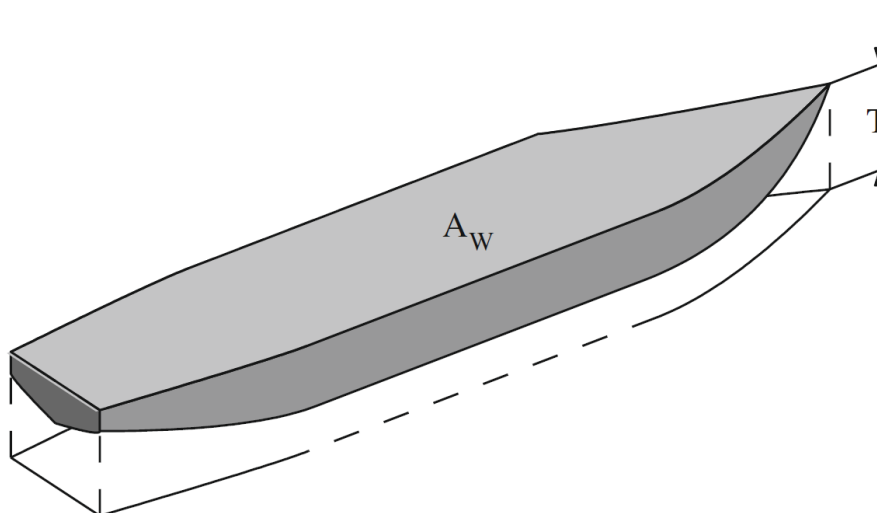
$$C_{VP} = \frac{\nabla}{A_W T} \quad (5)$$

Όπου:

$\nabla$ = όγκος εκτοπίσματος

$A_W$ = εμβαδό επιφανείας της ισάλου

$T$ = βύθισμα σχεδίασης



Εικόνα 25 Κατακόρυφος πρισματικός συντελεστής (Biran & López-Pulido, 2014)

## 3.2 Υδροστατική πλοίου

### 3.2.1 Εκτόπισμα και βάρη

Σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη, ένα επιπλέον σώμα το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας εκτοπίζει το βάρος του σε νερό. Επομένως ο όγκος της γάστρας κάτω από την ίσαλο γραμμή εκτοπίζει έναν όγκο ρευστού, το βάρος του οποίου ισούται με το βάρος του πλοίου για τη δεδομένη φόρτωση. Αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται **εκτόπισμα** ή  $\Delta$  (displacement) του πλοίου, μετράται σε τόνους (*tons*) και μπορεί να υπολογιστεί



πολλαπλασιάζοντας τον όγκο εκτοπίσματος με το ειδικό βάρος του εκάστοτε ρευστού στο οποίο επιπλέει το πλοίο.

Με τον όρο **άφορτο πλοίο** (*lightship*) νοείται το βάρος ενός άδειου πλοίου, δηλαδή το βάρος της γάστρας, της υπερκατασκευής και των μηχανημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ρευστών που απαιτούνται για τη λειτουργία τους.

Ως **νεκρό βάρος** ή *DWT* (*deadweight*) ορίζεται το άθροισμα των βαρών του πληρώματος, του φορτίου, των επιβατών, του περιεχομένου των δεξαμενών και όλων των προμηθειών που χρειάζεται ένα πλοίο, δηλαδή το βάρος που ένα πλοίο μεταφέρει. (Tupper, 2004)

### 3.2.2 Στατική ισορροπία (Static equilibrium)

Ένα σώμα το οποίο επιπλέει σε ρευστό ασκεί μια δύναμη με φορά προς τα κάτω λόγω της βαρύτητας. Αν το σώμα έχει μάζα  $m$ , τότε αυτή η δύναμη ισούται με  $mg$  και είναι γνωστή ως βάρος του σώματος. Εφόσον το σώμα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας θα πρέπει να ασκείται σε αυτό μια δύναμη ίση και αντίθετη του βάρους του. Η δύναμη αυτή ονομάζεται **άντωση** ή  $F_B$  (*buoyancy-buoyant force*), είναι το άθροισμα των στοιχειωδών υδροστατικών πιέσεων που ασκούνται καθ' όλη τη βυθισμένη επιφάνεια του σώματος και ορίζεται ως:

$$F_B = \rho g \nabla \tag{6}$$

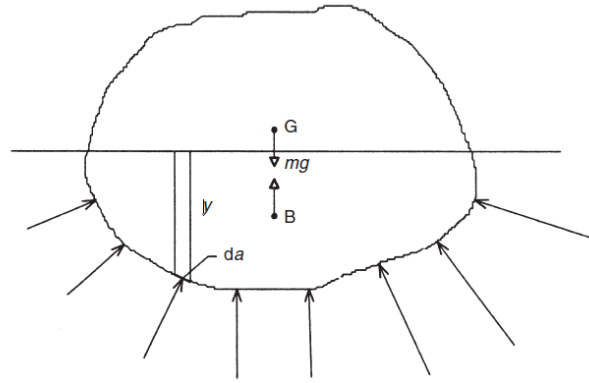
Όπου:

$\rho$  = η πυκνότητα του ρευστού στο οποίο επιπλέει το πλοίο

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας

$\nabla$  = ο όγκος εκτοπίσματος

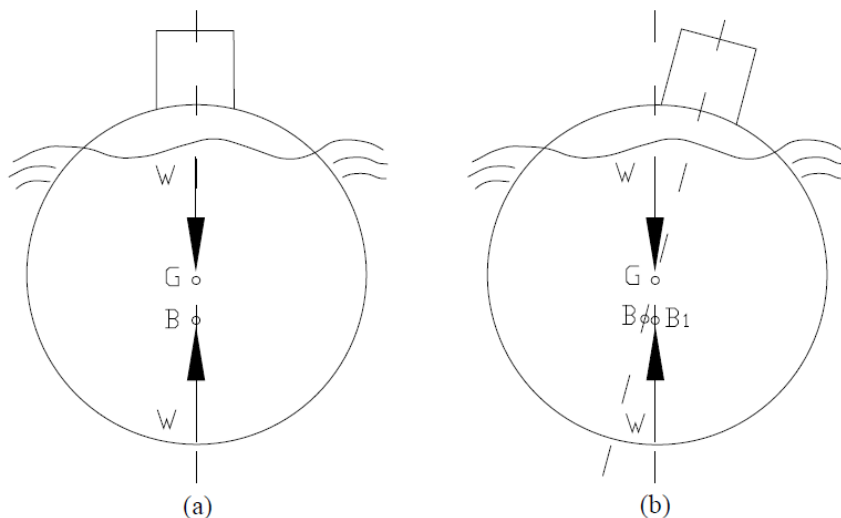
Το βάρος του σώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι ασκείται σε ένα σημείο γνωστό ως **κέντρο μάζας** ή **κέντρο βάρους**  $G$  (*center of gravity, CG*). Αντίστοιχα η άντωση θεωρείται ότι ασκείται στο σημείο  $B$  που ονομάζεται **κέντρο άντωσης** (*center of buoyancy, CB*). (Tupper, 2004)



Εικόνα 26 Υδροστατική πίεση (Tupper, 2004)

Σε μία τρισδιάστατη κατασκευή, όπως είναι το πλοίο, τα κέντρα αυτά πρέπει να ορίζονται με τρεις συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες αυτές διακρίνονται σε **διάμηκες**, **κατακόρυφο** και **εγκάρσιο κέντρο βάρους**, τα οποία συμβολίζονται ως **LCG**, **VCG** και **TCG** αντίστοιχα (Rawson & Tupper, 1976).

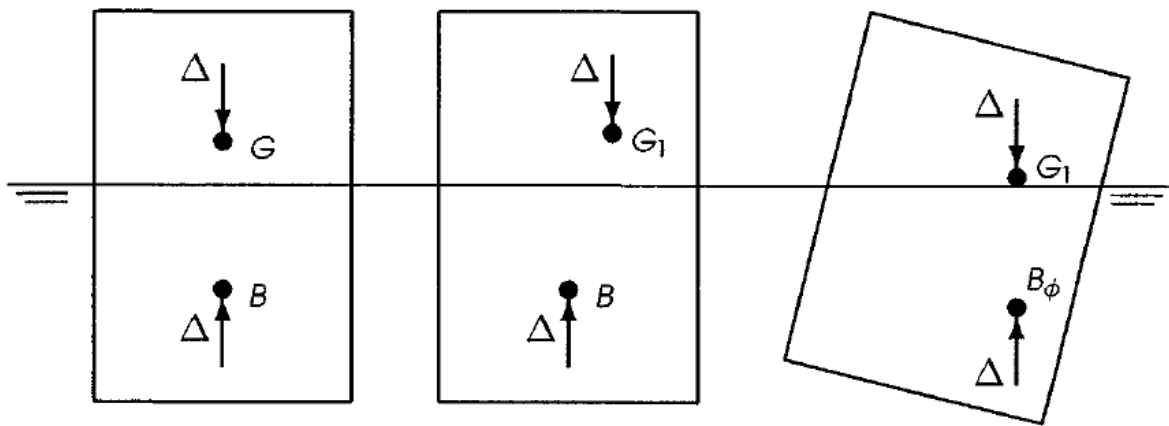
Ένα σώμα το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία πρέπει να πληροί δύο βασικές προϋποθέσεις. Το άθροισμα όλων των δυνάμεων να είναι ίσο με μηδέν και το άθροισμα όλων των ροπών να είναι ίσο με μηδέν. Όταν το σώμα αυτό επιπλέει μέσα σε ρευστό τότε είναι βυθισμένο τόσο ώστε η δύναμη της άντωσης που ασκείται να εξουδετερώνει την δύναμη της βαρύτητας και ισορροπεί σε τέτοια κλίση έτσι ώστε το κέντρο βάρους και το κέντρο άντωσης να βρίσκονται επί της ίδιας καθέτου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 27 Ισορροπία επιπλέοντος σώματος (Lewis, 1988)

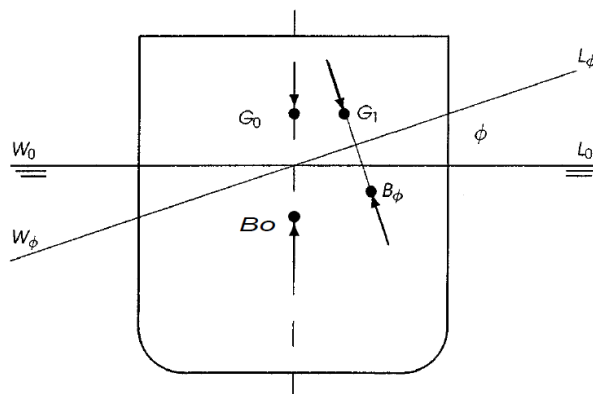
Όπως βλέπουμε η ευθεία που ενώνει το κέντρο βάρους και άντωσης δεν είναι απαραίτητο να διέρχεται από το επίπεδο συμμετρίας του σώματος, αν αυτό υπάρχει, και ένα σώμα μπορεί να έχει παραπάνω από μία κατάσταση στατικής ισορροπίας.

Ας υποθέσουμε τώρα πως έχουμε ένα σώμα μερικώς βυθισμένο σε ρευστό το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Αν αλλάξουμε τη θέση του κέντρου βάρους του τότε παύει να ισχύει η δεύτερη συνθήκη για την ισορροπία επιπλέοντων σωμάτων, δηλαδή, το άθροισμα των ροπών δεν είναι πια μηδέν καθώς το κέντρο βάρους και το κέντρο άντωσης δεν διέρχονται από τον ίδιο άξονα. Σε αυτή την περίπτωση το σώμα θα πάρει κλίση τέτοια ώστε να ισορροπήσει σε μια νέα θέση πληρώντας και τις δύο προϋποθέσεις όπως βλέπουμε στην εικόνα:



Εικόνα 28 Επανάφορά στατικής ισορροπίας (Biran & López-Pulido, 2014)

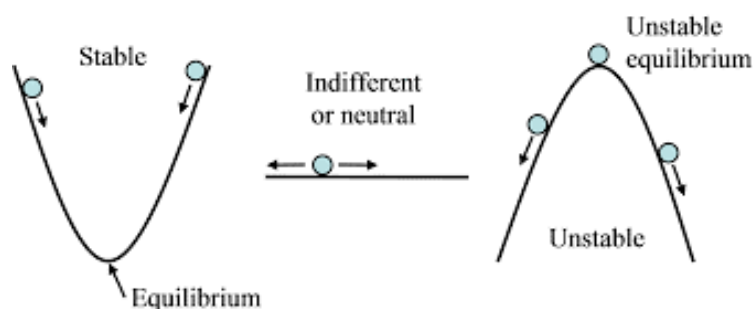
Εναλλακτικά, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, για την μελέτη της ευστάθειας των πλοίων προτιμάται η παρακάτω απεικόνιση (Biran & López-Pulido, 2014):



Εικόνα 29 Στατική ισορροπία πλοίου (Biran & López-Pulido, 2014)

### 3.3 Ευστάθεια πλοίου

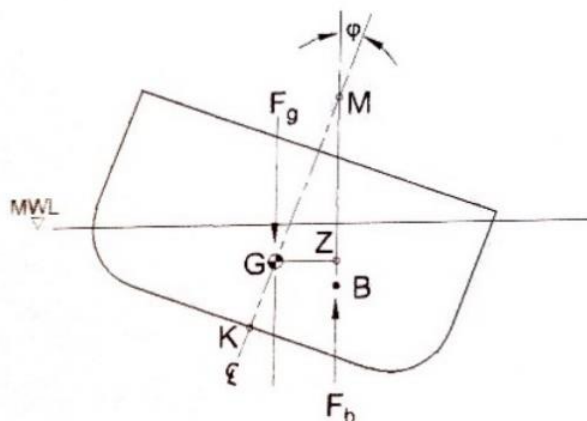
Ένα σώμα που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας μπορεί να βρεθεί σε τρεις φάσεις όπως βλέπουμε στην εικόνα 30. Στην περίπτωση όπου ένα σώμα δέχεται μια διαταραχή που το μεταβάλει από τη θέση ισορροπίας του, αν αυτό τείνει να επιστρέψει σε αυτή τότε λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση **ευσταθούς ισορροπίας**. Αν το σώμα σταθεροποιηθεί σε νέα θέση ισορροπίας τότε βρίσκεται σε **ουδέτερη ισορροπία**, ενώ αν απομακρυνθεί τότε βρίσκεται σε **ασταθή ισορροπία**. (Lee, 2019)



Εικόνα 30 Καταστάσεις ισορροπίας σώματος  
(Pond, Sympathetic Vibratory Physics / Equilibrium, n.d.)

#### 3.3.1 Ευστάθεια για μικρές γωνίες, αρχική ευστάθεια

Θεωρούμε πλοίο το οποίο έχει μια κλίση πολύ μικρής γωνίας,  $\varphi$  (μέχρι 10 μοίρες). Σε αυτή την περίπτωση το κέντρο άντωσης μετατοπίζεται από την  $CL$  και ως αποτέλεσμα το βάρος του πλοίου και η δύναμη της άντωσης δεν διέρχονται πλέον από την ίδια ευθεία αλλά από ευθείες παράλληλες μεταξύ τους οι οποίες χωρίζονται από απόσταση  $GZ$ , γνωστή ως **μοχλοβραχίονας επαναφοράς**. Το σημείο όπου η νέα ευθεία της άντωσης τέμνει την  $CL$  λέγεται **εγκάρσιο μετακέντρο** και συμβολίζεται με  $M$ .



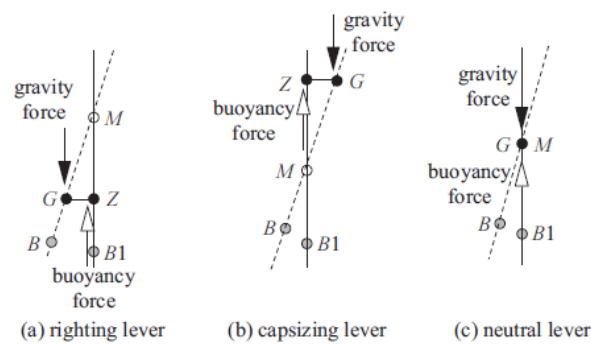
Εικόνα 31 Μοχλοβραχίονας επαναφοράς  $GZ$  και μετακεντρικό ύψος (Robert E & Randall, 2010)

Όπως φαίνεται και στην εικόνα αν το μετάκεντρο και το κέντρο βάρους είναι γνωστά τότε εύκολα μπορούμε να υπολογίσουμε το μοχλοβραχίονα επαναφοράς  $GZ$

$$GZ = GM \cdot \sin(\varphi) \quad (7)$$

Η απόσταση  $GM$  είναι ένας σημαντικός δείκτης της ευστάθειας για μικρές γωνίες και ονομάζεται **μετακεντρικό ύψος** (*metacentric height*). Αν το μετάκεντρο βρίσκεται σε θέση πάνω από το  $G$  τότε λέμε ότι έχουμε θετικό  $GM$  ενώ αν είναι κάτω λέμε πως είναι αρνητικό. (Biran & López-Pulido, 2014)

Σύμφωνα με τη σχετική θέση του μετάκεντρο και του κέντρου βάρους χωρίζουμε τις καταστάσεις ισορροπίας σε τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 32 Χαρακτηριστικές θέσης μετάκεντρο (Ueng, 2013)

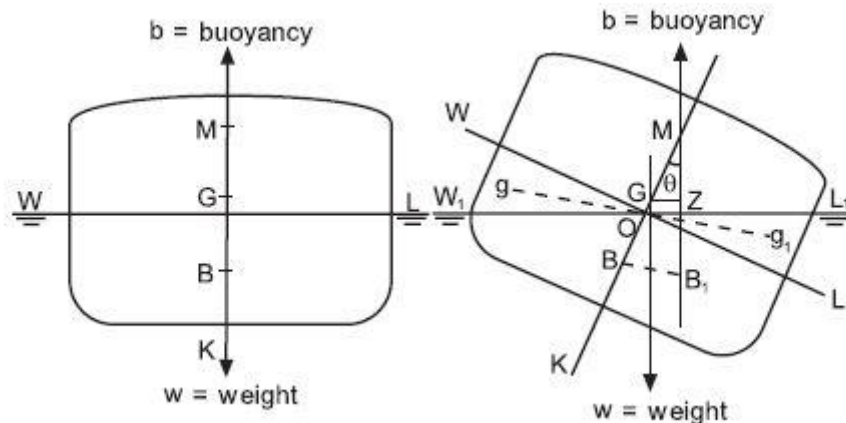
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην πρώτη εικόνα το ζεύγος δυνάμεων δημιουργεί ροπή που τείνει να επαναφέρει το σύστημα στην αρχική θέση ισορροπίας, γνωστή ως **ροπή επαναφοράς** ή  $M_R$  (*righting arm*), ενώ στη δεύτερη η ροπή που δημιουργείται απομακρύνει το σύστημα από τη θέση ισορροπίας ολοένα και περισσότερο τείνοντας να ανατρέψει το πλοίο και ονομάζεται **ροπή ανατροπής** (*capsizing arm*). Στην τελευταία περίπτωση δεν παρουσιάζεται κάποια ροπή και οποιαδήποτε εξωτερική διαταραχή θα θέσει το σύστημα σε μια νέα θέση ισορροπίας.

Η ροπή που ασκείται στο πλοίο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με την παρακάτω σχέση:

$$M_R = \Delta \cdot GZ \quad (8)$$

(Ueng, 2013)

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να αναλύσουμε κάποιες βασικές έννοιες που θα χρειαστούν στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 33 Βασικά σημεία εγκάρσιας ευστάθειας  
(<https://portalpermohonan.com/transverse-stability-of-ship/>)

Βασικές έννοιες και λόγοι που θα χρειαστούν στη συνέχεια:

M= Μετάκεντρο

G= Κέντρο βάρους

B= Κέντρο άντωσης

K= Τρόπιδα

GM= Μετακεντρικό ύψος

BM=  $\frac{I_T}{\nabla}$  Μετακεντρική ακτίνα

KG= VCG= Κέντρο βάρους κατά το εγκάρσιο

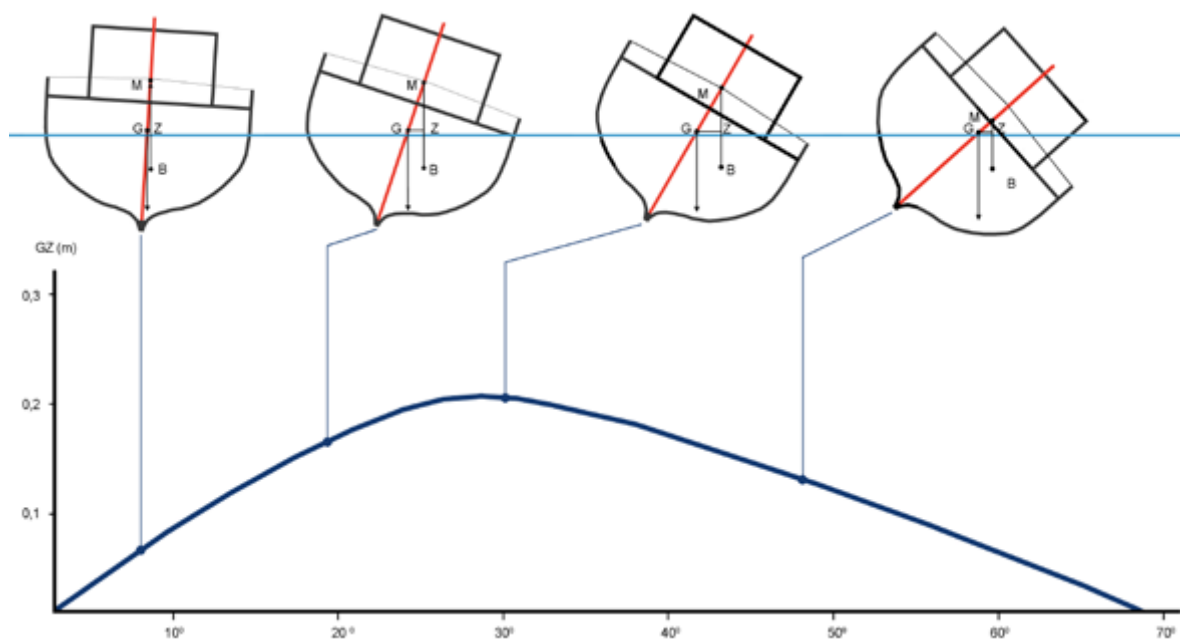
KB= VCB= Κέντρο άντωσης κατά το εγκάρσιο

### 3.3.2 Καμπύλες Ευστάθειας

Για μικρές εγκάρσιες κλίσεις, μέχρι 10 μοίρες μπορούμε εύκολα να δώσουμε μια εκτίμηση της αρχικής ευστάθειας. Αυτό όμως μπορεί να επιτευχθεί μόνο χάρη στην παραδοχή ότι για σταθερό εκτόπισμα και διαγωγή η θέση του μετάκεντρο δεν μεταβάλλεται. Στην πραγματικότητα βλέπουμε πως αυτό δεν ισχύει. Έτσι μια καλύτερη έκφραση της ευστάθειας είναι οι **παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (cross curves of stability)** και οι **καμπύλες στατικής ευστάθειας (curve of static stability)** που θα δούμε στην συνέχεια.

### 3.3.2.1 Καμπύλες στατικής ευστάθειας (curve of static stability)

Αν υπολογίσουμε μια σειρά τιμών μοχλοβραχίονα επαναφοράς για διαδοχικές εγκάρσιες κλίσεις και σταθερό εκτόπισμα, όταν σχεδιάσουμε τη γραφική τους αναπαράσταση τότε κατασκευάζουμε μια καμπύλη στατικής ευστάθειας  $GZ-\phi$ . Η καμπύλη αυτή μας δείχνει την μεταβολή του μοχλοβραχίονα όσο η κλίση του πλοίου αυξάνεται μέχρι να φτάσει σε σημείο ασταθούς ευστάθειας.

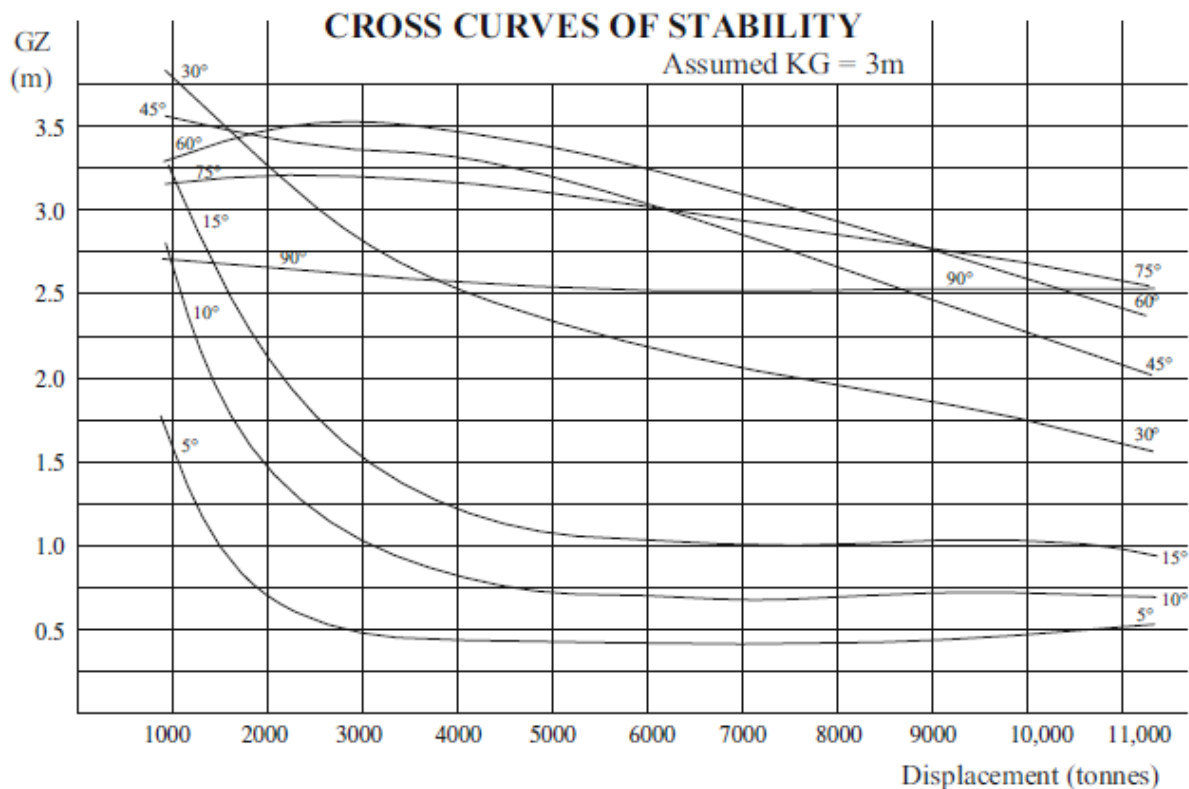


Εικόνα 34 Οπτική αναπαράσταση της καμπύλης  $GZ-\phi$  (Christensen, 2014)

Με την καμπύλη αυτή μπορούμε να έχουμε γνώση της μέγιστης τιμής της του  $GZ$  καθώς επίσης και της γωνίας στην οποία αυτό μηδενίζεται. Τέλος, η αρχική κλίση της καμπύλης μας δίνει την πληροφορία της αρχικής ευστάθειας του πλοίου μας.

### 3.3.2.2 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (cross curves of stability)

Οι παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας αποτελούν γεωμετρικό στοιχείο του πλοίου και είναι το μέσο προσδιορισμού της ευστάθειας για μεγάλες εγκάρσιες κλίσεις (**large angle stability**). Οι καμπύλες αυτές έχουν τη μορφή που βλέπουμε στο παρακάτω γράφημα:



Εικόνα 35 Παραμετρικές καμπύλες ευστάθειας (Lee, 2019)

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνουμε στον άξονα  $x$  τα διάφορα εκτοπίσματα του πλοίου και στον άξονα  $y$  το μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Οι καμπύλες που προκύπτουν παριστάνουν τις εγκάρσιες κλίσεις που μπορεί να έχει το πλοίο. Βλέπουμε επίσης πως το γράφημα αυτό κατασκευάστηκε για “assumed  $KG=3m$ ” το οποίο θα δούμε στη συνέχεια.

Έστω ότι έχουμε ένα πλοίο που δέχεται μια εξωτερική διαταραχή και λαμβάνει γωνία εγκάρσιας κλίσης  $\phi$ . Όπως έχουμε ήδη διαπιστώσει το ζεύγος των δυνάμεων του βάρους και της άντωσης δημιουργούν μια ροπή επαναφοράς και με απλή τριγωνομετρία μπορούμε ευκολά να υπολογίσουμε το μοχλοβραχίονα επαναφοράς “ $GZ$ ”. Στην περίπτωση που εξετάζουμε όμως, το μετακεντρικό ύψος μεταβάλλεται λόγω των μεγάλων εγκάρσιων κλίσεων με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να υπολογίσουμε το “ $GZ$ ” με τον τρόπο αυτό. Έτσι χρησιμοποιούμε την εξής μέθοδο:

Για δεδομένη γωνία εγκάρσιας κλίσης και εκτόπισμα θεωρώ ένα “ $KG$ ” (“ $KG_{assumed}$ ”).

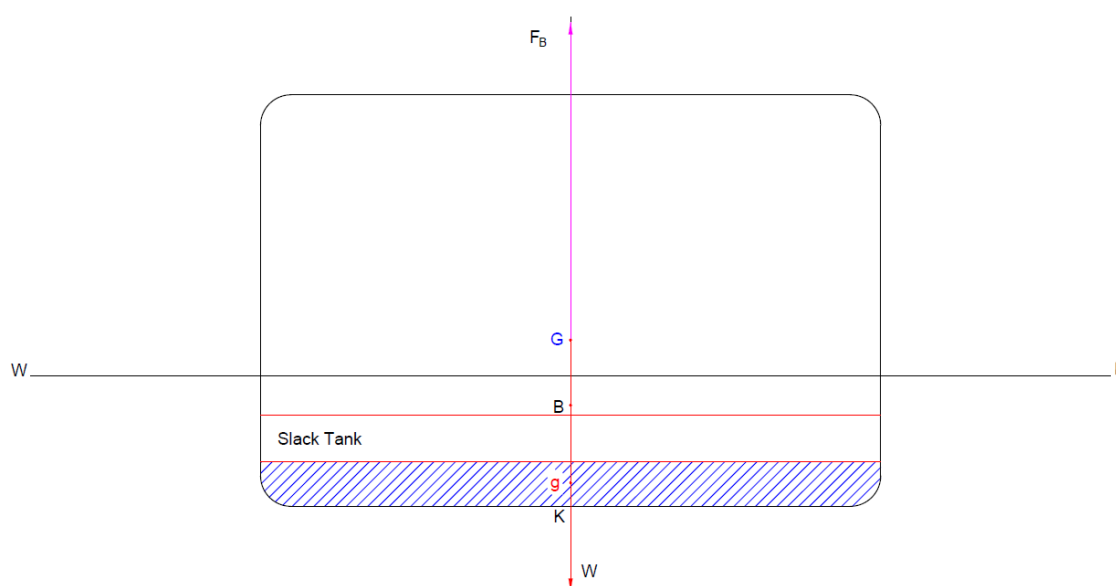




### 3.3.3 Επίδραση ελεύθερων επιφανειών

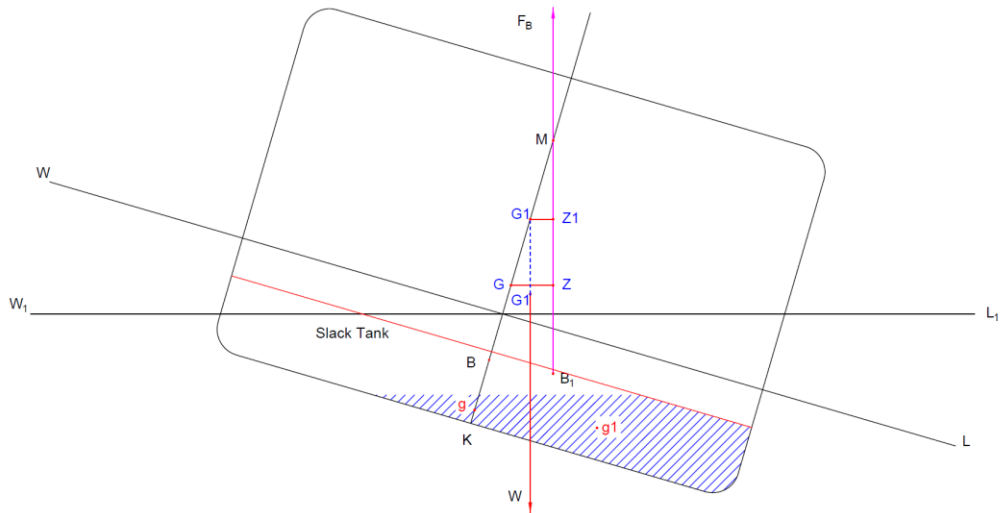
Ένα μεγάλο μέρος του όγκου των πλοίων καλύπτεται από δεξαμενές ποικίλων διαστάσεων οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φορτίου, πόσιμου νερού, έρματος και πολλών άλλων. Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να έχουν διαφορετικό βαθμό πληρότητας κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Ο βαθμός πληρότητας μιας δεξαμενής μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ευστάθεια του πλοίου καθώς δεξαμενές που είναι μερικώς γεμάτες δημιουργούν ελεύθερες επιφάνειες ρευστών οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και στην ανατροπή του πλοίου. Συνήθως στις καταστάσεις που εξετάζουμε οι δεξαμενές έχουν πληρότητα 50% έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε τη μέγιστη ελεύθερη επιφάνεια.

Έστω ένα πλοίο που πλέει σε ίσαλο γραμμή “WL” με μια κεντρική δεξαμενή μερικώς γεμάτη έτσι ώστε το ρευστό να είναι ελεύθερο να κινηθεί όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Το κέντρο βάρους του ρευστού συμβολίζεται ως “g”.



Εικόνα 38 Πλοίο με μερικώς γεμάτη δεξαμενή  
(Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD) (Autodesk, n.d.)

Λόγω εξωτερικής διαταραχής το πλοίο υπόκειται σε κλίση. Το ρευστό εντός της δεξαμενής ακολουθεί τη φορά της κλίσης και έτσι έχουμε μεταβολή του κέντρου βάρους του σε “g<sub>1</sub>” και κατά συνέπεια μεταβολή του κέντρου βάρους του πλοίου σε “G<sub>1</sub>”.



Εικόνα 39 Πλοίο με μερικώς γεμάτη δεξαμενή υπό κλίση  
(Εικόνα σχεδιασμένη στο AutoCAD) (Autodesk, n.d.)

Αν προβάλουμε το ίχνος του σημείου “ $G_1$ ” στην “ $CL$ ” τότε παρατηρείται, όπως μπορούμε να δούμε και στην παραπάνω εικόνα, μείωση του μετακεντρικού ύψους (“*Loss of GM*”) και μείωση του μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Η απόσταση “ $GG_1$ ” ονομάζεται “*Free surface correction*” (“*FSM*”). Αν αφαιρέσουμε το “*FSM*” από το αρχικό μετακεντρικό ύψος έχουμε:

$$G_1M = GM - FSC \quad (10)$$

Ισχύει ακόμα :

$$FSC = \frac{FSM}{W} \quad (11)$$

Όπου:

“*FSM*” = “*Free Surface Moment*”

“*FSC*” = “*Free Surface Correction*”

$W$  = Εκτόπισμα του πλοίου

Και

$$“FSM” = i \cdot \gamma \quad (12)$$

Όπου:

$i$  = ροπή αδράνειας ρευστού

$\gamma$  = Ειδικό βάρος ρευστού

(Biran & López-Pulido, 2014)

### 3.4 Ευστάθεια μετά από βλάβη

Ένα πλοίο μπορεί να αντιμετωπίσει πολλούς κινδύνους εν πλω και κατά συνέπεια να υποστεί κάποια βλάβη η οποία μπορεί να αποβεί μοιραία. Αν κάποιο υδατοστεγές διαμέρισμα του πλοίου υποστεί κατάκλιση από νερό τότε θα έχουμε αύξηση στο βύθισμα, αλλαγή στη διαγωγή, θα παρουσιαστεί μόνιμη γωνία εγκάρσιας κλίσης και θα επηρεαστεί σε γενικότερη κλίμακα η ευστάθειά του. Σε ακραίες περιπτώσεις το πλοίο μπορεί να βυθιστεί. Για το λόγο αυτό πρέπει να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε και να υπολογίσουμε τέτοιες περιπτώσεις έτσι ώστε να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε πως ακόμα και αν αυτό συμβεί, το πλοίο θα συνεχίσει να πλέει. Οι μέθοδοι που υπολογίζουν την ευστάθεια του πλοίου μετά από βλάβη είναι:

- Η μέθοδος της χαμένης άντωσης
- Η μέθοδος του πρόσθετου βάρους

#### 3.4.1 Μέθοδος της χαμένης άντωσης

Με τη μέθοδο αυτή αναλύουμε τις αλλαγές που παρουσιάζει η άντωση αντί για τις αλλαγές του κέντρου βάρους ή του εκτοπίσματος. Το κέντρο βάρους παραμένει ίδιο και όποια μεταβολή παρουσιάζεται λόγω βλάβης επηρεάζει την κατανομή του όγκου άντωσης. Αφού το βάρος του πλοίου παραμένει ίδιο ο όγκος άντωσης παραμένει σταθερός, πράγμα που επιτυγχάνεται με αύξηση του βυθίσματος και μεταβολή της διαγωγής και της εγκάρσιας κλίσης.

#### 3.4.2 Μέθοδος του πρόσθετου βάρους

Όπως αναφέρεται και στην ονομασία της μεθόδου, το πλοίο θεωρείται άθικτο αλλά ένα μέρος αυτού κατακλίνεται από νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη βάρους. Γνωρίζοντας τον όγκο κατάκλισης, τη θέση του κατά το εγκάρσιο και διάμηκες του πλοίου και το ειδικό βάρος του νερού μπορούμε να υπολογίσουμε τη μεταβολή του κέντρου βάρους του πλοίου και κατά συνέπεια τη μεταβολή του βυθίσματος, της διαγωγής και της εγκάρσιας κλίσης.

(Lewis, 1988)

## Κεφάλαιο 4: Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας

### 4.1 Γενικά

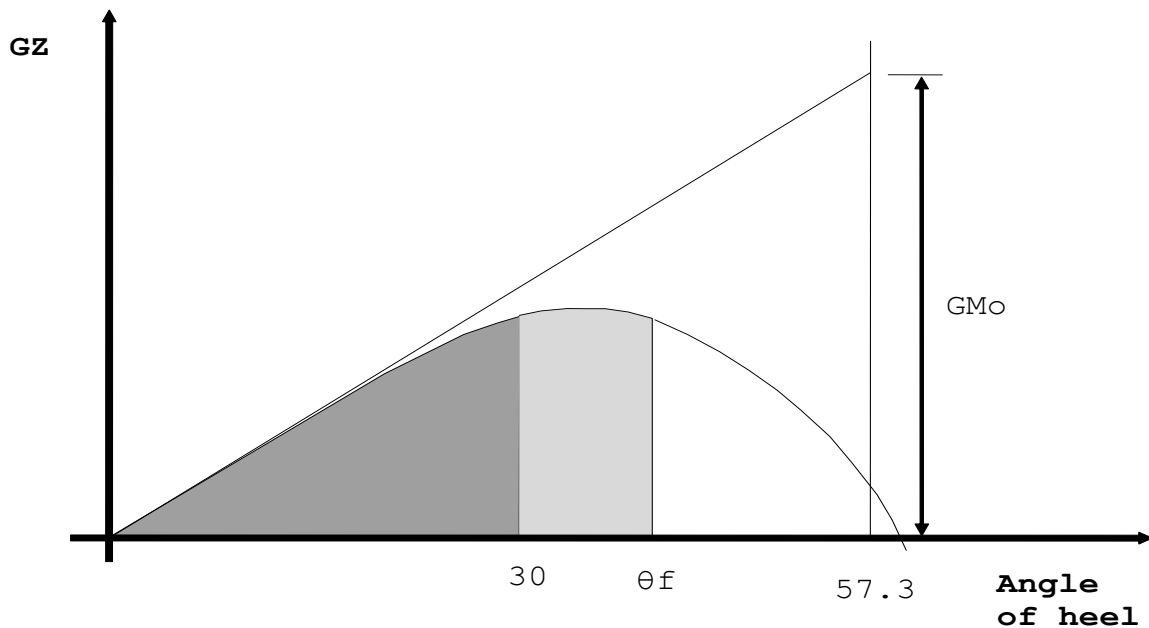
Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η μαθηματική περιγραφή του προβλήματος της ευστάθειας και ο προσδιορισμός αυτής μέσω των καμπυλών ευστάθειας. Το να προσδιορίζει όμως κανείς την ευστάθεια αριθμητικά δεν είναι αρκετό. Όπως ήδη αναφέραμε νωρίτερα τα πλοία είναι υποχρεωμένα να τηρούν ορισμένες νομοθεσίες που αποσκοπούν στην ασφάλειά τους μέσω της διασφάλισης της ευστάθειας. Οι νομοθεσίες αυτές δίνουν ποιοτική αξία στους υπολογισμούς και θέτουν κάποια βασικά όρια τα οποία χαρακτηρίζουν ένα πλοίο ευσταθές ή μη.

Στα πλαίσια της εργασίας το πλοίο μας είναι υποχρεωμένο να ακολουθήσει τη νομοθεσία “*RESOLUTION A.749(18) adopted on 4 November 1993 CODE ON INTACT STABILITY FOR ALL TYPES OF SHIPS COVERED BY IMO INSTRUMENTS*” για την άθικτη ευστάθεια.

### 4.2 Κριτήρια Άθικτης Ευστάθειας

Καθώς μελετάμε πλοίο μεταφοράς πετρελαίου ακολουθούμε τα γενικά κριτήρια τα οποία εφαρμόζονται σε όλα τα πλοία.

- Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $0.055 \text{ m}^2$  μέχρι τη γωνία  $\theta = 30^\circ$  και να μην είναι μικρότερη από  $0.09 \text{ m}^2$  μέχρι τη γωνία  $\theta = 40^\circ$  ή τη γωνία κατάκλισης, αν η γωνία αυτή είναι μικρότερη των  $40^\circ$ . Επιπλέον, η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα επαναφοράς μεταξύ των γωνιών εγκάρσιας κλίσης  $30^\circ$  και  $40^\circ$  ή μεταξύ  $30^\circ$  και γωνίας κατάκλισης, αν η γωνία αυτή είναι μικρότερη των  $40^\circ$ , πρέπει να μην είναι μικρότερη των  $0.03 \text{ m}^2$ .
- Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς πρέπει να έχει τιμή τουλάχιστον  $0.2 \text{ m}$  σε γωνία εγκάρσιας κλίσης ίση ή μεγαλύτερη των  $30^\circ$ .
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς πρέπει να προκύψει σε γωνία εγκάρσιας κλίσης που ιδανικά υπερβαίνει τις  $30^\circ$  αλλά όχι σε μικρότερη των  $25^\circ$ .
- Το αρχικό μετακεντρικό ύψος “ $GM_o$ ” πρέπει να μην είναι μικρότερο των  $0.15 \text{ m}$ .

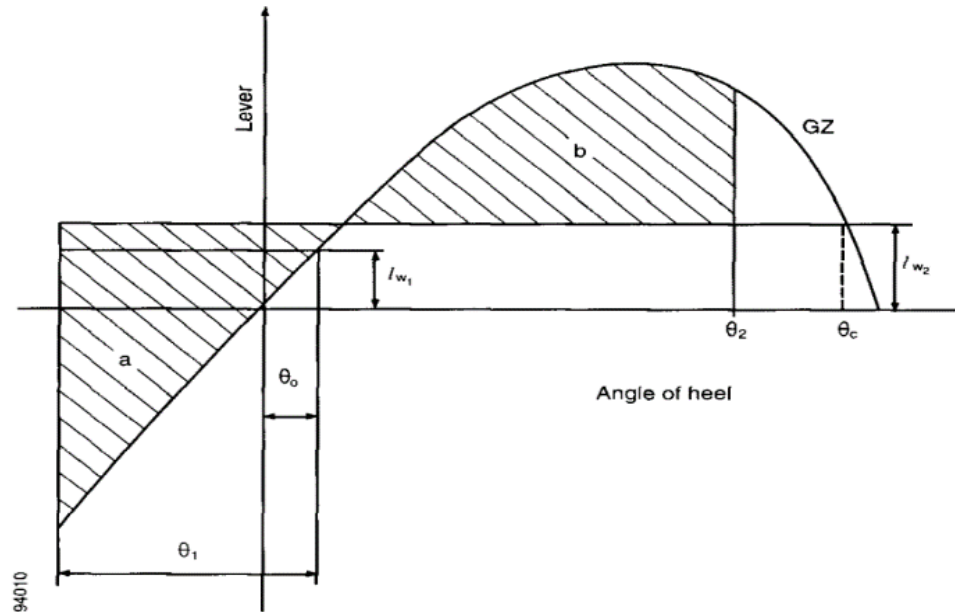


Εικόνα 40 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς για κριτήρια άθικτης ευστάθειας (Gyueol, 2008)

#### 4.3 Κριτήριο καιρού

Σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης τα πλοία δέχονται διαρκώς ροπές που προκαλούνται από κυματισμούς και ριπές ανέμων. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ειδικά κριτήρια ευστάθειας που αποσκοπούν στον υπολογισμό των ροπών αυτών και στην εύρυθμη λειτουργία του πλοίου.

- Το πλοίο υπόκειται σε πίεση σταθερού ανέμου που ασκείται παράλληλα στην “center line” του που έχει ως αποτέλεσμα ένα σταθερό μοχλοβραχίονα εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου (“ $l_{w1}$ ”).
- Από την προκύπτουσα γωνία ισορροπίας ( $\theta_0$ ), το πλοίο υπόκειται σε διαταυχοισμό λόγω κυματισμού και λαμβάνει μέγιστη γωνία εγκάρσιας κλίσης ( $\theta_1$ ).
- Στη συνέχεια το πλοίο δέχεται πίεση λόγω ριπής ανέμου και έχουμε ως αποτέλεσμα μοχλοβραχίονα εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου (“ $l_{w2}$ ”).
- Υπό αυτές τις συνθήκες η επιφάνεια “ $b$ ” πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της επιφάνειας “ $a$ ”.
- Κατά τον υπολογισμό αυτό λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση ελεύθερων επιφανειών.



Εικόνα 41 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς για κριτήριο καιρού (IMO Instruments, 1993)

Οι μοχλοβραχίονες εγκάρσιας κλίσης λόγω ανέμου “ $l_{w1}$ ” και “ $l_{w2}$ ” είναι σταθερές τιμές για όλες τις γωνίες εγκάρσιας κλίσης και υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} \text{ (m)} \quad \text{και} \quad l_{w2} = 1.5 \cdot l_{w1} \text{ (m)}$$

(13)

Όπου:

- $P = H$  πίεση του ανέμου (504 Pa).
- $A = H$  προβολή της συνολικής επιφάνειας εξάλων και υπερκατασκευών στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας ( $m^2$ ).
- $\Delta = T$ ο εκτόπισμα (tn).
- $g = H$  επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).
- $Z = H$  κατακόρυφη απόσταση του κέντρου της επιφάνειας αν από το κέντρο της προβολής της επιφάνειας των υφάλων στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του πλοίου (m).

Η γωνία διατυχοισμού  $\theta_1$  υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{rs} \text{ (degrees)}$$

(14)

Όπου:

- $X_1$  = Δεδομένο από πίνακα.
- $X_2$  = Δεδομένο από πίνακα.
- $k$  = Δεδομένο από:

$k = 1.0$  για πλοία που δεν έχουν παρατροπίδιο ή καρίνα.

$k = 0.7$  για πλοία με οξύ παρατροπίδιο.

$k$  = δεδομένο από πίνακα για πλοία που έχουν παρατροπίδιο ή καρίνα.

- $r = 0.73 \pm 0.6 OG/d$

όπου:  $OG$  = Η απόσταση του κέντρου βάρους και της ισάλου ( $m$ ).

$d$  = Το μέσο βύθισμα σχεδίασης του πλοίου.

- $s$  = Δεδομένο από πίνακα.

Τιμές παραμέτρου $X_1$		Τιμές παραμέτρου $X_2$		Τιμές παραμέτρου $k$		Τιμές παραμέτρου $s$	
B/d	$X_1$	$C_B$	$X_2$	$\frac{A_K \cdot 100}{L \cdot B}$	$k$	T	$s$
$\leq 0.24$	1.0	$\leq 0.45$	0.75	0	1.0	$\leq 6$	0.100
2.5	0.98	0.50	0.82	1.0	0.98	7	0.098
2.6	0.96	0.55	0.89	1.5	0.95	8	0.093
2.7	0.95	0.60	0.95	2.0	0.88	12	0.065
2.8	0.93	0.65	0.97	2.5	0.79	14	0.053
2.9	0.91	$\geq 0.70$	1.0	3.0	0.74	16	0.044
3.0	0.90			3.5	0.72	18	0.038
3.1	0.88			$\geq 4.0$	0.70	$\geq 20$	0.035
3.2	0.86						
3.3	0.84						
3.4	0.82						
$\geq 3.5$	0.80						

Πίνακας 1 Παράμετροι για εφαρμογή κριτηρίου καιρού (IMO Instruments, 1993)



Περίοδος διατυχοισμού

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}} \text{ (s)} \quad (15)$$

Όπου  $C = 0.373 + 0.023 (B/d) - 0.043 (L/100)$ .

Τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα και της εξίσωσης περιόδου διατυχοισμού είναι:

$L$  = Μήκος ισάλου του πλοίου ( $m$ )

$B$  = Πλάτος σχεδίασης

$d$  = Μέσο βύθισμα σχεδίασης

$C_B$  = συντελεστής γάστρας

$A_K$  = Συνολική επιφάνεια παρατροπίδιων

$GM$  = Μετακεντρικό ύψος, διορθωμένο λόγω της επίδρασης των ελεύθερων επιφανειών.

(RESOLUTION A.749(18) adopted on 4 November 1993 CODE ON INTACT STABILITY FOR ALL TYPES OF SHIPS COVERED BY IMO INSTRUMENTS, 1993)

## Κεφάλαιο 5: Κριτήρια Ευστάθειας Μετά Από Βλάβη

### 5.1 Γενικά

Όπως είδαμε ωρύτερα ένα πλοίο μπορεί κατά τη λειτουργία του να υποστεί βλάβη που θα θέσει σε κίνδυνο τόσο το ίδιο το πλοίο με το πλήρωμά του όσο και το περιβάλλον, αν φέρει προϊόντα επικίνδυνα γι' αυτό, όπως προϊόντα πετρελαίου. Για το λόγο αυτό ο οργανισμός της "MARPOL" ανέπτυξε δικά του κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη και υπολογισμούς που υπολογίζουν τη ρύπανση που μπορεί να προκαλέσει ένα ατύχημα στο θαλάσσιο περιβάλλον.

### 5.2 Κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη

Δεξαμενόπλοια μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου χωρητικότητας άνω των 150 "GT" και μήκους έως 150  $m$ , μετά τις υποθέσεις βλάβης που υπολογίζονται στη συνέχεια, πρέπει να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς της "MARPOL Annex I, Chapter 4, regulation 28".

## Πλευρική βλάβη

Διαμήκη έκταση:	$1/3 L^{2/3}$ ή $14.5 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).
Εγκάρσια έκταση:	$B/5$ ή $11.5 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).
Κατακόρυφη έκταση:	Από τη βασική γραμμή και άνω, χωρίς όριο.

### 1. Βλάβη πυθμένα

	Για $0.3 L$ από τη πρωραία κάθετο του πλοίου	Οποιοδήποτε άλλο μέρος του πλοίου
Διαμήκη έκταση:	$1/3 L^{2/3}$ ή $14.5 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).	$1/3 L^{2/3}$ ή $5 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).
Εγκάρσια έκταση:	$B/6$ ή $10 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).	$B/6$ ή $5 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).
Κατακόρυφη έκταση:	$B/15$ ή $6 m$ (όποια διάσταση είναι μικρότερη).	

Τα κριτήρια που πρέπει να ακολουθούνται είναι τα εξής:

- Η τελική ίσαλος γραμμή, λαμβάνοντας υπόψιν την βύθιση, την εγκάρσια κλίση και τη διαγωγή, πρέπει να μην υπερβαίνει ανοίγματα από τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί κατάκλιση.
- Στο τελικό στάδιο κατάκλισης, η γωνία εγκάρσιας κλίσης λόγω ασύμμετρης κατάκλισης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις  $25^\circ$ , ή τις  $30^\circ$  σε περίπτωση που δεν έχουμε βύθιση πλευράς του καταστρώματος
- Η ευστάθεια στο τελικό στάδιο κατάκλισης πρέπει να εξεταστεί και πρέπει να είναι επαρκής αν η καμπύλη του μογλοβραχίονα επαναφοράς έχει διάστημα τουλάχιστον  $20^\circ$  από τη θέση στατικής ισορροπίας σε συνδυασμό με υπολειπόμενο μογλοβραχίονα επαναφοράς τουλάχιστον  $0.1 m$  στο διάστημα των  $20^\circ$ . Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του διαστήματος αυτού πρέπει να είναι τουλάχιστον  $0.0175 m^2$ . Εκτεθειμένα ανοίγματα πρέπει να μην βυθιστούν εκτός αν λαμβάνονται υπόψιν στην εξεταζόμενη περίπτωση κατάκλισης.

(International Maritime Organization. *MARPOL Consolidated Edition 2011*. International Maritime Organization, 2011)

### 5.3 Κριτήρια ευστάθειας μετά από βλάβη με τη χρήση πιθανοθεωρητικής θεώρησης

Η πιθανοθεωρητική μέθοδος υπολογισμού ευστάθειας έναντι βλάβης εξετάζει την πιθανότητα επιβιώσεις του πλοίου όταν ένα ή περισσότερα διαμερίσματά του κατακλιστούν από νερό, λαμβάνοντας όμως υπόψη ρεαλιστικά σενάρια τα οποία έχουν προκύψει μετά από χρόνια μελετών και στατιστικών διαφορών ατυχημάτων.

Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται να υπολογιστούν ο απαιτούμενος και ο επιτευχθέντας δείκτης υποδιαίρεσης.

Ο επιτευχθέντας δείκτης υποδιαίρεσης (“*Attained Subdivision Index*”) συμβολίζεται με “*A*” και για δεδομένη κατάσταση φόρτωσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$A = \sum_{i=1}^t P_i V_i S_i \quad (16)$$

Όπου,

$P_i$  η πιθανότητα κατάκλυσης ενός διαμερίσματος ή μίας ομάδας διαμερισμάτων

$V_i$  η πιθανότητα να μην κατακλυστεί ο χώρος πάνω από ένα διάμηκες όριο κατάκλυσης

$S_i$  η πιθανότητα επιβίωσης μετά από κατάκλιση ενός διαμερίσματος ή μίας ομάδας αυτών.

$i$  το υπό εξέταση σενάριο

$t$  το σύνολο των σεναρίων βλάβης, που είναι ίσο με το πλήθος των διαμερισμάτων, συν συνδυασμό αυτών

Ο γενικός υπολογισμός του επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$A = 0.4A_S + 0.4A_P + 0.4A_I \quad (17)$$

Όπου,

$A_S$  ο επιτευχθέντας δείκτης υποδιαίρεσης για την κατάσταση πλήρους φόρτωσης

$A_I$  ο επιτευχθέντας δείκτης υποδιαίρεσης για την ελαφρότερη κατάσταση φόρτωσης

$A_P$  ο επιτευχθέντας δείκτης υποδιαίρεσης σε μία ενδιάμεση κατάσταση φόρτωσης

Για φορτηγά πλοία απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης (“ (International Maritime Organization, 2020)”) συμβολίζεται με “ $R$ ” και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R = \sqrt[3]{0.002 + 0.0009L_S}$$

(18)

Όπου  $L_S$  το μήκος του υπό εξέταση διαμερίσματος ή διαμερισμάτων

Το κριτήριο ικανοποιητικής ευστάθειας της πιθανοθεωρητικής θεώρησης είναι  $A > R$

(International Maritime Organization, 2020)

## Κεφάλαιο 6: ΤΕΧΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 6.1 Σκοπός

Στο σημείο αυτό θα αναλύσουμε την διαδικασία κατά την οποία συντάσσεται μια μελέτη άθικτης ευστάθειας και ευστάθειας μετά από βλάβη εκτελώντας όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς βάση των κανονισμών “*SOLAS*” και “*MARPOL*”.

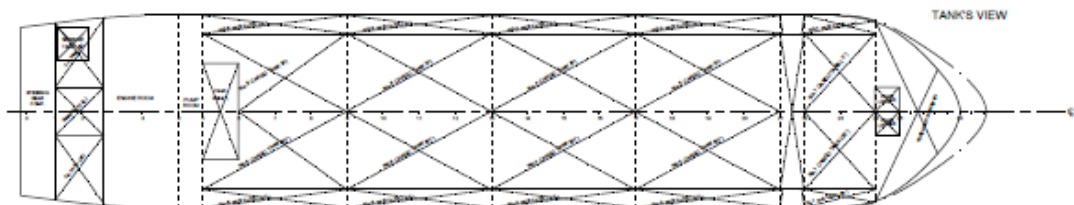
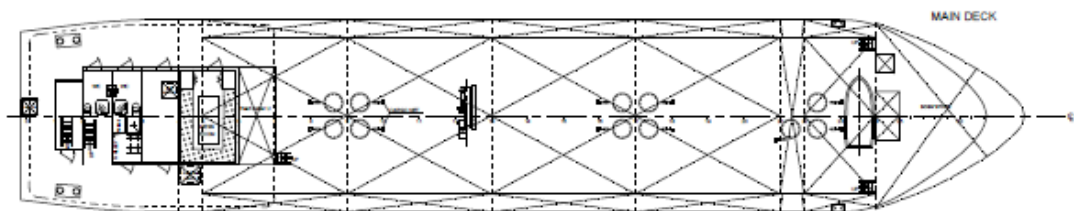
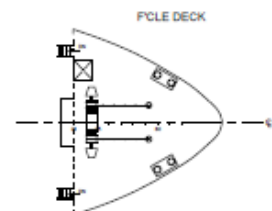
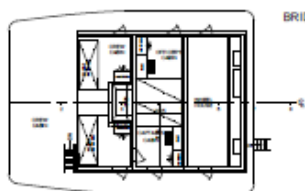
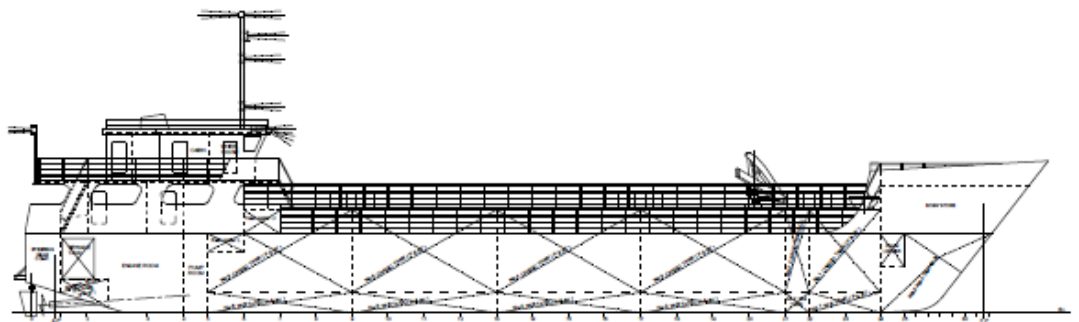
Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών αυτών θα σχεδιάσουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της γάστρας του πλοίου μας το οποίο θα εισάγουμε σε κατάλληλο υπολογιστικό λογισμικό. Στο λογισμικό αυτό θα προσομοιάσουμε τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης που μπορεί να έχει το πλοίο μας και θα εκτελέσουμε τον υπολογισμό της ευστάθειας σε κάθε μια από αυτές.

Για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήσαμε τα ακόλουθα λογισμικά:

- “*AutoCAD*”
- “*Rhino3D*”
- “*Maxsurf MODELER*”
- “*Maxsurf STABILITY*”

## 6.2 Κύρια Στοιχεία Πλοίου

General Particulars	
Type:	Oil Products Tanker
Length Overall:	42.50 m
Length Between Perpendiculars:	40.00 m
Breadth:	8.00 m
Depth:	3.30 m
Summer Draught:	3.00 m
Displacement:	908.63 t
Lightship:	235.287 t
Deadweight:	472.00 t
Gross Tonnage:	288.00 GRT



### PRINCIPAL DIMENSIONS

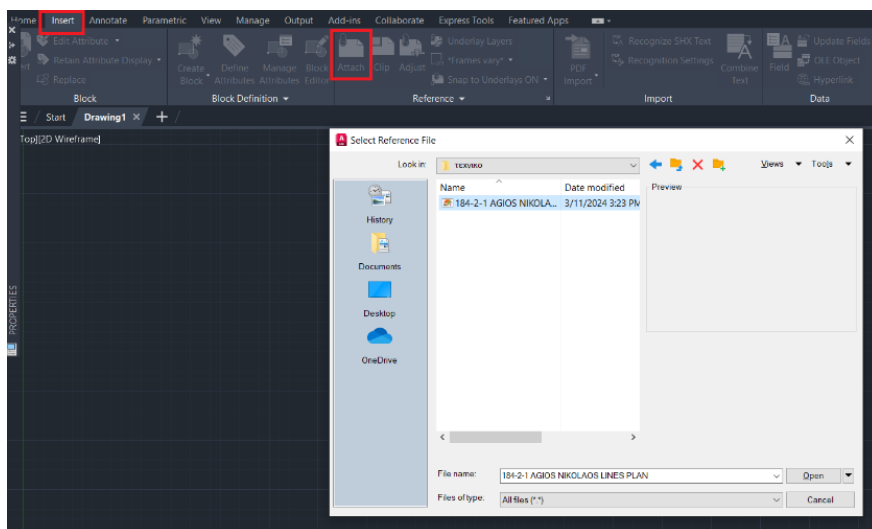
LOA .....	42.500 M
BREADTH (MLD) .....	8.000 M
DEPTH (MLD) .....	3.300 M

## 6.3 Παραγωγή Τρισδιάστατου Μοντέλου

### 6.3.1 Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών

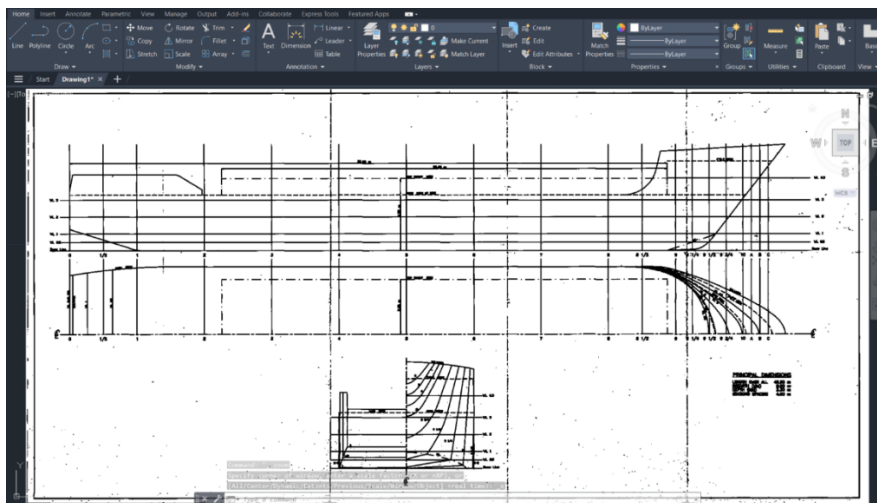
Η παραγωγή του μοντέλου χρήζει ιδιαίτερης σημασίας καθώς πρόκειται για μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους, αν όχι τη σημαντικότερη, που επηρεάζει την ακρίβεια της μελέτης ευστάθειας. Για την κατασκευή του μοντέλου μας θα χρησιμοποιήσουμε το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών του πλοίου. Το σχέδιο μας δίνεται σε μορφή *PDF*. Έτσι ξεκινώντας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *AutoCAD* θα εισάγουμε και θα αποτυπώσουμε το σχέδιο.

Με την εντολή “*attach*” εισάγουμε το σχέδιο, αφού πρώτα το μετατρέψουμε σε αρχείο εικόνας, και στη συνέχεια θα ορίσουμε την κλίμακα του σχεδίου.



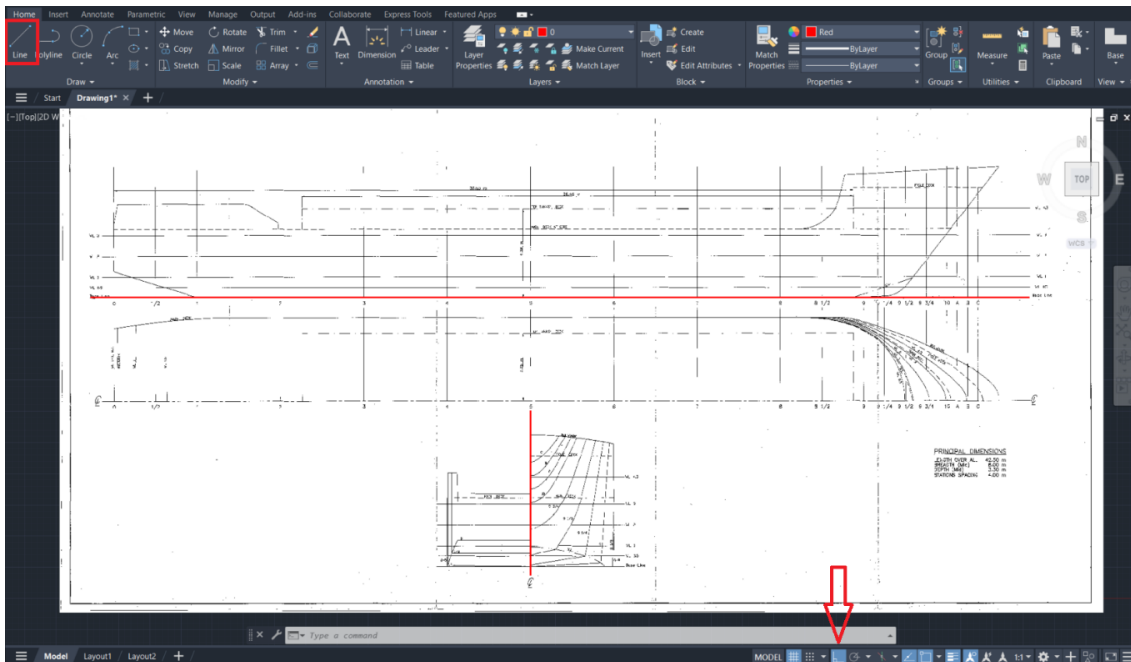
Εικόνα 42 Εισαγωγή σχεδίου στο AutoCAD

Αφού εκτελέσουμε την εντολή αυτή το αποτέλεσμα μας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

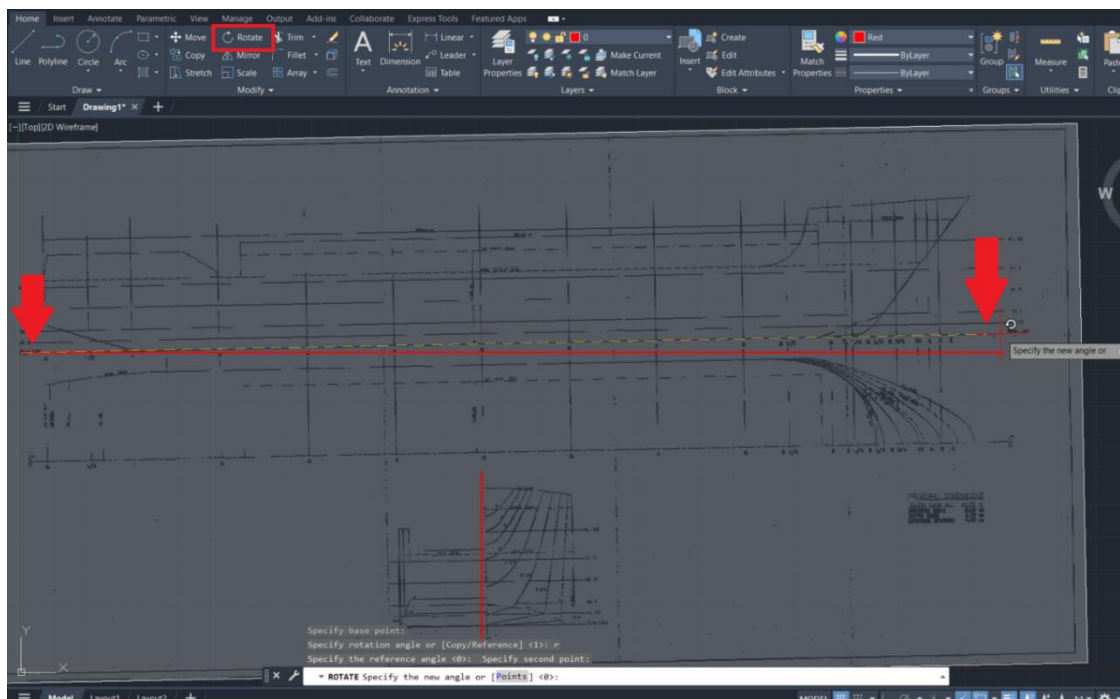


Εικόνα 43 Απεικόνιση σχεδίου γραμμών σε AutoCAD

Για να βεβαιωθούμε πως το σχέδιο έχει σωστές διαστάσεις και πως είναι παράλληλο στο βασικό επίπεδο αναφοράς χρειαζόμαστε τις εντολές “rotate” και “scale”. Αρχικά με την εντολή “line” την επιλογή :ortho ενεργή θα χαράξουμε δύο κάθετες μεταξύ τους ευθείες που θα ορίζουν την “Base line” και :Center line” όπως βλέπουμε στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 44 Ορισμός επιπέδου αναφοράς

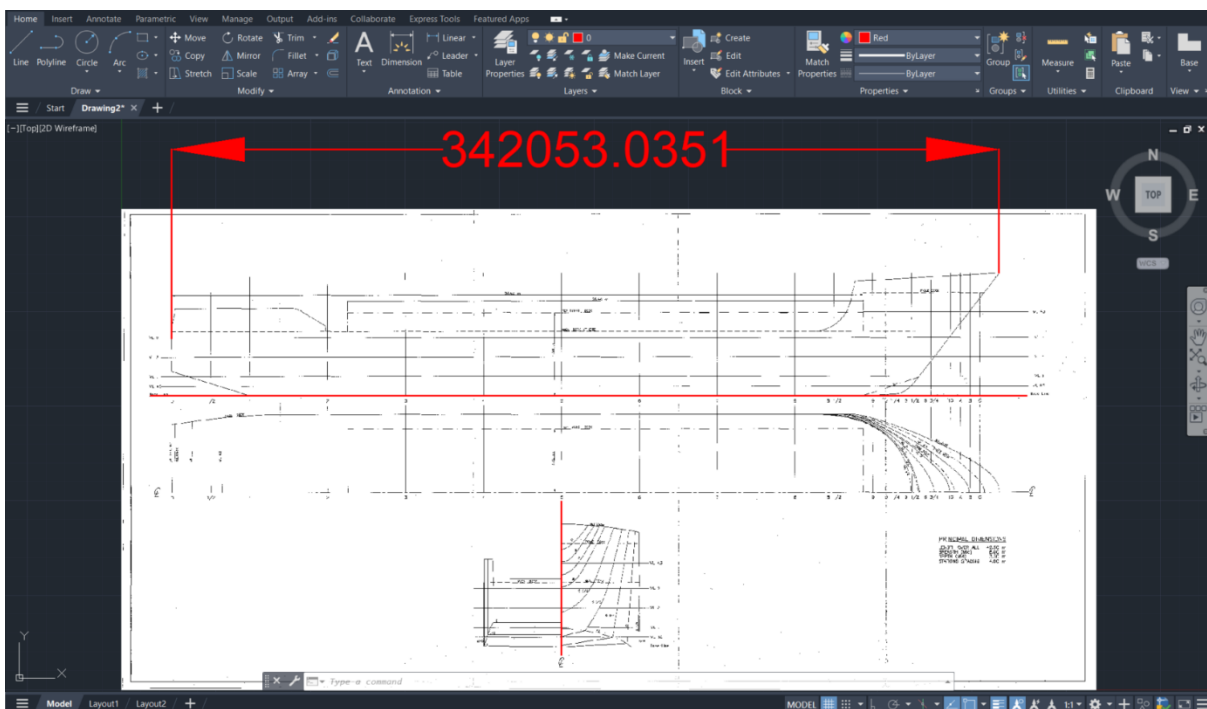


Εικόνα 45 Περιστροφή σχεδίου

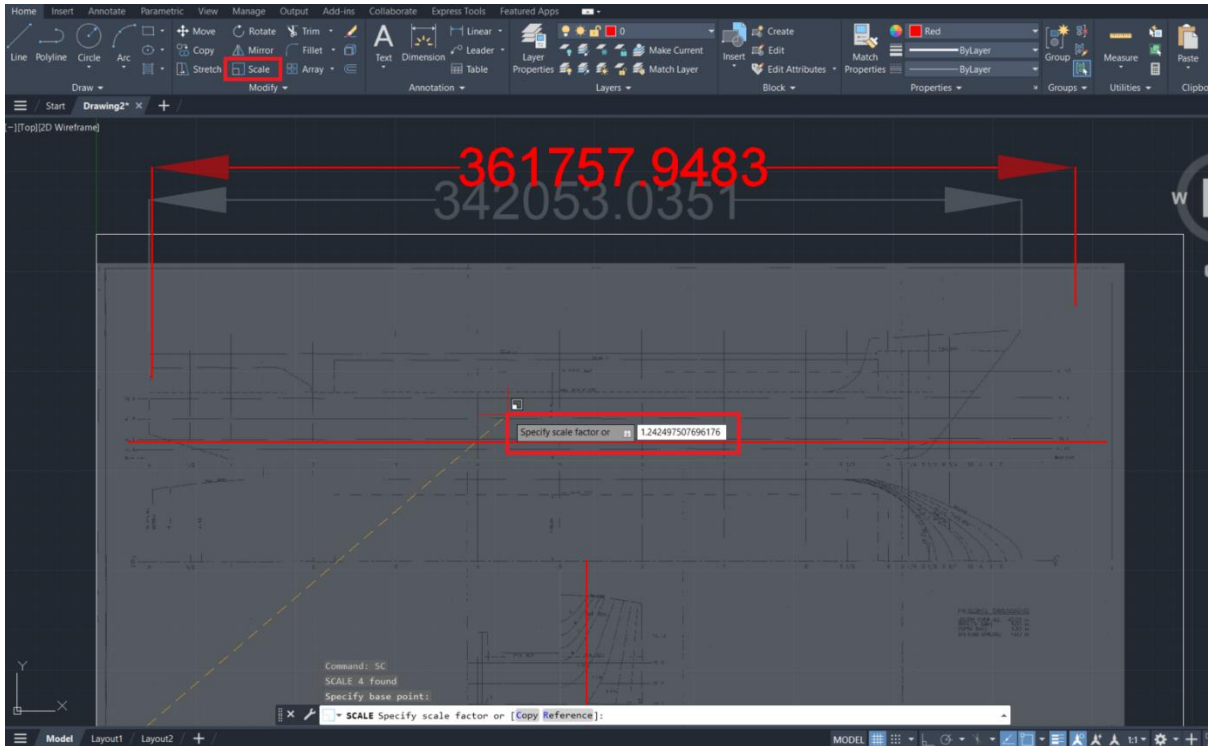


Στην περίπτωση που το σχέδιο δεν ακολουθεί τα δύο αυτά επίπεδα αναφοράς, όπως δείχνει η εικόνα 44 με την εντολή “rotate” θα το περιστρέψουμε ανάλογα μέχρι το επιθυμητό σημείο. Για την εκτέλεση της εντολής πρέπει να επιλέξουμε “base point” (αριστερά βέλος) και στη γραμμή εντολών ενεργοποιούμε την επιλογή “reference” που μας επιτρέπει να επιλέξουμε ένα δεύτερο σημείο στο σχέδιο το οποίο θα μετακινήσουμε έτσι ώστε να εφάπτεται με τη βασική γραμμή (δεξιά βέλος).

Το τελικό στάδιο πριν την αποτύπωση των γραμμών είναι ο ορισμός της κλίμακας. Η εντολή “scale” μας επιτρέπει να φέρουμε το σχέδιο στις επιθυμητές διαστάσεις. Για την εκτέλεση της εντολής αυτής αρκεί να πάρουμε μια μέτρηση στο σχέδιο και να διαπιστώσουμε τι απόκλιση έχει από την πραγματική διάσταση που θα έπρεπε να έχει. Σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε το ολικό μήκος του πλοίου. Η μέτρηση που έχουμε είναι  $L_{OA} = 34.2053\text{m}$  και το πραγματικό ολικό μήκος είναι  $L_{OA} = 42.50\text{ m}$ . Άρα όταν μας ζητηθεί από το πρόγραμμα ο συντελεστής κλίμακας δεν έχουμε παρά να συμπληρώσουμε στη γραμμή εντολών το αποτέλεσμα της διαίρεσης των δύο παραπάνω μεγεθών που είναι  $42,50/34,2053= 1.242497507696176$ .



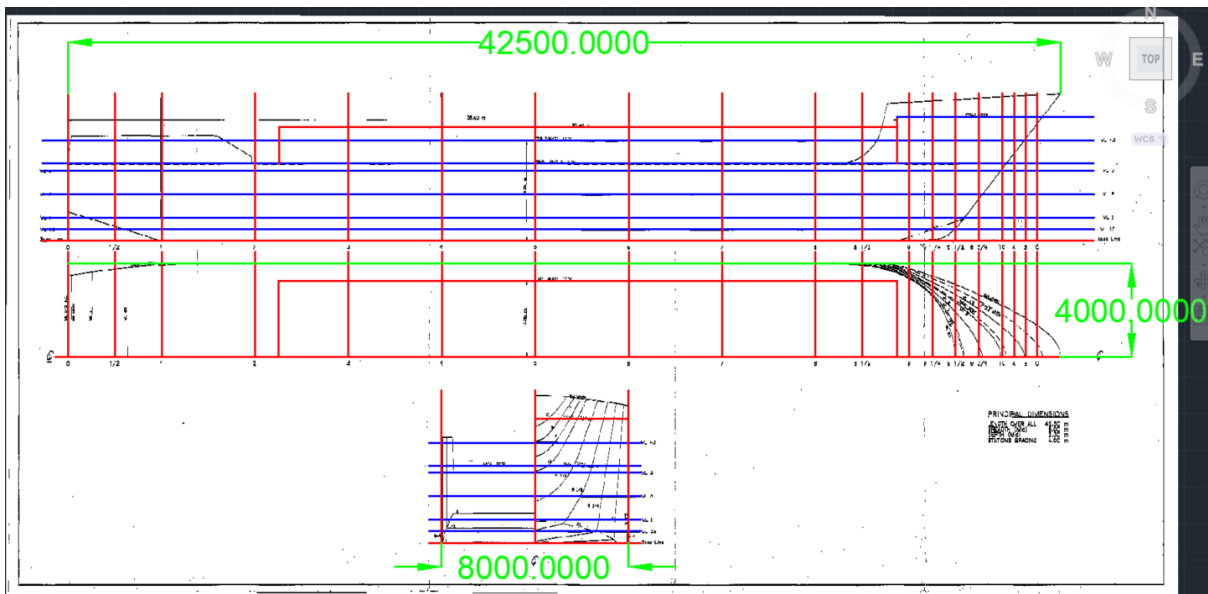
Εικόνα 46 μέτρηση ολικού μήκους πριν από τη διόρθωση



Εικόνα 47 Εκτέλεση της εντολής "scale"

Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής το σχέδιό μας έχει πλέον τις σωστές διαστάσεις και μπορούμε να ξεκινήσουμε την ψηφιοποίησή του.

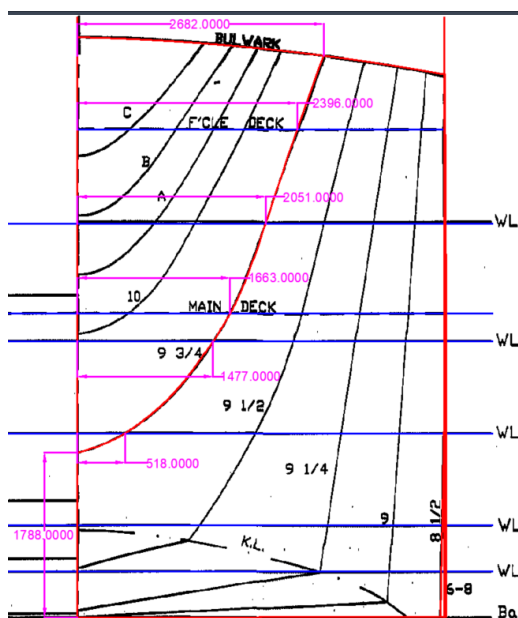
Ξεκινάμε τη διαδικασία αποτυπώνοντας πρώτα όλες τις κύριες και βοηθητικές γραμμές των οποίων οι διαστάσεις είναι δεδομένες. Με αυτό τον τρόπο ορίζουμε τα όρια του σχεδίου μας και εξασφαλίζουμε πως δεν θα υπερεκτιμήσουμε κάποια διάσταση.



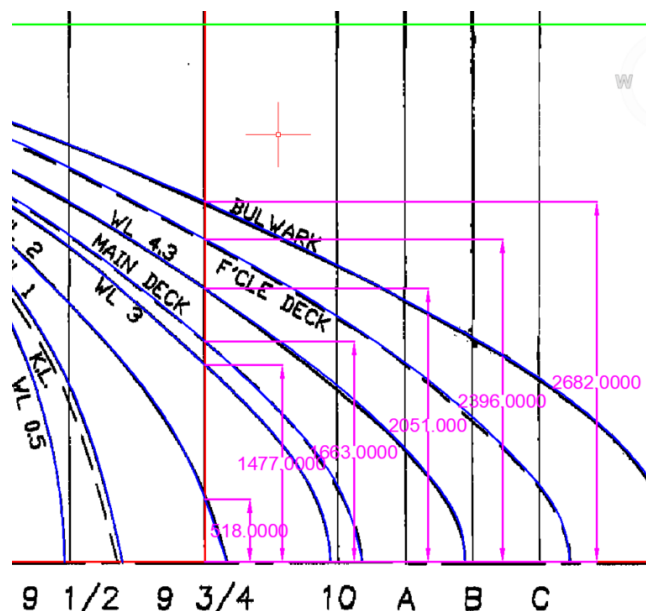
Εικόνα 48 Όρια σχεδίασης

Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε με μπλε χρώμα τις ισάλους του πλοίου, των οποίων τα ύψη είναι δεδομένα, και με πράσινο τις κύριες διαστάσεις του πλοίου, δηλαδή το ολικό μήκος, το μέγιστο πλάτος και το κοίλο. Με κόκκινο φαίνεται η ισαπόσταση των νομέων η “base line”, η “center line” και το “Top tank deck” του οποίου οι διαστάσεις δίνονται στο σχέδιο.

Το τελευταίο βήμα της αποτύπωσης είναι η σχεδίαση των νομέων και των ισάλων η οποία πραγματοποιείται με το συνδυασμό των εντολών “line” και “spline”. Για την επίτευξη της βέλτιστης σχεδίασης μετράμε την απόσταση από την “center line” των σημείων τομής των νομέων με τις ισάλους στο σχέδιο νομέων και χρησιμοποιούμε τις αποστάσεις αυτές ως οδηγούς για τη χάραξη των ισάλων στο σχέδιο ισάλων. Τα ύψη των νομέων θα αποτυπωθούν από τη σχεδίαση του προφίλ στο σχέδιο διαμήκων τομών.



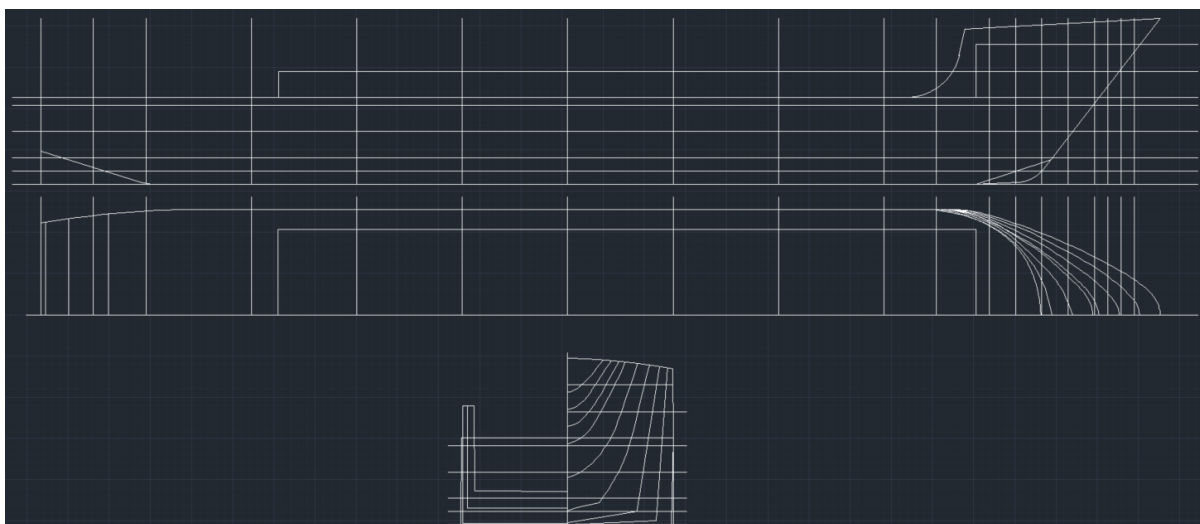
Εικόνα 49 Χάραξη νομέα 9 3/4



Εικόνα 50 Σχεδίαση ισάλων με χρήση νομέα

Όπως μπορούμε να δούμε αφού σχεδιάσουμε ένα νομέα μπορούμε ευκολά να χρησιμοποιήσουμε τις μετρήσεις μας για να χαράξουμε με ακρίβεια τις καμπύλες των ισάλων. Με την ίδια διαδικασία αποτυπώνουμε τους υπόλοιπους νομείς και ισάλους και τέλος σχεδιάζουμε τη διαμήκη τομή του πλοίου.

Εκτελώντας όλη την παραπάνω διαδικασία μπορέσαμε να αποτυπώσουμε το σχέδιο γραμμών σε ηλεκτρονική μορφή. Στη συνέχεια θα εξάγουμε τις γραμμές αυτές σε αρχείο τύπου “.igs” για να μπορέσουμε να το εισάγουμε στο “Rhino3D”

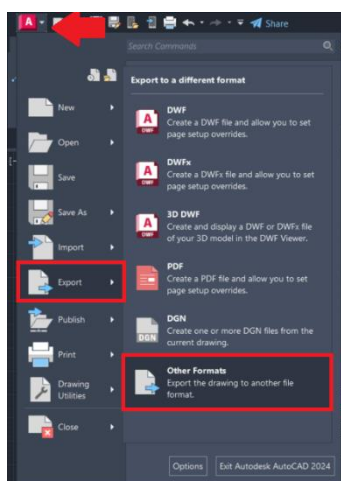


Εικόνα 51 Σχέδιο Ναυπηγικών Γραμμών σε AutoCAD

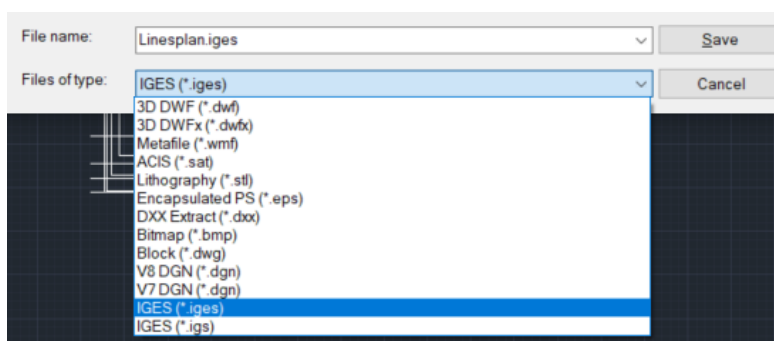
### 6.3.2 Τρισδιάστατη σχεδίαση σε Rhino3D

Για τη σχεδίαση του τρισδιάστατου μοντέλου θα χρησιμοποιήσουμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhino3D* καθώς έχει τη δυνατότητα να συνεργαστεί με το *Maxsurf Modeler* και *Stability* τα οποία θα συναντήσουμε στη συνέχεια κατά τη διάρκεια των υπολογισμών. Το *Rhino3D* είναι ένα ιδιαίτερα εύχρηστο λογισμικό καθώς προφέρει ένα γρήγορο υπολογισμό υδροστατικών στοιχείων και μπορούμε εύκολα να έχουμε μια πρώτη εκτίμηση για την ποιότητα των αποτελεσμάτων μας.

Η συνεργασία των προγραμμάτων αυτών απαιτεί τα αρχεία που χρησιμοποιούμε να είναι σε μορφή “.igs”. Για να γίνει αυτό επιλέγουμε “File” > “Export” > “Other Formats” και ως “Files of type” επιλέγουμε “IGS(\*.igs)”.

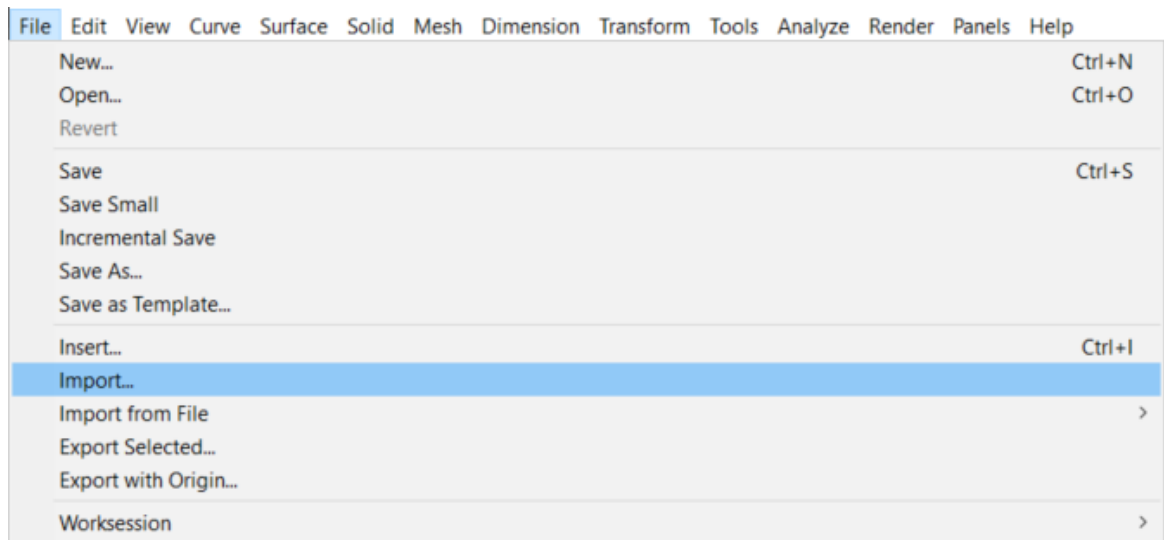


Εικόνα 52 Εξαγωγή αρχείου  
απο AutoCAD

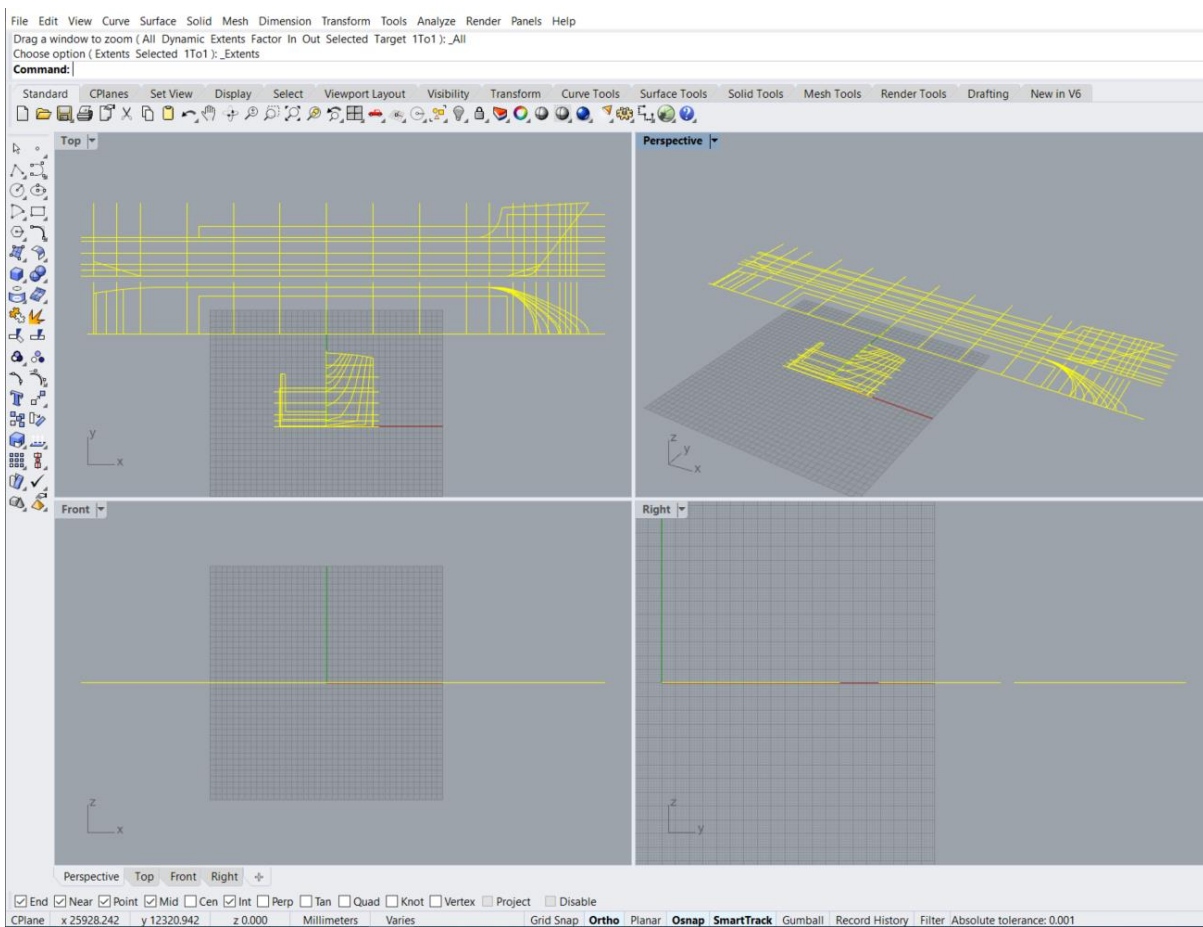


Εικόνα 53 Επιλογή αρχείου IGS

Έπειτα στο *Rhino3D* εισάγουμε το αρχείο με τις εντολές “*File*” > “*Import*” και επιλέγοντας το αρχείο *IGS*.

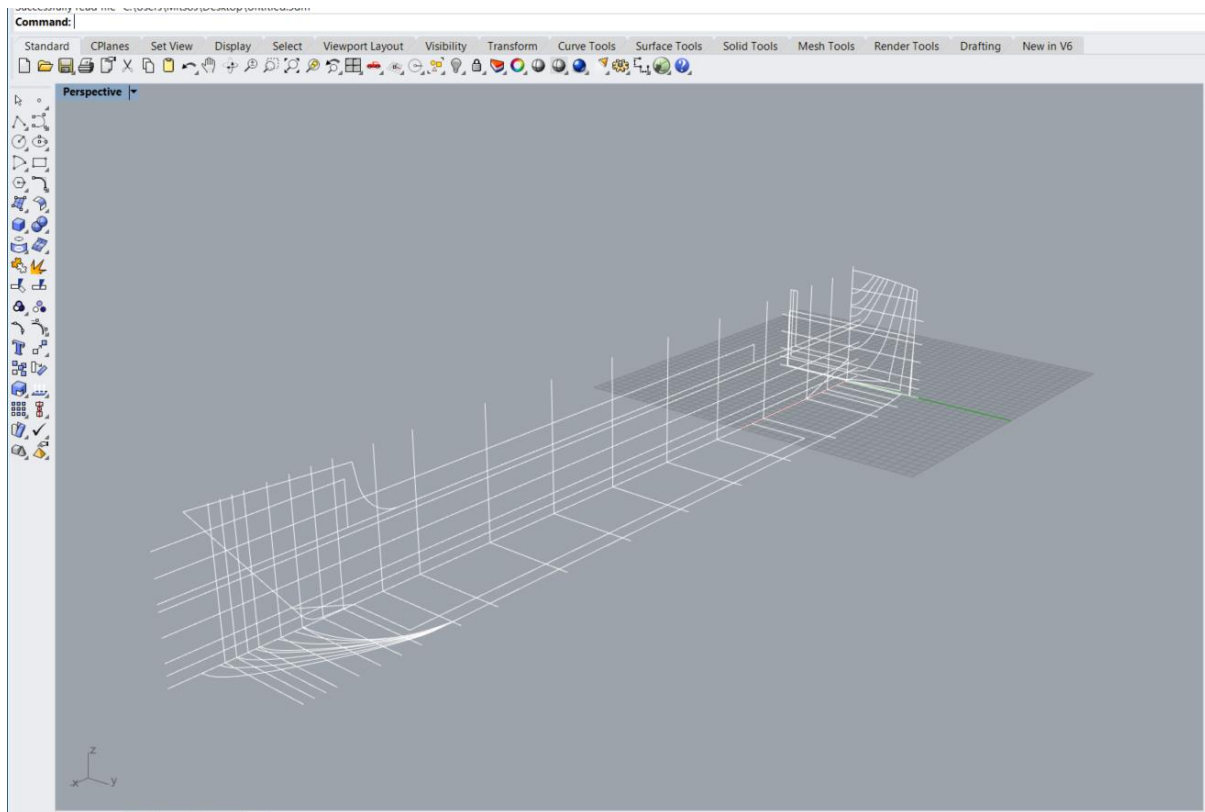


*Εικόνα 54 Import σε Rhino*



*Εικόνα 55 Εισαγωγή γραμμών στο Rhino 3D*

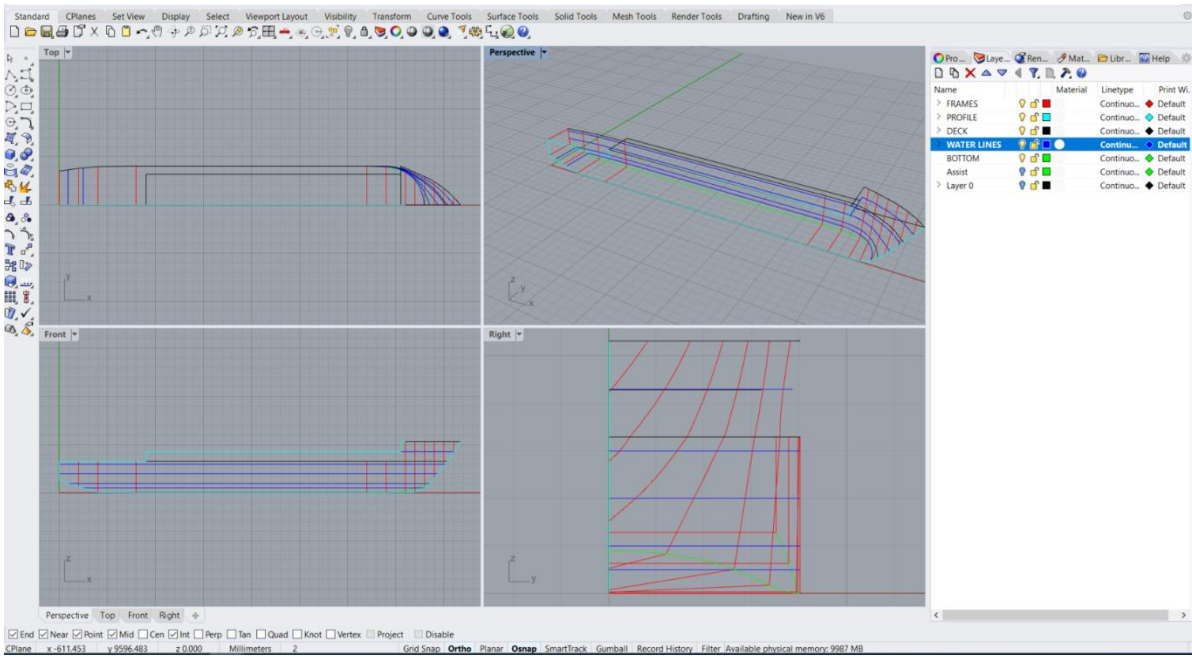
Στη συνέχεια πρέπει να μετακινήσουμε και να περιστρέψουμε τις ναυπηγικές γραμμές μας έτσι ώστε το μοντέλο μας να πάρει τη μορφή που πρέπει. Για να το πετύχουμε αυτό χρειαζόμαστε τις εντολές “rotate” και “move”. Έτσι μετακινούμε τα τρία σχέδια με τέτοιο τρόπο ώστε ο ακροπρυμναίος νομέας να συμπίπτει με την αρχή των αξόνων (0,0,0) και περιστρέφουμε το *Sheer plan* κατά τον άξονα X και το *Body plan* κατά τους άξονες X και Z. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 56 Περιστροφή και ορθή διαρρύθμιση σχεδίων

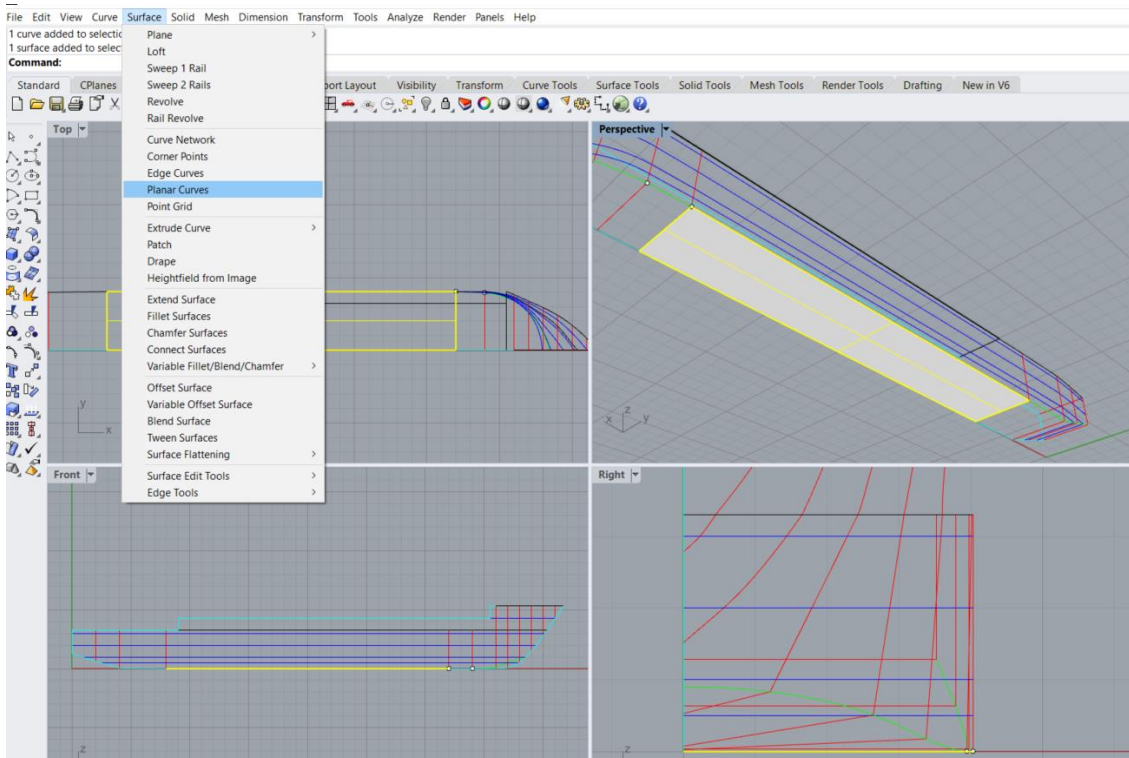
Στο επόμενο βήμα φέρνουμε τους νομείς και τις ισάλους στις κατάλληλες θέσεις. Με τη χρήση της εντολής “move” μετακινούμε τους νομείς κατά τον άξονα “x” στις σωστές θέσεις και ελέγχουμε αν η αρχή του νομέα εφάπτεται σε κάθε περίπτωση με τη γραμμή του προφίλ. Την ίδια διαδικασία εκτελούμε κατά τον άξονα “y” για να φέρουμε τις ισάλους στα σωστά ύψη. Ένας εύκολος τρόπος να ελέγξουμε την ακρίβεια του σχεδίου είναι με την εντολή “intersect”. Με την εντολή αυτή μπορούμε να επιλέξουμε μία ή περισσότερες καμπύλες και να δούμε αν τέμνονται στο κατάλληλο σημείο καθώς εκεί θα εμφανίσει η εντολή ένα νέο “point”. Μόλις ολοκληρώσουμε τη διαδικασία αυτή το αποτέλεσμά μας είναι μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του σχεδίου γραμμών.





Εικόνα 57 Τρισδιάστατη αναπαράσταση σχεδίου γραμμών

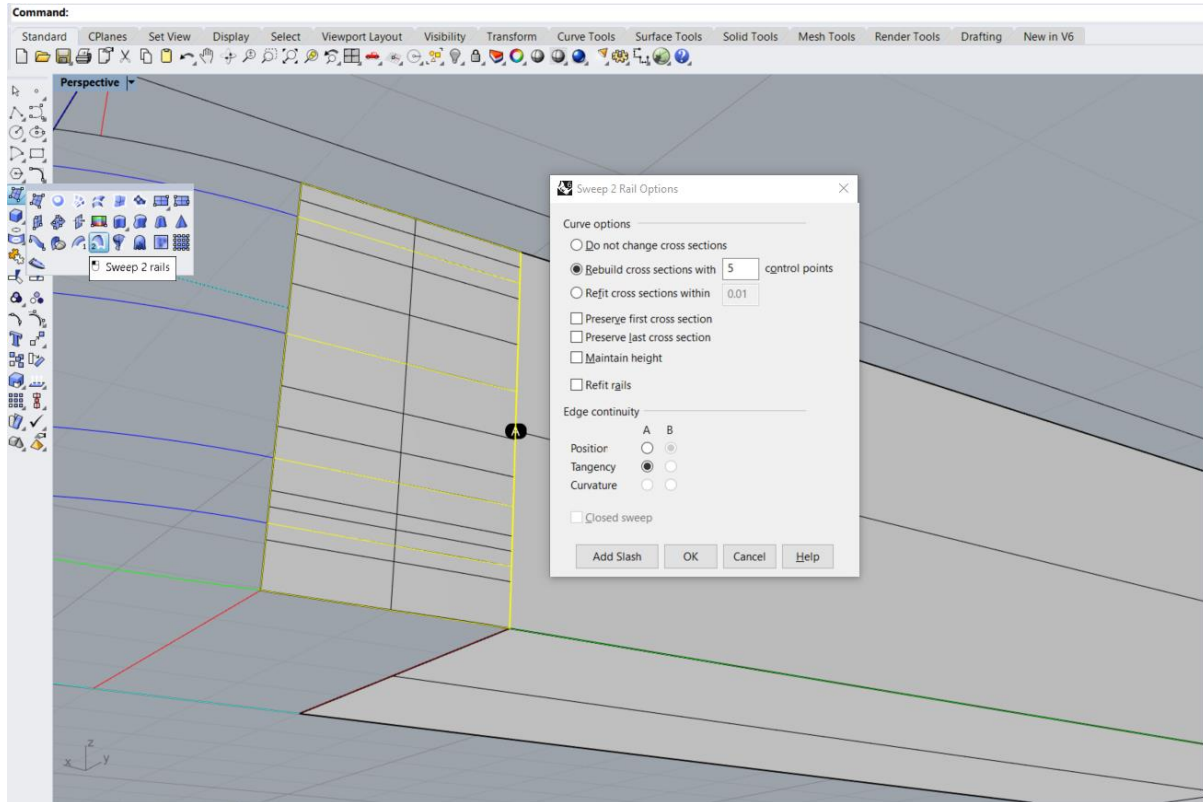
Στη συνέχεια θα σχηματίσουμε επιφάνειες ανάμεσα στους νομείς και τις ισάλους για να ολοκληρώσουμε την τρισδιάστατη απεικόνιση. Ξεκινάμε με τον πυθμένα του πλοίου τον οποίο σχεδιάζουμε φέρνοντας μία επιφάνεια στο βασικό επίπεδο με την εντολή “*surface > planar curve*” επιλέγοντας τα τέσσερα άκρα του, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 58 Σχεδίαση πυθμένα

Με την ίδια διαδικασία σχεδιάζουμε και το πλευρικό παράλληλο τμήμα του πλοίου.

Οι υπόλοιπες επιφάνειες θα περαστούν με τις εντολές “*surface > sweep 2 rails*” και “*surface > edge curves*”. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε την πρώτη εντολή πρέπει να έχουμε δύο οδηγούς που στην περίπτωσή μας θα είναι οι νομείς και ενδιάμεσες γραμμές που θα δώσουν σχήμα στην επιφάνεια και θα είναι οι ίσαλοι.

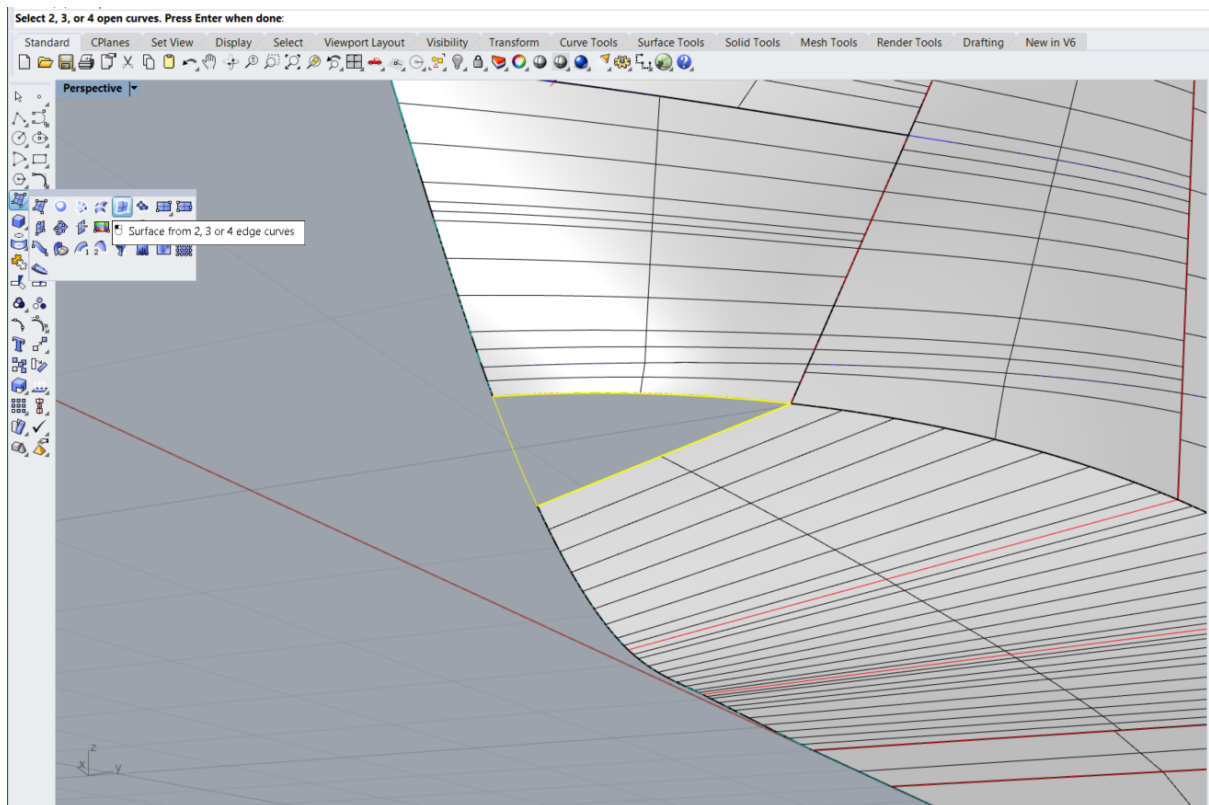


Εικόνα 59 Επιφάνεια με χρήση “*sweep2 rails*”

Επιλέγουμε πάντα πως η νέα επιφάνεια στις ακμές που συνορεύουν με άλλες επιφάνειες θα έχει ενεργοποιημένη την επιλογή “*tangency*”. Με όμοιο τρόπο σχεδιάζουμε όλες της επιφάνειες οι οποίες περιγράφονται με τέσσερις πλευρές.

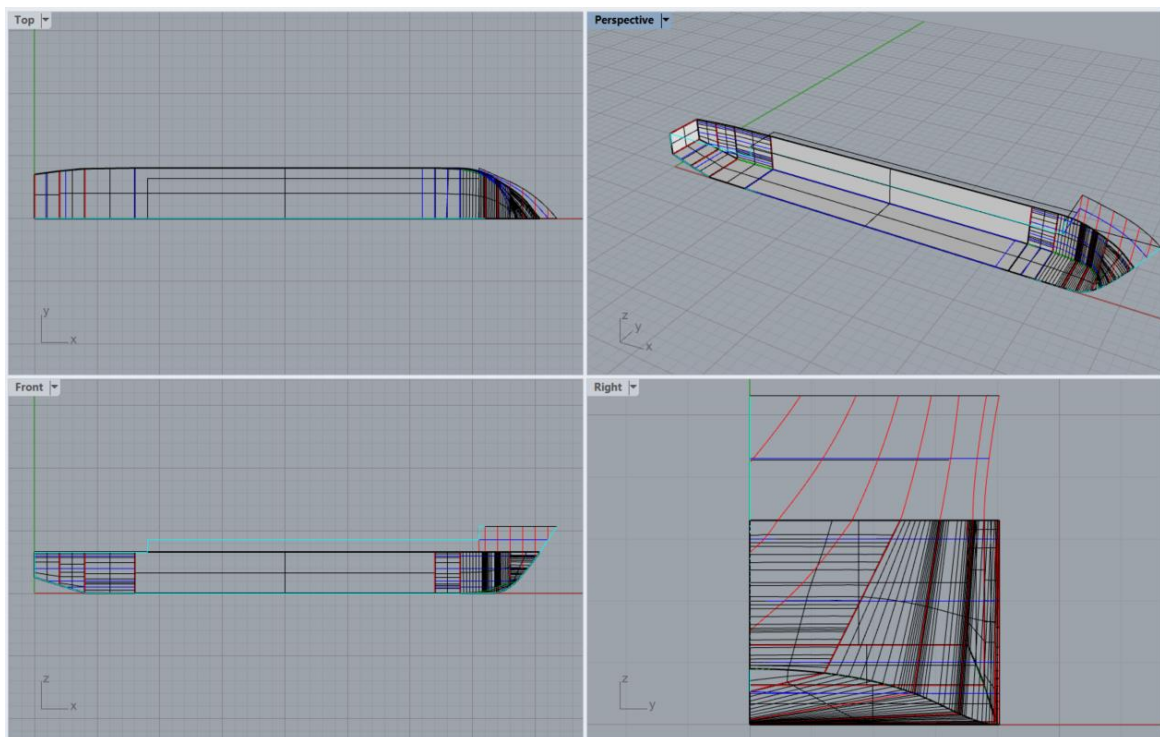
Για τις επιφάνειες που σχηματίζονται από τρεις πλευρές χρησιμοποιούμε την εντολή “*edge curves*” και επιλέγουμε τις πλευρές αυτές.





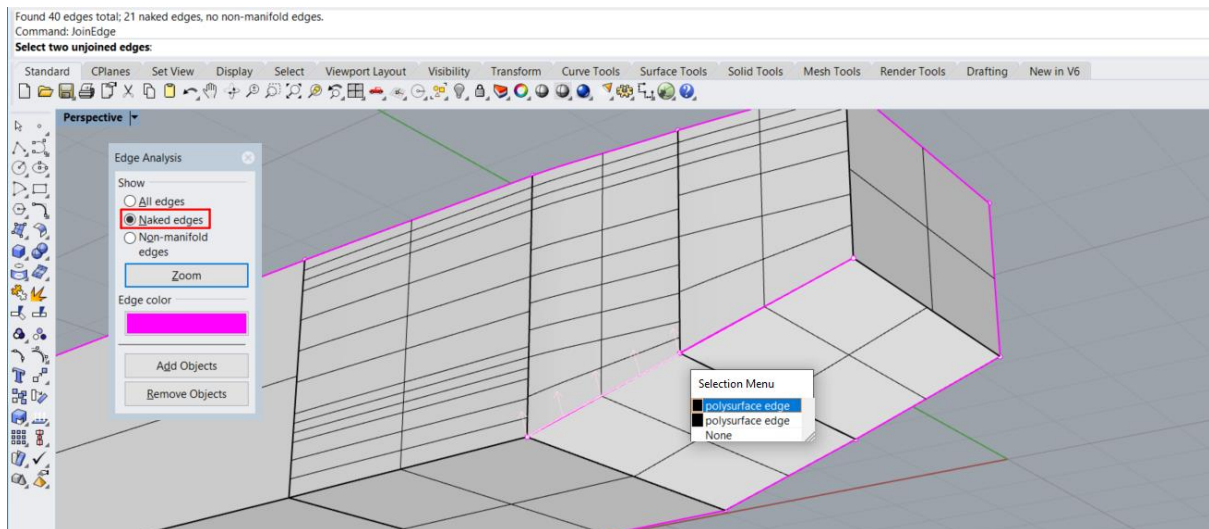
Εικόνα 60 Επιφάνεια με χρήση " edge curves"

Ακολουθούμε τη διαδικασία αυτή για όλες τις επιφάνειες της γάστρας μέχρι να μην υπάρχουν κενά.



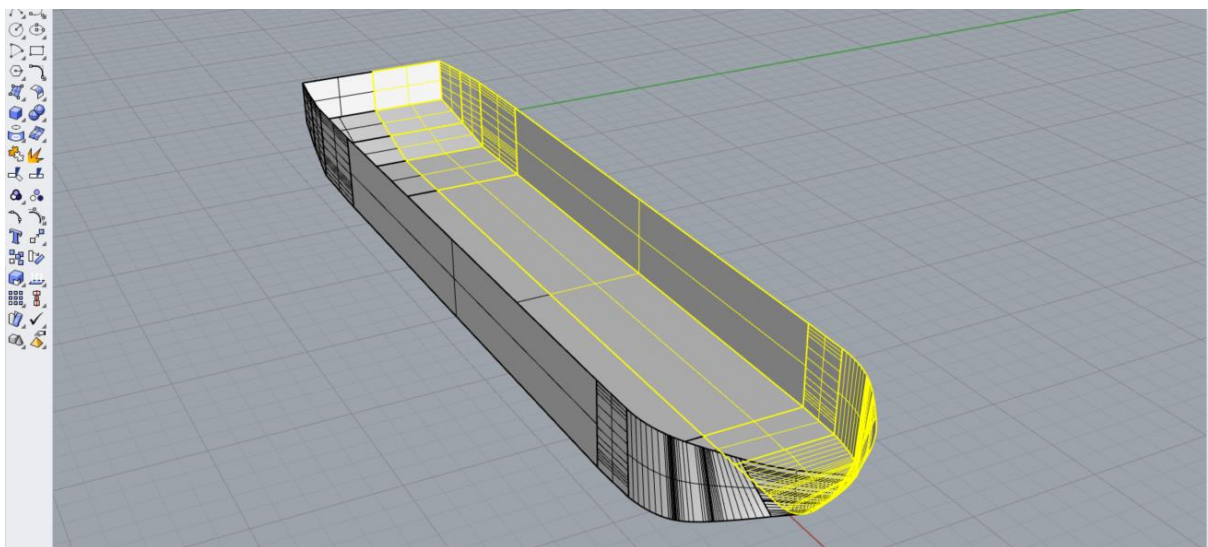
Εικόνα 61 Επιφάνεια γάστρας

Στο επόμενο βήμα θα ενώσουμε όλες τις επιμέρους επιφάνειες σε μία ενιαία. Επιλέγουμε όλες τις επιφάνειες και εκτελούμε την εντολή “join”. Λόγω της πολυπλοκότητας της επιφάνειας των πλοίων, πολλές φορές δημιουργούνται κενά στις ενώσεις. Για να κλείσουμε τα κενά αυτά επιλέγουμε όλη την επιφάνεια και εκτελούμε την εντολή “show edges” και επιλέγουμε στο παράθυρο επιλογών την επιλογή “naked edges”. Έτσι εντοπίζουμε τα κενά στην επιφάνειά μας τα οποία κλείνουμε με εντολή “join edge” επιλέγοντας τις ακμές που δεν έχουν ενωθεί μεταξύ τους.



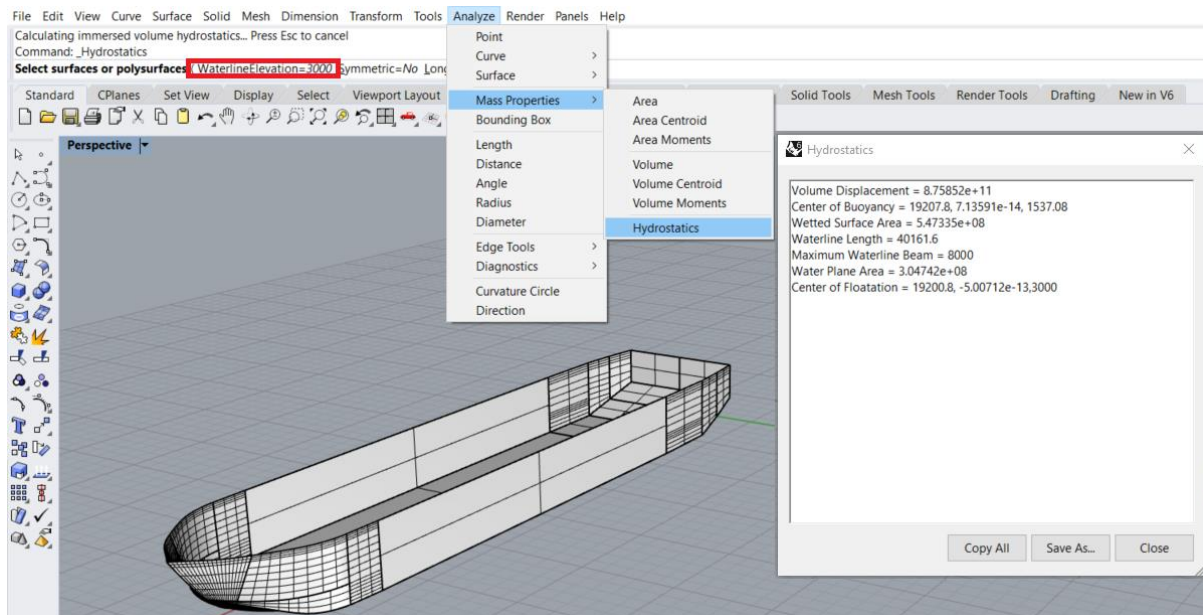
Εικόνα 62 Ένωση ανοιχτών ακμών

Τέλος, αφού το πλοίο είναι συμμετρικό κατά τον άξονα “X” με την εντολή “mirror” σχεδιάζουμε την άλλη πλευρά του πλοίου.



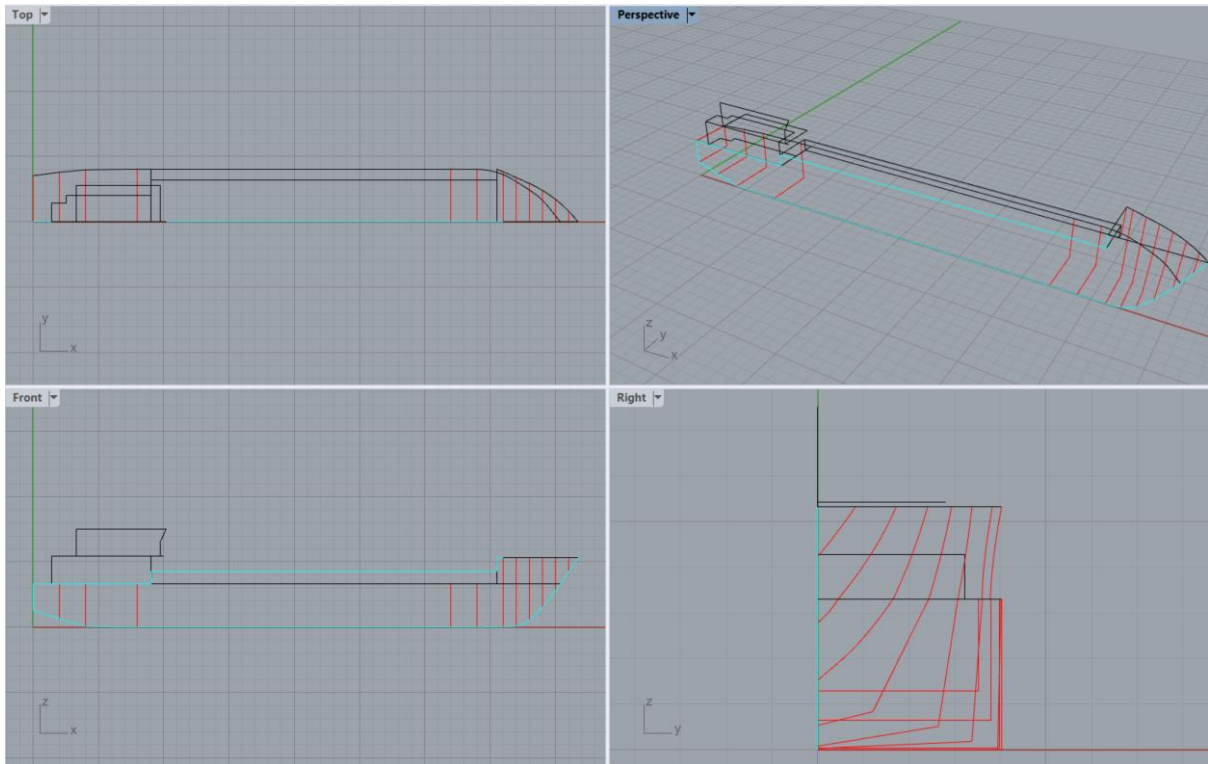
Εικόνα 63 Πλήρη σχεδίαση γάστρας

Τώρα που ολοκληρώθηκε η σχεδίαση της γάστρας μπορούμε ευκολιά να ελέγξουμε την ακρίβειά της συγκρίνοντας τα βασικά υδροστατικά της στοιχεία με αυτά που έχουμε λάβει από την προηγούμενη μελέτη ευστάθειας. Με την εντολή “*Analyze > Mass properties > Hydrostatics*” επιλέγοντας τα βυθίσματα που επιθυμούμε στη γραμμή εντολών (“*Water Elevation*”) λαμβάνουμε τις παρακάτω μετρήσεις.

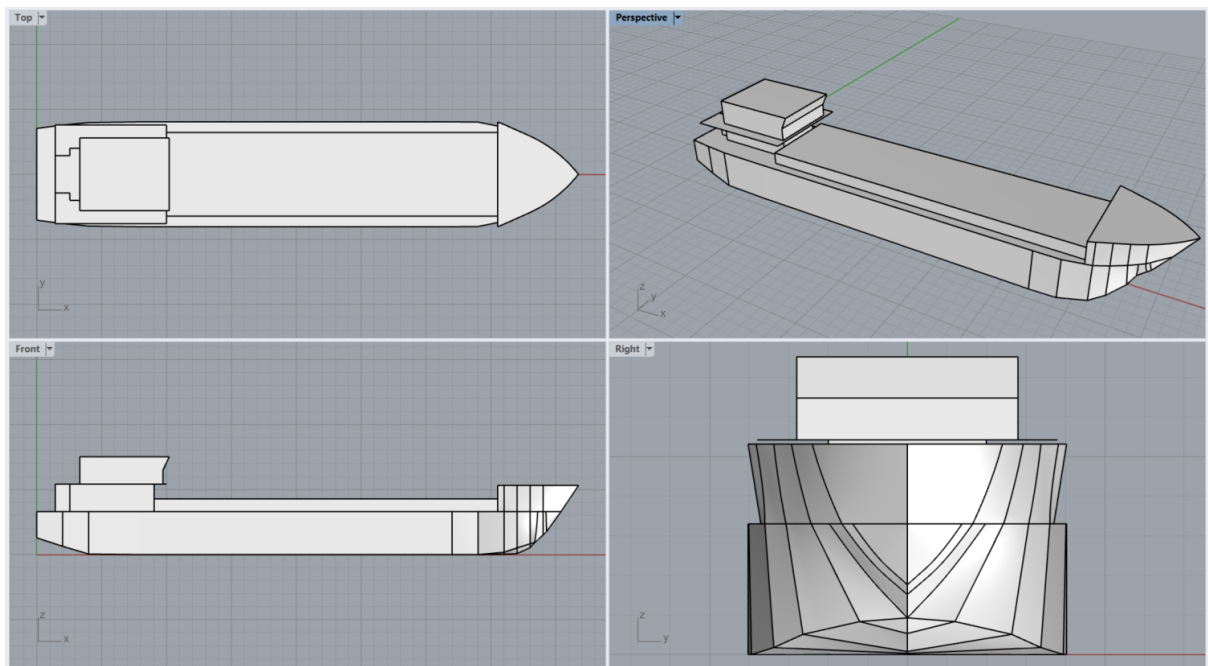


Εικόνα 64 Υδροστατική ανάλυση γάστρας

Για το σωστό υπολογισμό των καμπυλών ευστάθειας πρέπει στο μοντέλο μας να προσθέσουμε την υπερκατασκευή του πλοίου το “*top tanks deck*” και την κατασκευή του “*forecastle*”. Τα στοιχεία που χρειαζόμαστε για τα δύο τελευταία τα έχουμε από το σχέδιο γραμμών ενώ τις διαστάσεις της υπερκατασκευής τις λαμβάνουμε από το σχέδιο γενικής διάταξης. Αφού ολοκληρώσουμε τη διαδικασία αυτή με τη χρήση των εντολών που έχουμε ήδη αναφέρει σχεδιάζουμε τις υπολειπόμενες επιφάνειες και τις ενώνουμε με το υπάρχον μοντέλο.



Εικόνα 65 Υπερκατασκευής πλοίου



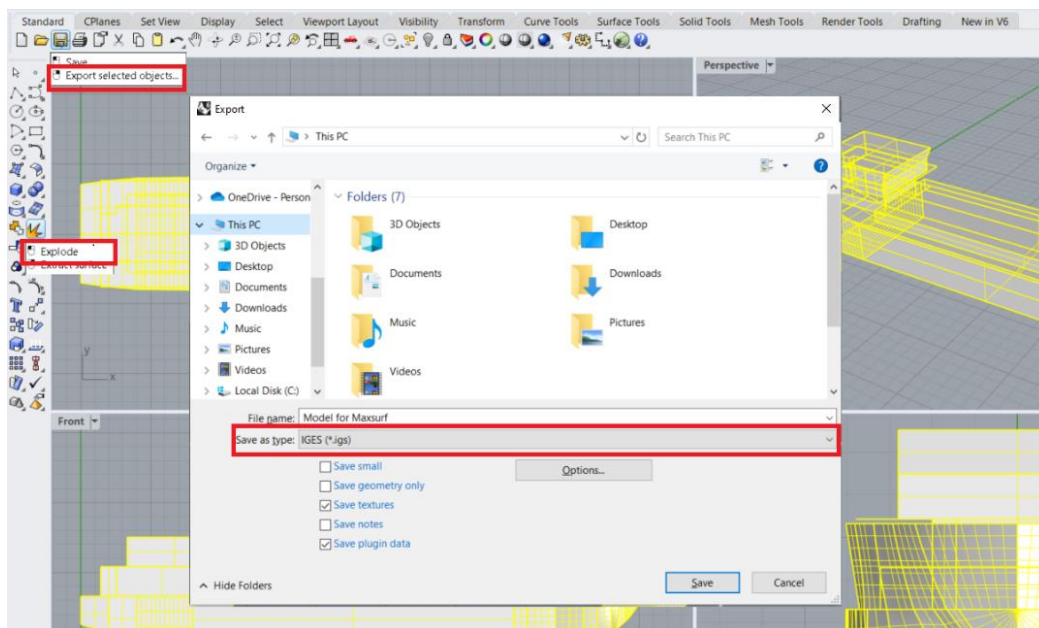
Εικόνα 66 Ολοκλήρωση μοντέλου

Αφού το μοντέλο ολοκληρώθηκε με επιτυχία μπορούμε να το εισάγουμε στο λογισμικό “Maxsurf” και να συνεχίσουμε με την πραγματοποίηση των υπολογισμών ευστάθειας.



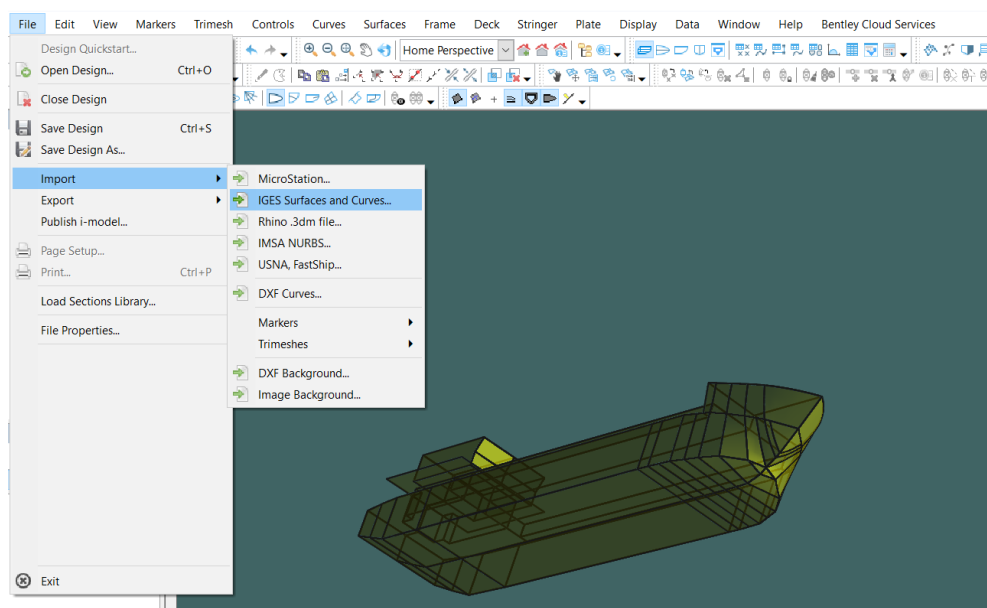
### 6.3.3 Εισαγωγή μοντέλου στο “Maxsurf” και έλεγχος γάστρας

Το πρώτο βήμα για την εισαγωγή του μοντέλου στο νέο πρόγραμμα είναι να γίνει εξαγωγή του αρχείου σε μορφή “.igs”. Επιλέγουμε στο “Rhino” όλο το πλοίο και με την εντολή “explode” χωρίζουμε πάλι το μοντέλο σε επιμέρους επιφάνειες. Στη συνέχεια επιλέγουμε τις επιφάνειες αυτές και εκτελούμε την εντολή “export selected” όπου στο μενού επιλογών θα διαλέξουμε τη μορφή “.igs”.



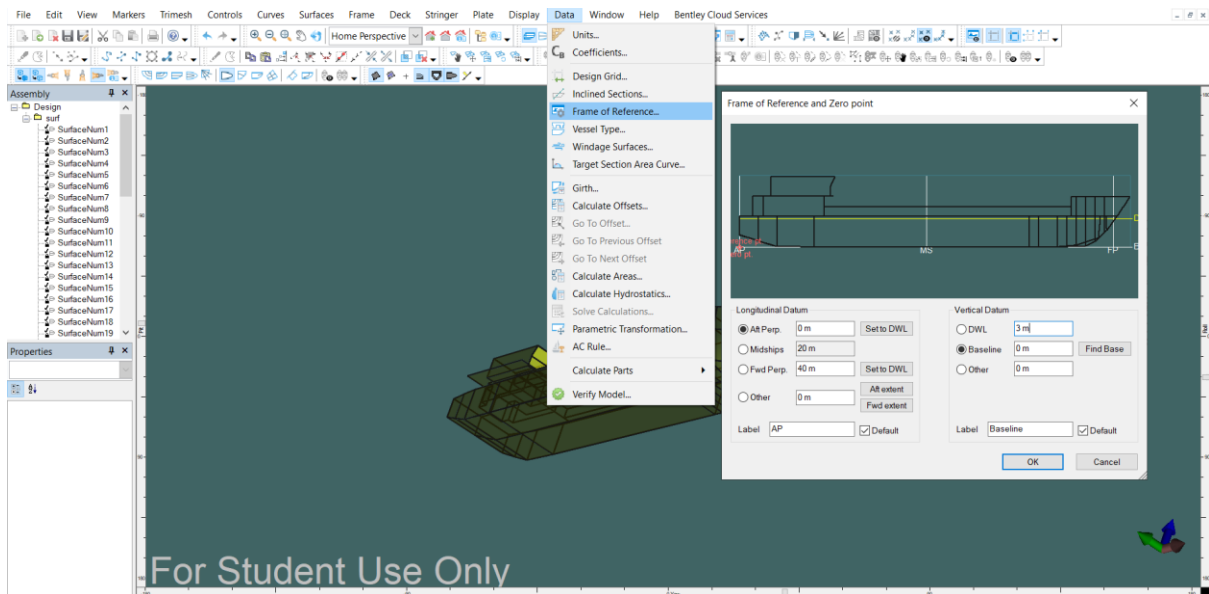
Εικόνα 67 Εξαγωγή μοντέλου σε μορφή “.igs”

Στο πρόγραμμα “Maxsurf Modeler” κάνουμε “import” το αρχείο.



Εικόνα 68 Εισαγωγή μοντέλου στο “Maxsurf”

Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό ευστάθειας στο σημείο αυτό με τη χρήση της επιλογής “Data”>“frame of reference” θα προσδιορίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του πλοίου.



Εικόνα 69 "Frame of reference"

Στο σημείο αυτό είμαστε έτοιμοι να εισάγουμε το μοντέλο στο “Maxsurf stability”.

Στο “Maxsurf stability” ανοίγουμε το μοντέλο μας στο “file> open design” και θα «τρέξουμε» την πρώτη μας ανάλυση που θα μας δώσει τον πίνακα υδροστατικών στοιχείων του πλοίου. Τα στοιχεία αυτά έπειτα θα πρέπει να συγκριθούν με τα στοιχεία της υπάρχουσας μελέτης διαγωγής και ευστάθειας με βάση τον κανονισμό του “IACS UR-L5 Req. 2004/Rev.4 2020”.

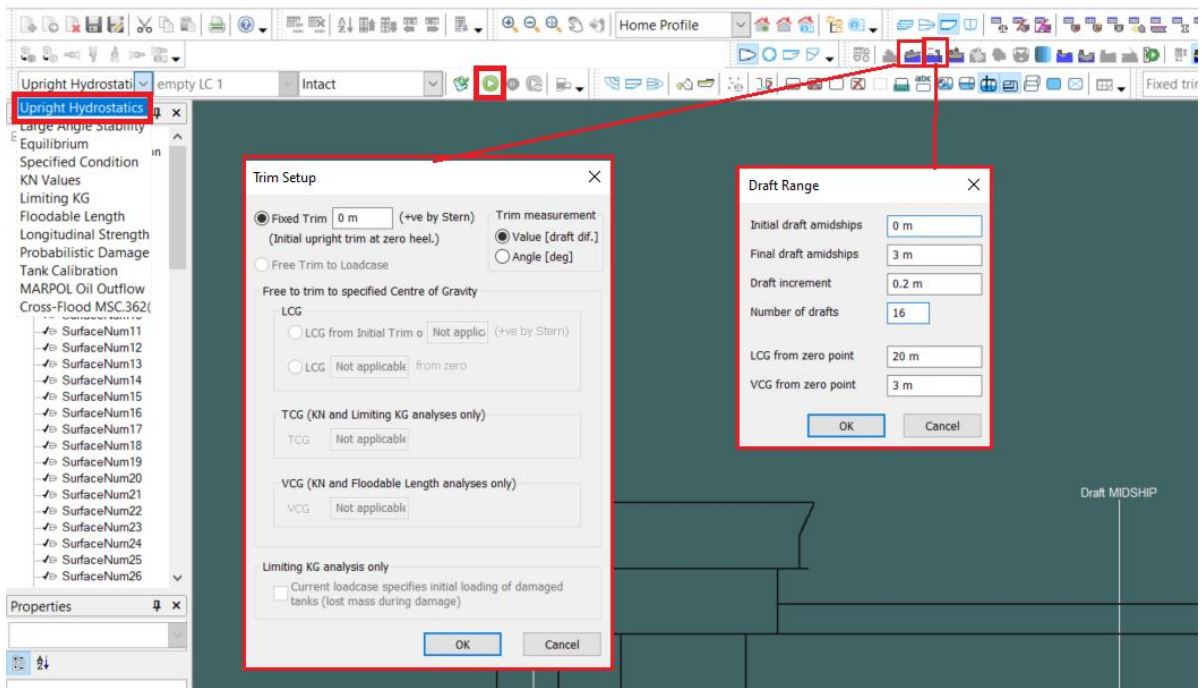
**L5**  
(cont'd)

Table 1

<b>Hull Form Dependent</b>	
Displacement	+/- 2%
Longitudinal center of buoyancy, from AP	+/- 1% / 50 cm
Vertical center of buoyancy	+/- 1% / 5 cm
Transverse center of buoyancy	+/- 0.5% of B / 5 cm
Longitudinal center of flotation, from AP	+/- 1% / 50 cm
Moment to trim 1 cm	+/- 2%
Transverse metacentric height	+/- 1% / 5 cm
Longitudinal metacentric height	+/- 1% / 50 cm
Cross curves of stability	+/- 5 cm
<b>Compartment dependent</b>	
Volume or deadweight	+/- 2%
Longitudinal center of gravity, from AP	+/- 1% / 50 cm
Vertical centre of gravity	+/- 1% / 5 cm
Transverse center of gravity	+/- 0.5% of B / 5 cm
Free surface moment	+/- 2%
Shifting moment	+/- 5%
Level of contents	+/- 2%
<b>Trim and stability</b>	
Draughts (forward, aft, mean)	+/- 1% / 5 cm
GMt (both solid and corrected for free surfaces)	+/- 1% / 5 cm
GZ values	+/- 5% / 5 cm
Downflooding angle	+/- 2°
Equilibrium angles	+/- 1°
Distance from WL to unprotected and weathertight openings, or other relevant point, if applicable	+/- 5% / 5 cm
Areas under righting arm curve	+/- 5% / 0.0012mrad

Πίνακας 2 Μέγιστη απόκλιση αποτελεσμάτων URL-5

Για την εκτέλεση του υπολογισμού υδροστατικών θα επιλέξουμε από την ανάλυση “*Upright Hydrostatics*” και θα δώσουμε βυθίσματα από 0 έως 3m με βήμα 0.2 και μηδενική διαγωγή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τέλος με το “*start analysis*” το πρόγραμμα είναι έτοιμο να υπολογίσει τον υδροστατικό πίνακα. Με τον τρόπο αυτό συγκρίνοντας τα υδροστατικά στοιχεία του μοντέλου με αυτά τις υπάρχουσας μελέτης μπορούμε να αξιολογήσουμε αν το μοντέλο είναι αξιόπιστο προκειμένου να προχωρήσουμε στους υπόλοιπους υπολογισμούς.



Εικόνα 70 Εκτέλεση ανάλυσης Upright Hydrostatics

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της υπάρχουσας μελέτης σε μορφή πινάκων.

DISPLACEMENT							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-2%	UR L5	
<b>DRAFT</b>					2.00%		
0.2	52.81	52.01	-0.80	NA	-1.5157%	PASS	PASS
0.4	108.20	106.6	-1.60	NA	-1.4778%	PASS	PASS
0.6	165.65	163.2	-2.45	NA	-1.4778%	PASS	PASS
0.8	224.52	221.2	-3.32	NA	-1.4778%	PASS	PASS
1	284.50	280.3	-4.20	NA	-1.4778%	PASS	PASS
1.2	345.51	340.3	-5.21	NA	-1.5068%	PASS	PASS
1.4	407.42	401.3	-6.12	NA	-1.5024%	PASS	PASS
1.6	469.64	462.4	-7.24	NA	-1.5417%	PASS	PASS
1.8	531.86	523.7	-8.16	NA	-1.5342%	PASS	PASS
2	594.28	585.1	-9.18	NA	-1.5451%	PASS	PASS
2.2	656.81	646.7	-10.11	NA	-1.5387%	PASS	PASS
2.4	719.53	708.5	-11.03	NA	-1.5334%	PASS	PASS
2.6	782.36	770.4	-11.96	NA	-1.5290%	PASS	PASS
2.8	845.39	832.5	-12.89	NA	-1.5251%	PASS	PASS
3	908.63	894.7	-13.93	NA	-1.5329%	PASS	PASS

Πίνακας 3 Απόκλιση εκτοπίσματος



LCB							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-1%		UR L5
DRAFT				0.5	1.00%		
0.2	19.916	19.772	-0.14445	PASS	-0.7253%	PASS	PASS
0.4	20.010	19.866	-0.1441	PASS	-0.7201%	PASS	PASS
0.6	19.941	19.797	-0.14361	PASS	-0.7202%	PASS	PASS
0.8	19.856	19.715	-0.14103	PASS	-0.7102%	PASS	PASS
1	19.756	19.616	-0.14033	PASS	-0.7103%	PASS	PASS
1.2	19.644	19.503	-0.14055	PASS	-0.7155%	PASS	PASS
1.4	19.536	19.394	-0.1418	PASS	-0.7258%	PASS	PASS
1.6	19.459	19.316	-0.14327	PASS	-0.7362%	PASS	PASS
1.8	19.407	19.259	-0.1479	PASS	-0.7621%	PASS	PASS
2	19.367	19.22	-0.14662	PASS	-0.7571%	PASS	PASS
2.2	19.339	19.193	-0.14643	PASS	-0.7572%	PASS	PASS
2.4	19.320	19.176	-0.1443	PASS	-0.7469%	PASS	PASS
2.6	19.309	19.164	-0.14523	PASS	-0.7521%	PASS	PASS
2.8	19.303	19.159	-0.14418	PASS	-0.7469%	PASS	PASS
3	19.301	19.158	-0.14317	PASS	-0.7418%	PASS	PASS

Πίνακας 4 Απόκλιση διαμήκους κέντρου άντωσης

LCF							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-1%		UR L5
DRAFT				0.5	1.00%		
0.2	20.040	19.874	-0.166048	PASS	-0.8286%	PASS	PASS
0.4	19.926	19.76	-0.166144	PASS	-0.8338%	PASS	PASS
0.6	19.721	19.561	-0.16052	PASS	-0.8139%	PASS	PASS
0.8	19.523	19.374	-0.149952	PASS	-0.7680%	PASS	PASS
1	19.250	19.099	-0.151784	PASS	-0.7885%	PASS	PASS
1.2	19.018	18.85	-0.168944	PASS	-0.8883%	PASS	PASS
1.4	18.948	18.77	-0.178384	PASS	-0.9414%	PASS	PASS
1.6	18.993	18.811	-0.182744	PASS	-0.9621%	PASS	PASS
1.8	19.036	18.857	-0.17908	PASS	-0.9407%	PASS	PASS
2	19.070	18.908	-0.162352	PASS	-0.8513%	PASS	PASS
2.2	19.118	18.963	-0.155736	PASS	-0.8146%	PASS	PASS
2.4	19.168	19.007	-0.161128	PASS	-0.8406%	PASS	PASS
2.6	19.220	19.062	-0.158544	PASS	-0.8249%	PASS	PASS
2.8	19.266	19.116	-0.150912	PASS	-0.7833%	PASS	PASS
3	19.321	19.171	-0.150344	PASS	-0.7781%	PASS	PASS

Πίνακας 5 Απόκλιση διαμήκους θέσης κέντρου πλευστότητας

TRANSVERSE METACENTRIC HEIGHT							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-1%	UR L5	
DRAFT				0.05	1.00%		
0.2	25.971	25.951	-0.01994	PASS	-0.0768%	PASS	PASS
0.4	12.304	12.293	-0.01129	PASS	-0.0918%	PASS	PASS
0.6	7.835	7.796	-0.03898	PASS	-0.4975%	PASS	PASS
0.8	5.633	5.604	-0.02903	PASS	-0.5153%	PASS	PASS
1	4.355	4.332	-0.02266	PASS	-0.5205%	PASS	PASS
1.2	3.540	3.521	-0.01861	PASS	-0.5258%	PASS	PASS
1.4	2.963	2.946	-0.01674	PASS	-0.5650%	PASS	PASS
1.6	2.547	2.532	-0.01467	PASS	-0.5760%	PASS	PASS
1.8	2.250	2.237	-0.01319	PASS	-0.5864%	PASS	PASS
2	2.037	2.025	-0.01214	PASS	-0.5957%	PASS	PASS
2.2	1.883	1.872	-0.01137	PASS	-0.6037%	PASS	PASS
2.4	1.774	1.763	-0.01083	PASS	-0.6103%	PASS	PASS
2.6	1.698	1.688	-0.01045	PASS	-0.6153%	PASS	PASS
2.8	1.648	1.639	-0.0092	PASS	-0.5582%	PASS	PASS
3	1.620	1.611	-0.00906	PASS	-0.5592%	PASS	PASS

Πίνακας 6 Απόκλιση εγκάρσιου μετακεντρικού ύψους

LONGITUDINAL METACENTRIC HEIGHT							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-1%	UR L5	
DRAFT				0.5	1.00%		
0.2	463.202	462.785	-0.417	PASS	-0.0900%	PASS	PASS
0.4	249.207	248.902	-0.305	PASS	-0.1224%	PASS	PASS
0.6	175.562	175.482	-0.08	PASS	-0.0456%	PASS	PASS
0.8	138.476	138.613	0.137	PASS	0.0989%	PASS	PASS
1	114.786	114.818	0.032	PASS	0.0279%	PASS	PASS
1.2	99.784	99.5	-0.284	PASS	-0.2846%	PASS	PASS
1.4	86.862	86.485	-0.377	PASS	-0.4340%	PASS	PASS
1.6	75.907	75.531	-0.376	PASS	-0.4953%	PASS	PASS
1.8	67.485	67.211	-0.274	PASS	-0.4060%	PASS	PASS
2	60.763	60.698	-0.065	PASS	-0.1070%	PASS	PASS
2.2	55.456	55.466	0.01	PASS	0.0180%	PASS	PASS
2.4	51.087	51.05	-0.037	PASS	-0.0724%	PASS	PASS
2.6	47.451	47.435	-0.016	PASS	-0.0337%	PASS	PASS
2.8	44.322	44.365	0.043	PASS	0.0970%	PASS	PASS
3	41.686	41.734	0.048	PASS	0.1151%	PASS	PASS

Πίνακας 7 Απόκλιση διαμήκους μετακεντρικού ύψους

VCB / KB							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	+/-1%		UR L5
DRAFT				0.05	1.00%		
0.2	0.10403	0.103	-0.00103	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
0.4	0.20604	0.205	-0.00104	PASS	-0.5048%	PASS	PASS
0.6	0.31007	0.307	-0.00307	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
0.8	0.4141	0.411	-0.0031	PASS	-0.7486%	PASS	PASS
1	0.51813	0.514	-0.00413	PASS	-0.7971%	PASS	PASS
1.2	0.62317	0.618	-0.00517	PASS	-0.8296%	PASS	PASS
1.4	0.72821	0.721	-0.00721	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
1.6	0.83224	0.824	-0.00824	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
1.8	0.93526	0.927	-0.00826	PASS	-0.8832%	PASS	PASS
2	1.03929	1.029	-0.01029	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
2.2	1.14231	1.131	-0.01131	PASS	-0.9901%	PASS	PASS
2.4	1.24432	1.233	-0.01132	PASS	-0.9097%	PASS	PASS
2.6	1.34734	1.335	-0.01234	PASS	-0.9159%	PASS	PASS
2.8	1.45036	1.437	-0.01336	PASS	-0.9212%	PASS	PASS
3	1.55338	1.539	-0.01438	PASS	-0.9257%	PASS	PASS

Πίνακας 8 Απόκλιση εγκάρσιου κέντρου άντωσης

10 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	1.398	1.388	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
250	1.163	1.203	0.04	PASS	NA	NA	PASS
300	1.008	0.998	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
350	0.899	0.859	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
400	0.819	0.839	0.02	PASS	NA	NA	PASS
450	0.759	0.729	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
500	0.713	0.753	0.04	PASS	NA	NA	PASS
550	0.677	0.707	0.03	PASS	NA	NA	PASS
600	0.650	0.690	0.04	PASS	NA	NA	PASS
650	0.629	0.629	0.00	PASS	NA	NA	PASS
700	0.613	0.643	0.03	PASS	NA	NA	PASS
750	0.601	0.601	0.00	PASS	NA	NA	PASS
800	0.587	0.617	0.03	PASS	NA	NA	PASS
850	0.558	0.588	0.03	PASS	NA	NA	PASS
900	0.528	0.568	0.04	PASS	NA	NA	PASS
950	0.502	0.482	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
1000	0.480	0.470	-0.01	PASS	NA	NA	PASS

Πίνακας 9 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 10°

20 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	2.253	2.253	0.00	PASS	NA	NA	PASS
250	2.083	2.103	0.02	PASS	NA	NA	PASS
300	1.931	1.931	0.00	PASS	NA	NA	PASS
350	1.792	1.802	0.01	PASS	NA	NA	PASS
400	1.663	1.683	0.02	PASS	NA	NA	PASS
450	1.546	1.586	0.04	PASS	NA	NA	PASS
500	1.453	1.423	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
550	1.380	1.340	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
600	1.310	1.320	0.01	PASS	NA	NA	PASS
650	1.239	1.279	0.04	PASS	NA	NA	PASS
700	1.176	1.136	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
750	1.122	1.102	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
800	1.076	1.086	0.01	PASS	NA	NA	PASS
850	1.039	1.039	0.00	PASS	NA	NA	PASS
900	1.009	1.029	0.02	PASS	NA	NA	PASS
950	0.979	0.939	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
1000	0.947	0.957	0.01	PASS	NA	NA	PASS

Πίνακας 10 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 20°

30 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	2.622	2.632	0.01	PASS	NA	NA	PASS
250	2.527	2.507	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
300	2.440	2.440	0.00	PASS	NA	NA	PASS
350	2.361	2.391	0.03	PASS	NA	NA	PASS
400	2.270	2.250	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
450	2.164	2.154	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
500	2.059	2.099	0.04	PASS	NA	NA	PASS
550	1.958	1.998	0.04	PASS	NA	NA	PASS
600	1.861	1.901	0.04	PASS	NA	NA	PASS
650	1.770	1.750	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
700	1.690	1.720	0.03	PASS	NA	NA	PASS
750	1.619	1.619	0.00	PASS	NA	NA	PASS
800	1.554	1.594	0.04	PASS	NA	NA	PASS
850	1.495	1.535	0.04	PASS	NA	NA	PASS
900	1.440	1.430	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
950	1.390	1.380	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
1000	1.345	1.385	0.04	PASS	NA	NA	PASS

Πίνακας 11 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 30°

40 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	2.800	2.780	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
250	2.762	2.782	0.02	PASS	NA	NA	PASS
300	2.699	2.699	0.00	PASS	NA	NA	PASS
350	2.618	2.648	0.03	PASS	NA	NA	PASS
400	2.541	2.501	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
450	2.470	2.430	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
500	2.404	2.444	0.04	PASS	NA	NA	PASS
550	2.335	2.385	0.05	PASS	NA	NA	PASS
600	2.263	2.243	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
650	2.189	2.169	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
700	2.114	2.164	0.05	PASS	NA	NA	PASS
750	2.038	2.038	0.00	PASS	NA	NA	PASS
800	1.964	1.954	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
850	1.894	1.884	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
900	1.831	1.801	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
950	1.775	1.815	0.04	PASS	NA	NA	PASS
1000	1.727	1.687	-0.04	PASS	NA	NA	PASS

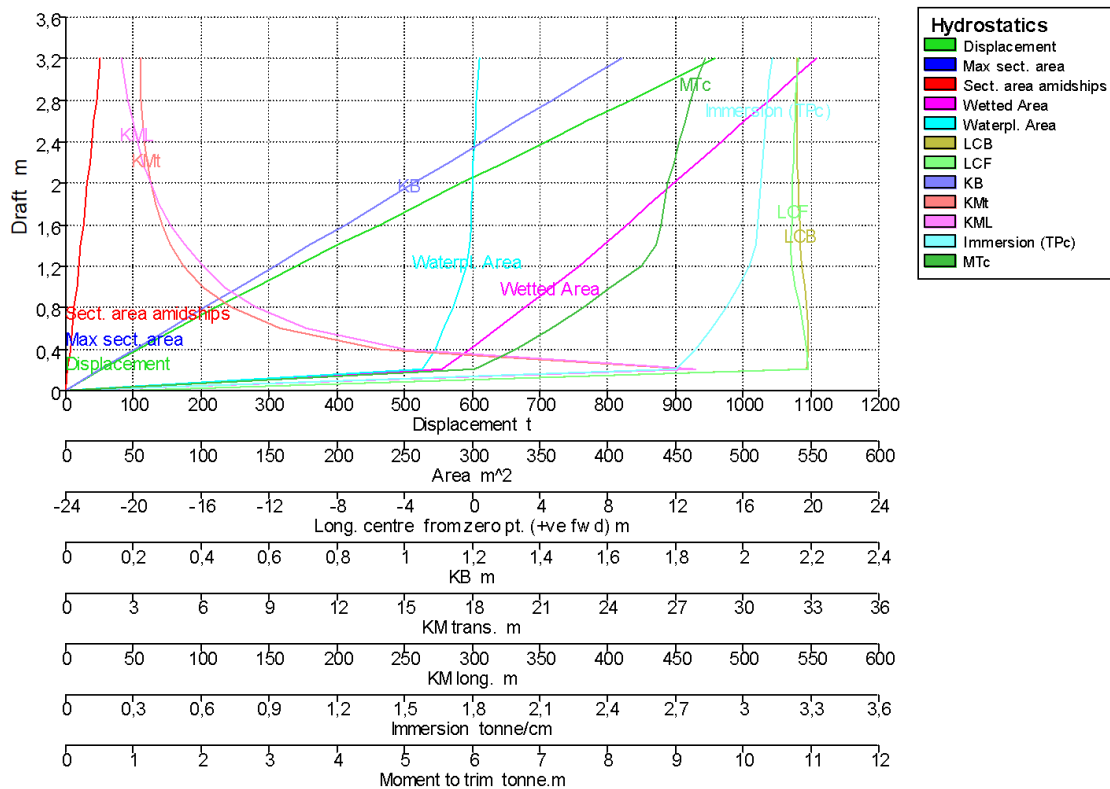
Πίνακας 12 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 40°

50 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	2.837	2.827	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
250	2.800	2.760	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
300	2.754	2.774	0.02	PASS	NA	NA	PASS
350	2.717	2.737	0.02	PASS	NA	NA	PASS
400	2.682	2.662	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
450	2.636	2.636	0.00	PASS	NA	NA	PASS
500	2.584	2.624	0.04	PASS	NA	NA	PASS
550	2.529	2.569	0.04	PASS	NA	NA	PASS
600	2.475	2.465	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
650	2.425	2.385	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
700	2.379	2.389	0.01	PASS	NA	NA	PASS
750	2.334	2.314	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
800	2.289	2.329	0.04	PASS	NA	NA	PASS
850	2.243	2.253	0.01	PASS	NA	NA	PASS
900	2.197	2.167	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
950	2.148	2.108	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
1000	2.096	2.096	0.00	PASS	NA	NA	PASS

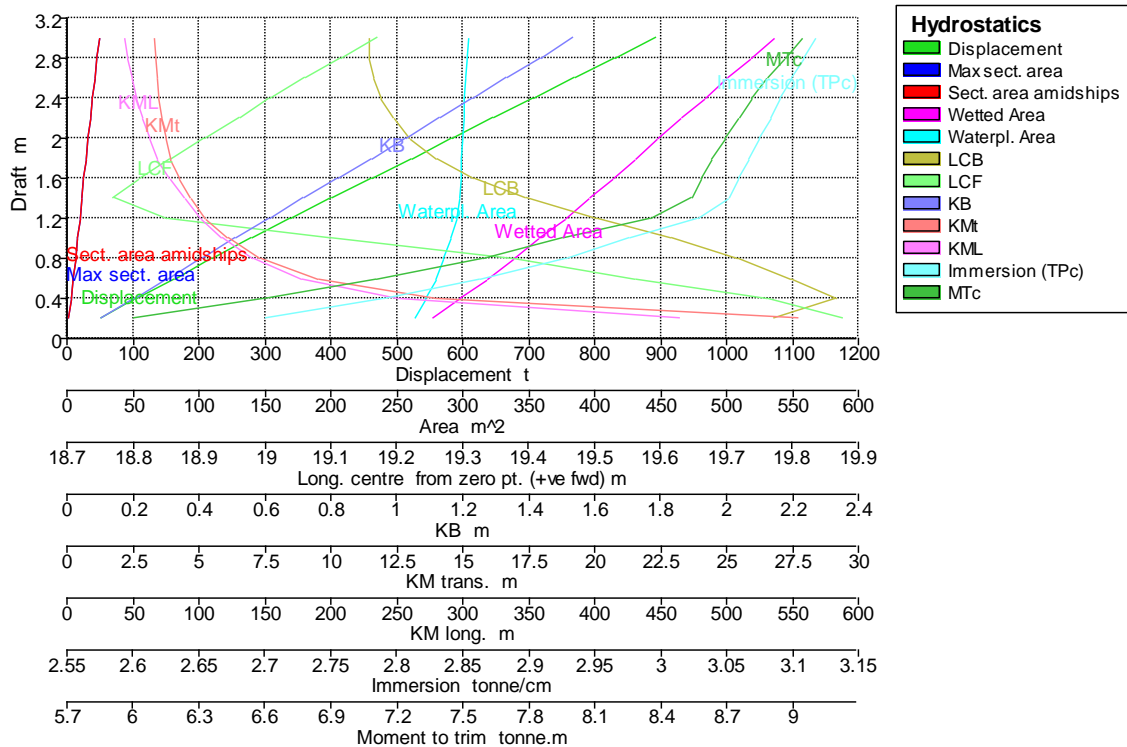
Πίνακας 13 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 50°

60 deg KN (m)							
TYPE	trim & stability booklet	model	Diff	Less than	NA		UR L5
Displacement				0.05			
200	2.714	2.744	0.03	PASS	NA	NA	PASS
250	2.712	2.692	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
300	2.720	2.740	0.02	PASS	NA	NA	PASS
350	2.711	2.721	0.01	PASS	NA	NA	PASS
400	2.687	2.657	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
450	2.655	2.625	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
500	2.629	2.589	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
550	2.611	2.591	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
600	2.597	2.557	-0.04	PASS	NA	NA	PASS
650	2.582	2.532	-0.05	PASS	NA	NA	PASS
700	2.564	2.534	-0.03	PASS	NA	NA	PASS
750	2.541	2.521	-0.02	PASS	NA	NA	PASS
800	2.514	2.554	0.04	PASS	NA	NA	PASS
850	2.483	2.473	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
900	2.448	2.438	-0.01	PASS	NA	NA	PASS
950	2.410	2.420	0.01	PASS	NA	NA	PASS
1000	2.368	2.328	-0.04	PASS	NA	NA	PASS

Πίνακας 14 Απόκλιση παραμετρικών καμπυλών ευστάθειας στις 60°



Εικόνα 71 Trim & Stability Booklet Hydrostatic Curves



Εικόνα 72 Models Hydrostatic Curves

### 6.3.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

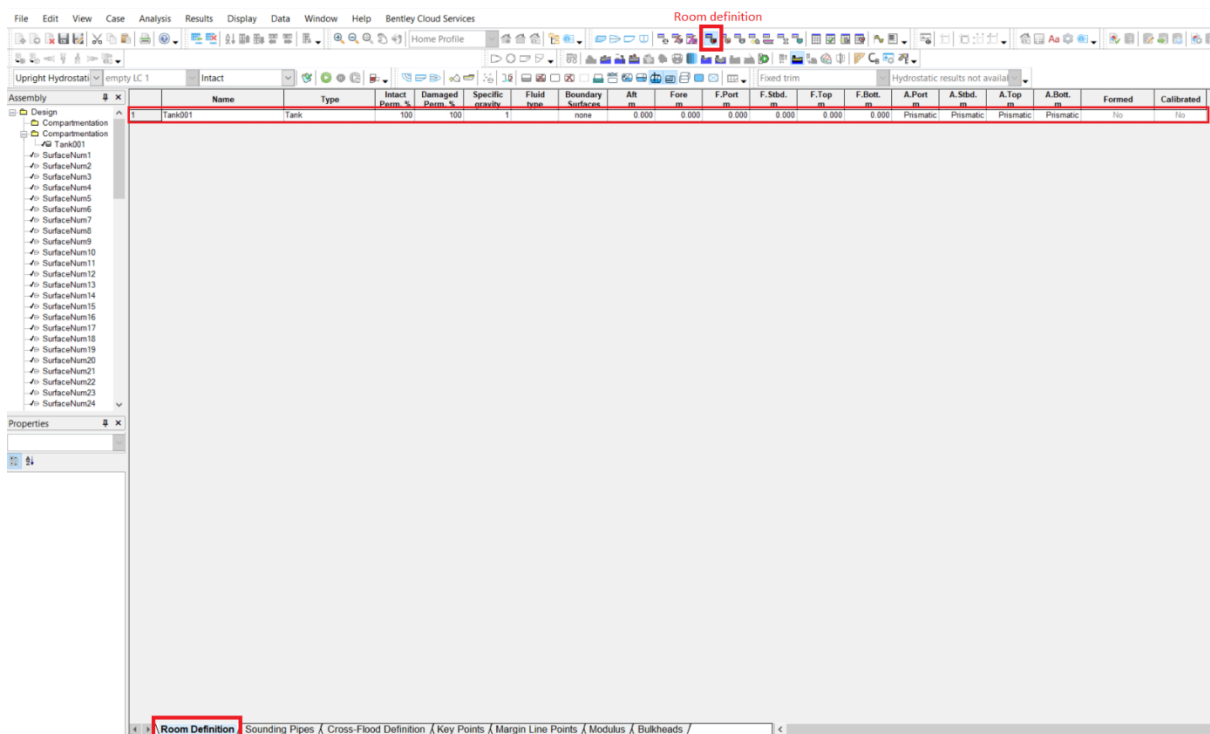
- Παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα των υδροστατικών στοιχείων του μοντέλου βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων άρα το μοντέλο μας είναι αξιόπιστο.
- Για τη σύγκριση των τιμών χρησιμοποιήθηκε είτε η ποσοστιαία απόκλιση, είτε η ποσοτική τους διαφορά ή σε αρκετές μετρήσεις και οι δύο μέθοδοι.
- Στα σημεία όπου στην αρχική σύγκριση παρατηρήθηκε σημαντικό σφάλμα έγινε διόρθωση του μοντέλου μέχρι να ικανοποιεί τα κριτήρια.

Έχοντας εξασφαλίσει μια σωστή γεωμετρία γάστρας μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στη μοντελοποίηση των δεξαμενών και στην εκτέλεση των υπολογισμών ευστάθειας.

### 6.3.5 Σχεδίαση διαμερισμάτων και δεξαμενών

Το πρόγραμμα του “Maxsurf stability” δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη του να μοντελοποιήσει διαμερίσματα και δεξαμενές προσδιορίζοντας τα ακραία σημεία τους. Όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε κάποιο χώρο που ακολουθεί τη μορφή της γάστρας τότε στα ακραία σημεία θα δώσουμε μεγαλύτερες τιμές από τα όρια του πλοίου μας έτσι ώστε ο χώρος να σχεδιαστεί εξέχοντας από αυτό και το πρόγραμμα έπειτα θα «κόψει» το περισσευούμενο κομμάτι και θα του δώσει τη μορφή που πρέπει.

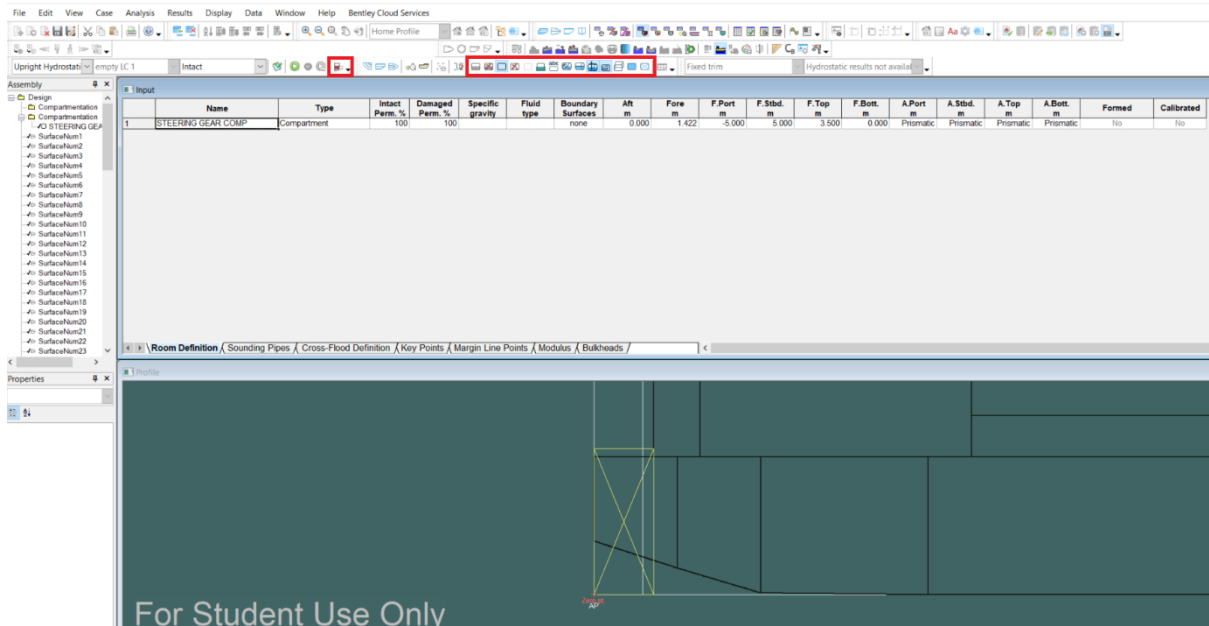
Από το “*tool bar*” θα επιλέξουμε το “*room definition*” και θα μεταφερθούμε στην καρτέλα προσδιορισμού των χώρων. Στο σημείο αυτό θα χρειαστεί να έχουμε στη διάθεση μας το σχέδιο γενικής διάταξης από το οποίο θα πρέπει να μετράμε τα όρια των διαμερισμάτων και δεξαμενών μας από το σημείο που έχουμε ορίσει ως “*zero point*”, στην περίπτωσή μας δηλαδή το ακροπρυμναίο σημείο του πλοίου. Πληκτρολογώντας “*Ctrl+A*” μας δίνεται η δυνατότητα να συμπληρώσουμε την πρώτη γραμμή.



Εικόνα 73 Room definition window

Στη γραμμή αυτή δίνουμε πρώτα το όνομα της δεξαμενής ή διαμερίσματος που σχεδιάζουμε έπειτα τον τύπο (“*Tank or Compartment*”) το ποσοστό πληρότητας σε άθικτη κατάσταση και σε περίπτωση βλάβης. Στην περίπτωση που σχεδιάζουμε δεξαμενή μπορούμε να συμπληρώσουμε τον τύπο ρευστού που θα δέχεται και το ειδικό βάρος του ρευστού αυτού. Τέλος ορίζουμε τα σημεία του χώρου μας σε μέτρα ξεκινώντας από το ακροπρυμναίο και ακροπρωαίο σημείο μετρούμενα από το σημείο μηδέν, προχωράμε στις εγκάρσιες πλευρές μετρούμενες από την “*centerline*” (με θετική πλευρά την “*Stb*”) και τελευταίες ορίζουμε την άνω και την κάτω πλευρά μετρούμενες από την βασική γραμμή. Στην περίπτωση που η δεξαμενή μας δεν είναι πρισματική, στα σημεία που δίνεται η επιλογή “*Prismatic*” μπορούμε να δώσουμε επιπλέον πληροφορία όπως την κλίση μιας πλευράς ή την αλλαγή του ύψους.

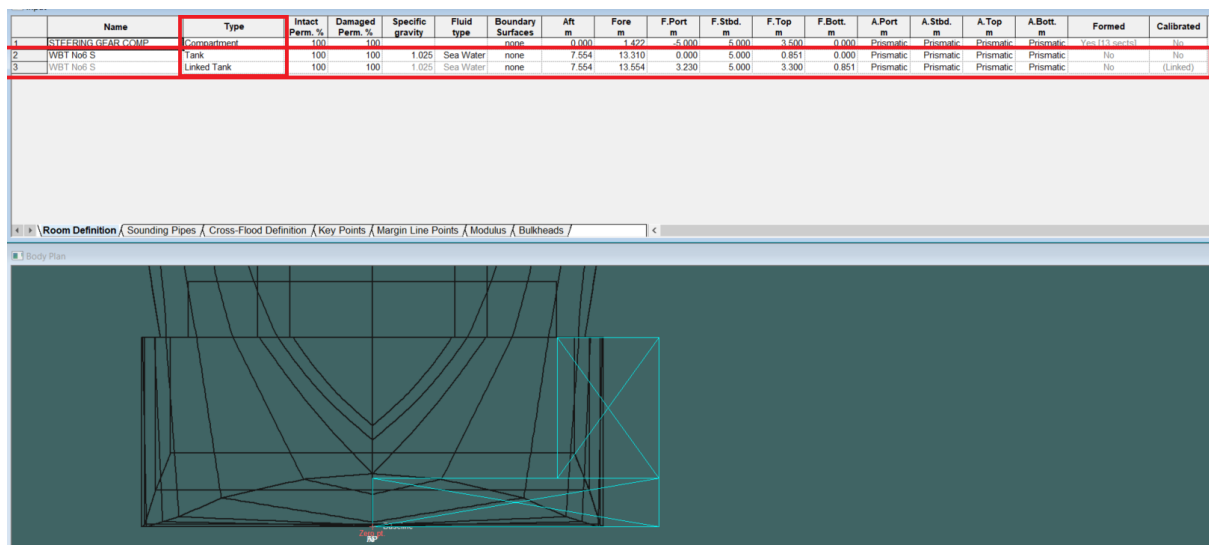




Εικόνα 74 Σχεδίαση διαμερίσματος "Steering Gear"

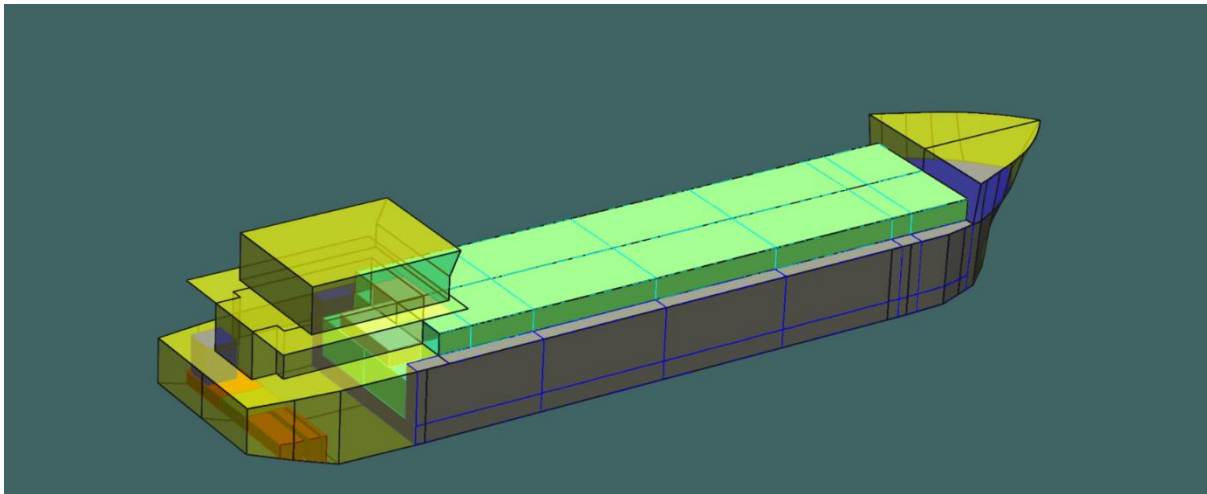
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τη σχεδίαση του διαμερίσματος "Steering Gear". Παρατηρούμε πως το διαμέρισμα εκτείνεται εκτός των ορίων του πλοίου, γεγονός που οφείλεται στις ακραίες τιμές των ορίων μας. Για να υπολογιστεί σωστά το διαμέρισμα πρέπει να επιλέξουμε "Update loads" όπως φαίνεται στην εικόνα στα άνω αριστερά της γραμμής εντολών. Στην εικόνα φαίνονται επίσης στο κέντρο τα εργαλεία απεικόνισης διαμερισμάτων και δεξαμενών.

Αν μια δεξαμενή έχει πολύ ιδιαίτερη μορφή με παραπάνω από έξι πλευρές τότε σχεδιάζουμε δύο δεξαμενές με το ίδιο όνομα την μία κάτω από την άλλη και στην στήλη "Type" επιλέγουμε το "link tank".



Εικόνα 75 Σχεδίαση δεξαμενής ακανόνιστου σχήματος ως "Link Tank"

Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζουμε όλα τα υπόλοιπα διαμερίσματα και δεξαμενές του πλοίου.



Εικόνα 76 Τελική μορφή δεξαμενών

## 6.4 Μελέτη Ευστάθειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιήσουμε τους υπολογισμούς της μελέτης άθικτης ευστάθειας δεξαμενοπλοίου σύμφωνα με τους προαναφερθέντες κανονισμούς.

### 6.4.1 Καταστάσεις φόρτωσης

Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών ευστάθειας είναι απαραίτητο να μοντελοποιήσουμε τις καταστάσεις φόρτωσης που απαιτούν οι κανονισμοί να μελετήσουμε.

Οι καταστάσεις είναι:

1. Το πλοίο σε πλήρη φόρτωση κατά την αναχώρηση από το λιμάνι, με το φορτίο του ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλους τους χώρους φορτίου και πλήρως εξοπλισμένο με προμήθειες και καύσιμα.
2. Το πλοίο σε πλήρη φόρτωση κατά την άφιξη στο λιμάνι, με το φορτίο του ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλους τους χώρους φορτίου και με το 10% των προμηθειών και καυσίμων.
3. Το πλοίο σε κατάσταση ερματισμού κατά την αναχώρηση από το λιμάνι, χωρίς φορτίο αλλά πλήρως εξοπλισμένο με προμήθειες και καύσιμα.
4. Το πλοίο σε κατάσταση ερματισμού κατά την άφιξη στο λιμάνι, χωρίς φορτίο και με το 10% των προμηθειών και καυσίμων.

Για την πραγματοποίηση των καταστάσεων φόρτωσης επιλέγουμε το *:Load case window*". Με *"CtrlA"* «ανοίγουμε» το παράθυρο *"Loadcase Properties"* όπου θα δηλώσουμε την πρώτη

κατάσταση φόρτωσης. Επιλέγουμε ως πρώτη κατάσταση την “Lightship” η οποία δε θα μελετηθεί αλλά θα χρησιμοποιηθεί ως πρότυπη για της επόμενες. Μόλις ορίσουμε την ονομασία μπορούμε με την διαδικασία κατά τον ορισμό διαμερισμάτων και δεξαμενών να προσθέσουμε τα «σταθερά» βάρη του πλοίου, όπως το βάρος άφορου πλοίου, το βάρος πληρώματος και τις προμήθειες.

The screenshot shows the Bentley Shipwright software interface. The main window displays a table of load cases with the following columns: Item Name, Quantity, Unit Mass (tonne), Total Mass (tonne), Unit Volume (m<sup>3</sup>), Total Volume (m<sup>3</sup>), Long. Arm (m), Trans. Arm (m), Vert. Arm (m), Total F SM (tonne.m), and FSM Type. The first row is highlighted in red, representing the 'Lightship' case. A 'Loadcase Properties' dialog box is open on the right, showing the name 'Lightship' and options for loading values.

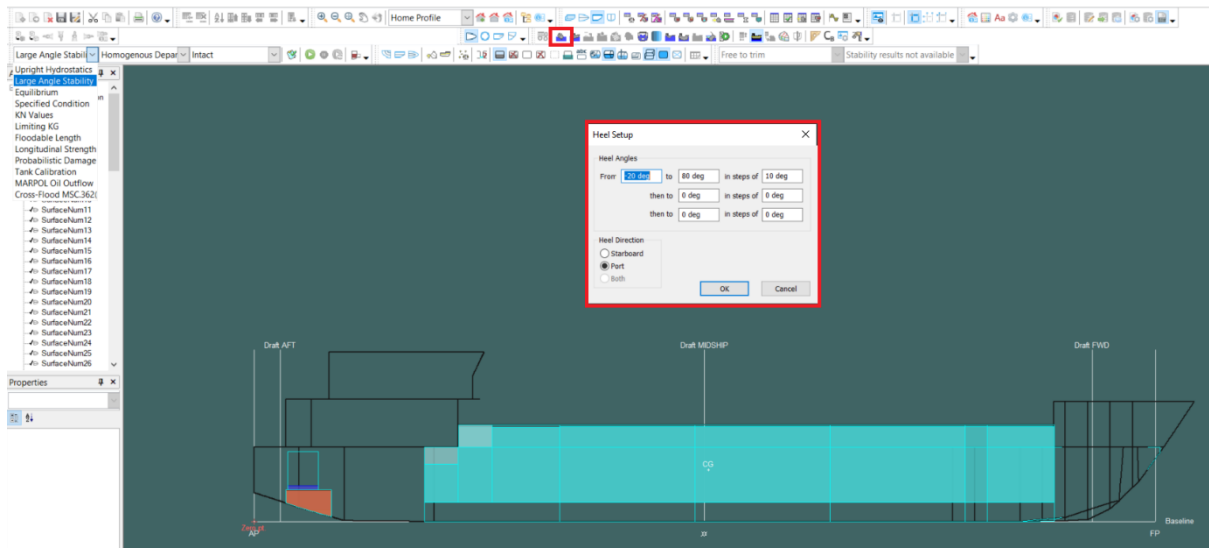
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total F SM (tonne.m)	FSM Type
1 Lightship	1	235.287	235.287			18.222	0.000	1.719	0.000	User Spec
2 Crew	1	0.450	0.450			8.800	0.000	6.620	0.000	User Spec
3 Stores	1	2.500	2.500			5.860	0.000	3.780	0.000	User Spec
4 Provisions	1	2.500	2.500			7.800	0.000	3.600	0.000	User Spec
5 CARGO No6 S	0%	48.030	0.000	55.207	0.000	10.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
6 CARGO No6 P	0%	48.030	0.000	55.207	0.000	10.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
7 CARGO No5 S	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	16.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
8 CARGO No5 P	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	16.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
9 CARGO No4 S	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	22.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
10 CARGO No4 P	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	22.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
11 CARGO No3 S	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	28.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
12 CARGO No3 P	0%	57.764	0.000	66.395	0.000	28.554	-1.615	0.851	0.000	Maximum
13 CARGO No2 C	0%	19.255	0.000	22.132	0.000	32.654	-2.015	0.000	0.000	Maximum
14 CARGO No IS	0%	28.497	0.000	32.755	0.000	34.034	-1.615	0.851	0.000	Maximum
15 CARGO No 1 P	0%	28.497	0.000	32.755	0.000	34.034	-1.615	0.851	0.000	Maximum
16 WBT No6 S	0%	33.131	0.000	32.323	0.000	10.872	1.985	0.000	0.000	Maximum
17 WBT No6 P	0%	33.131	0.000	32.323	0.000	10.872	-1.985	0.000	0.000	Maximum
18 WBT No5 S	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	16.554	2.015	0.000	0.000	Maximum
19 WBT No5 P	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	16.554	-2.015	0.000	0.000	Maximum
20 WBT No4 S	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	22.554	2.015	0.000	0.000	Maximum
21 WBT No4 P	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	22.554	-2.015	0.000	0.000	Maximum
22 WBT No3 S	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	28.554	2.015	0.000	0.000	Maximum
23 WBT No3 P	0%	33.141	0.000	32.332	0.000	28.554	-2.015	0.000	0.000	Maximum
24 WBT No2 C	0%	11.021	0.000	10.752	0.000	32.053	0.000	0.000	0.000	Maximum
25 WBT No1 P	0%	14.759	0.000	14.399	0.000	33.202	-1.893	0.000	0.000	Maximum
26 WBT No1 S	0%	14.759	0.000	14.399	0.000	33.202	1.893	0.000	0.000	Maximum
27 FPT	0%	51.781	0.000	50.518	0.000	35.627	0.000	0.022	0.000	Maximum
28 MARPOL	0%	3.358	0.000	3.650	0.000	3.431	0.000	0.207	0.000	Maximum
29 DIESEL DAY P	0%	4.351	0.000	5.180	0.000	3.431	-1.642	0.207	0.000	Maximum
30 DIESEL DAY S	0%	4.351	0.000	5.180	0.000	3.431	1.642	0.207	0.000	Maximum
31 SEWAGE TK	0%	3.138	0.000	3.062	0.000	2.175	-2.825	1.420	0.000	Maximum
32 FW T L	0%	4.303	0.000	4.303	0.000	8.299	0.000	2.540	0.000	Maximum
33 FW T U	0%	5.575	0.000	5.575	0.000	0.000	0.000	3.300	0.000	Maximum
34 Total Loadcase			240.737	972.089	0.000	17.968	0.000	1.769	0.000	
35 F S correction								0.000	0.000	
36 VCG fluid								1.769		

Εικόνα 77 Ορισμός καταστάσεων φόρτωσης

Όπως μπορούμε να δούμε στον πίνακα του προγράμματος υπάρχουν όλες οι δεξαμενές που ορίστηκαν νωρίτερα. Το ποσοστό πληρότητάς τους είναι δηλωμένο στο 0% καθώς στην κατάσταση αυτή το πλοίο είναι άφορτο. Για τις υπόλοιπες καταστάσεις φόρτωσης δεν έχουμε παρά να επαναλάβουμε τη διαδικασία και να ορίσουμε τα φορτία μας σύμφωνα με τον κανονισμό.

#### 6.4.2 Υπολογισμός ευστάθειας

Μετά το πέρας των καταστάσεων φόρτωσης εκτελούμε τους υπολογισμούς “Equilibrium” και “Large Angle Stability”. Εκτελώντας τους υπολογισμούς αυτούς για κάθε μια από τις καταστάσεις φόρτωσης θα λάβουμε αποτελέσματα για την στατική ισορροπία του πλοίου, την κατάσταση στην οποία θα πλεί (βύθισμα, διαγωγή κλπ.) και θα σχεδιάσουμε την καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Στην περίπτωση του “Large Angle Stability” πρέπει να ορίσουμε ως δεδομένα τις γωνίες εγκάρσιας κλίσης που θα εξεταστούν με την επιλογή “Heel Setup”.



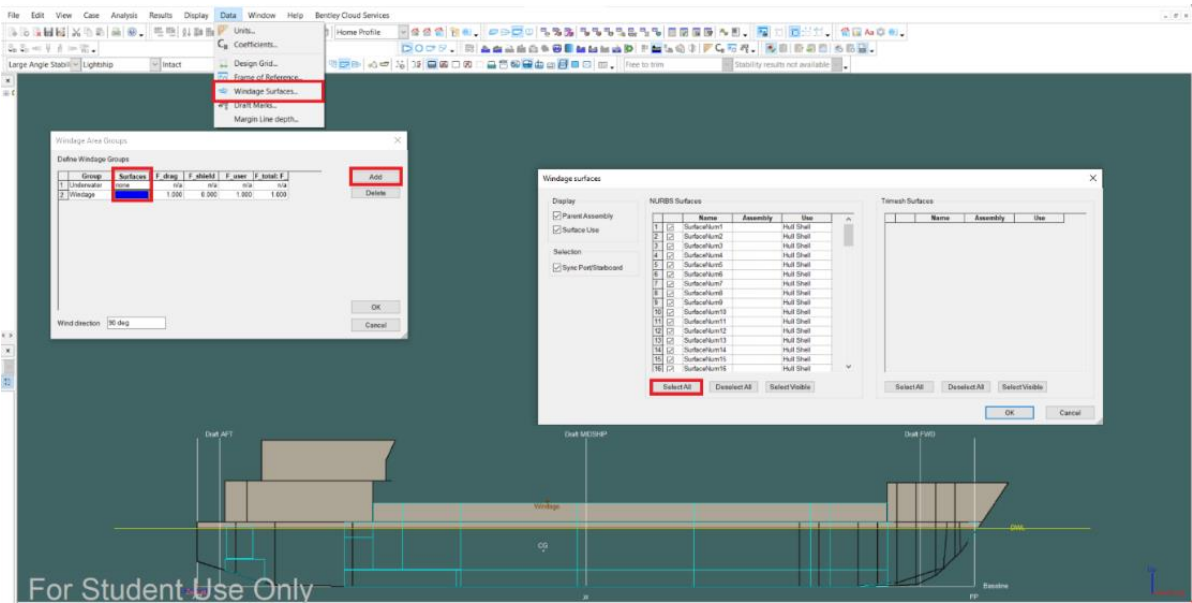
Εικόνα 78 Ορισμός δεδομένων “Large Angle Stability”

Πριν από την εκτέλεση των υπολογισμών είναι αναγκαίο να ορίσουμε στο πρόγραμμα τα κριτήρια τα οποία πρέπει να εξεταστούν καθώς επίσης και τις παραμέτρους των κριτηρίων αυτών που εφαρμόζονται για τη μελέτη του πλοίου μας.

Για το λόγο αυτό πρέπει να ορίσουμε την επιφάνεια επίδραση ανέμου έτσι ώστε να μπορούμε να εκτελέσουμε σωστά το κριτήριο καιρού. Το “Maxsurf” παρέχει δύο τρόπους υπολογισμού.

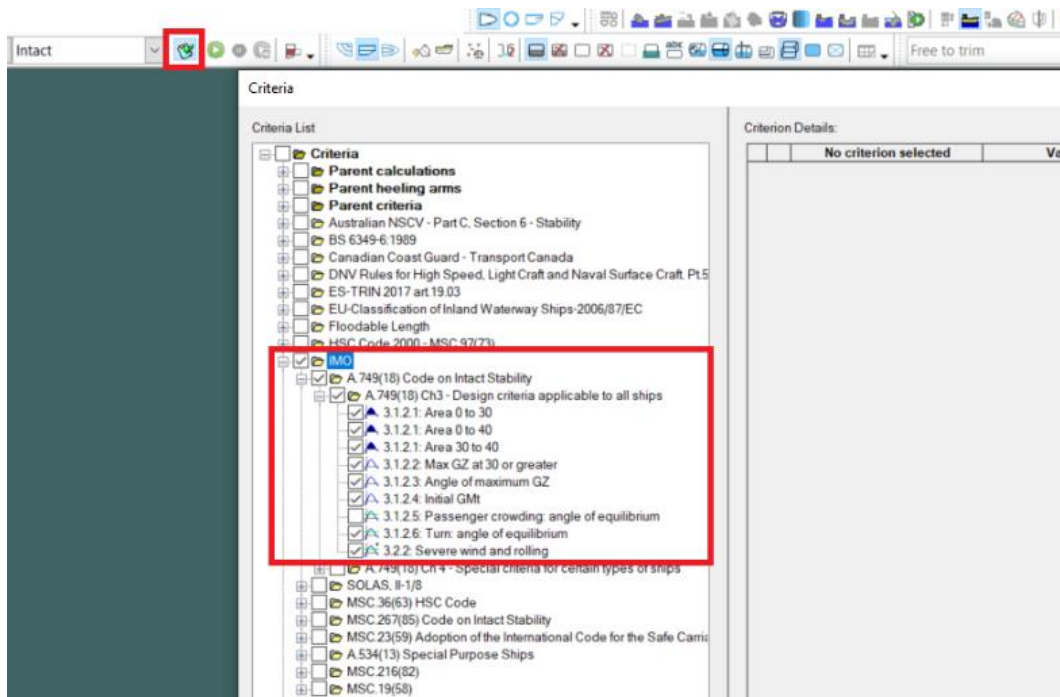
- Ορισμός επιφάνειας εξάλων στις παραμέτρους των κριτηρίων ευστάθειας. Αυτό μπορεί να γίνει αν από τα σχέδια του πλοίου απομονώσουμε το περίγραμμα και έπειτα υπολογίσουμε το εμβαδό και το κέντρο επιφανείας του.
- Ορισμός επιφάνειας εξάλων μέσω της εντολής “Data>Windage Surfaces”.

Στην περίπτωση μας αφού έχουμε μοντελοποιήσει ολόκληρο το πλοίο είναι απλούστερο να χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη επιλογή.



Εικόνα 79 Ορισμός επιφάνειας εξάλων

Αφού ανοίξουμε τις επιλογές “Windage area groups” με το πλήκτρο “Add” προσθέτουμε τις παραμέτρους “underwater” και “windage”. Εκεί θα επιλέξουμε τις επιφάνειες και στο παράθυρο “Windage surfaces” θα επιλέξουμε το “select all”. Το πρόγραμμα θα υπολογίσει την επιφάνεια πάνω από την ίσαλο για κάθε κατάσταση φόρτωσης και γωνία εγκάρσιας κλίσης. Τέλος δεν έχουμε παρά να επιλέξουμε τα κριτήρια του “IMO” από το σχετικό παράθυρο και να εκτελέσουμε τους υπολογισμούς.



Εικόνα 80 Επιλογή κριτηρίων ευστάθειας

### 6.4.3 Αποτελέσματα άθικτης ευστάθειας

#### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

Item Name	Quantity	Total Mass	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FSM
		tonne	m <sup>3</sup>	m	m	m	tonne.m
Lightship	1	235.287		18.222	0	1.719	0
Crew	1	4.5		8.8	0	6.62	0
Stores	1	5		1.8	0	2.5	0
Provisions	1	3.5		2.5	0	3.6	0
CARGO No6 S	98.00%	47.07	54.103	10.92	1.645	2.336	0
CARGO No6 P	98.00%	47.07	54.103	10.92	-1.645	2.336	0
CARGO No5 S	98.00%	56.609	65.067	16.554	1.614	2.53	0
CARGO No5 P	98.00%	56.609	65.067	16.554	-1.614	2.53	0
CARGO No4 S	98.00%	56.609	65.067	22.554	1.614	2.53	0
CARGO No4 P	98.00%	56.609	65.067	22.554	-1.614	2.53	0
CARGO No3 S	98.00%	56.609	65.067	28.554	1.614	2.53	0
CARGO No3 P	98.00%	56.609	65.067	28.554	-1.614	2.53	0
CARGO No2 C	98.00%	18.87	21.689	32.054	0	2.53	0
CARGO No 1S	98.00%	27.927	32.1	34.034	1.614	2.53	0
CARGO No 1 P	98.00%	27.927	32.1	34.034	-1.614	2.53	0
WBT No6 S	0.00%	0	0	10.872	1.985	0	0
WBT No6 P	0.00%	0	0	10.872	-1.985	0	0
WBT No5 S	0.00%	0	0	16.554	2.015	0	0
WBT No5 P	0.00%	0	0	16.554	-2.015	0	0
WBT No4 S	0.00%	0	0	22.554	2.015	0	0
WBT No4 P	0.00%	0	0	22.554	-2.015	0	0
WBT No3 S	0.00%	0	0	28.554	2.015	0	0
WBT No3 P	0.00%	0	0	28.554	-2.015	0	0
WBT No2 C	0.00%	0	0	32.053	0	0	0
WBT No1 P	0.00%	0	0	33.202	-1.893	0	0
WBT No1 S	0.00%	0	0	33.202	1.893	0	0
FPT	0.00%	0	0	35.627	0	0.022	0
MARPOL	10.00%	0.336	0.365	3.066	0	0.424	1.239
DIESEL DAY P	98.00%	4.264	5.077	2.56	-2.42	0.934	0
DIESEL DAY S	98.00%	4.264	5.077	2.56	2.42	0.934	0
SEWAGE TK	10.00%	0.314	0.306	2.175	-2.825	1.504	0.284
FWT L	100.00%	4.303	4.303	8.299	0	2.92	0
FWT U	100.00%	5.575	5.575	9.811	0	3.79	0
Total Loadcase		775.859	605.203	20.175	-0.001	2.281	1.523
FS correction						0.002	
VCG fluid						2.283	

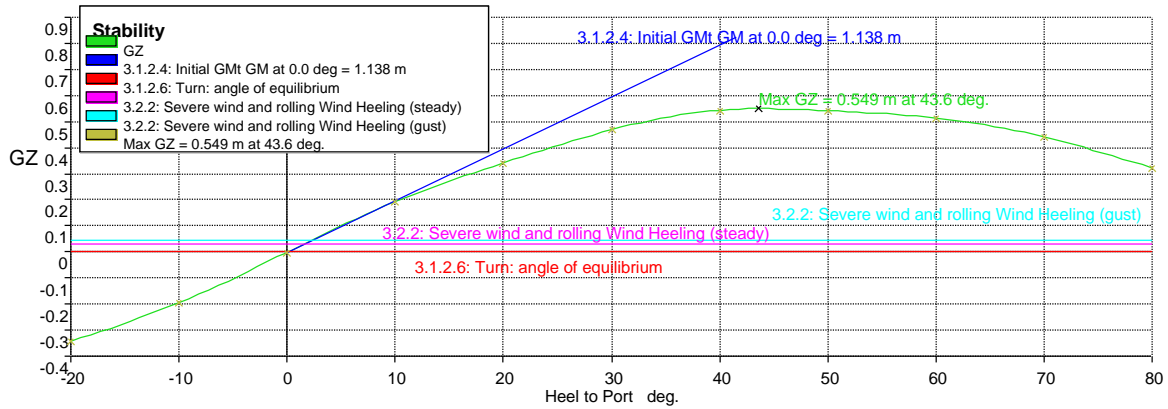
Criteria	Value	Units	Actual	Status
3.1.2.1: Area 0 to 30	0.055	m.rad	0.1353	Pass
3.1.2.1: Area 0 to 40	0.09	m.rad	0.2247	Pass
3.1.2.1: Area 30 to 40	0.03	m.rad	0.0894	Pass
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	0.549	Pass
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	43.6	Pass
3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	1.138	Pass
3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10	deg	0.1	Pass
3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	1.5	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80	%	29.02	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	489.15	Pass

EQUILIBRIUM	
Draft Amidships m	2.636
Displacement t	775.8
Heel deg	0
Draft at FP m	3.067
Draft at AP m	2.206
Draft at LCF m	2.619
Trim (+ve by stern) m	-0.86
WL Length m	40.219
Beam max extents on WL m	8.06
Wetted Area m <sup>2</sup>	502.061
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	304.315
Prismatic coeff. (Cp)	0.806
Block coeff. (Cb)	0.792
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.993
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.939
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20.195
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	19.182
KB m	1.355
KG fluid m	2.283
BMt m	2.066
BML m	48.456
GMt corrected m	1.138
GML m	47.527
KMt m	3.421
KML m	49.8
Immersion (TPc) tonne/cm	3.119

Key point	Immersion angle deg
Margin Line (immersion pos = 34.891 m)	3.9
Deck Edge (immersion pos = 34.891 m)	5
DF point	Not immersed in positive range
DF point	Not immersed in positive range

Key point	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 34.891 m)	0.267
Deck Edge (freeboard pos = 34.891 m)	0.343
DF point	2.408
DF point	2.674





Εικόνα 81 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης Νο1

Heel to Port deg	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
GZ m	-0.343	-0.195	-0.001	0.193	0.341	0.468	0.544	0.541	0.514	0.441	0.323
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.065 1	0.017 6	0.000 0	0.017 2	0.064 3	0.135 3	0.224 7	0.320 1	0.412 6	0.496 7	0.563 7
Displacement t	775.9	775.9	775.9	775.8	775.9	775.9	775.8	775.9	775.9	775.9	775.9
Draft at FP m	3.134	3.081	3.067	3.081	3.134	3.175	3.362	3.734	4.414	5.751	9.658
Draft at AP m	2.258	2.203	2.206	2.203	2.258	2.439	2.692	2.864	2.806	2.550	1.784
WL Length m	40.26 8	40.23 0	40.21 9	40.23 0	40.26 8	40.29 3	40.42 4	40.68 0	41.33 0	41.58 1	41.04 7
Beam max extents on WL m	7.741	8.184	8.060	8.184	7.741	8.456	7.634	8.348	8.683	8.003	7.636
Wetted Area m <sup>2</sup>	529.1 25	512.2 36	502.0 81	512.2 22	529.1 30	543.1 47	550.9 95	558.5 16	567.2 76	569.1 93	570.9 89
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	288.1 85	297.3 67	304.3 16	297.3 71	288.1 79	280.5 20	257.0 31	235.3 39	219.8 39	202.3 32	192.2 46
Prismatic coeff. (Cp)	0.814	0.810	0.806	0.810	0.814	0.831	0.835	0.810	0.778	0.757	0.751
Block coeff. (Cb)	0.582	0.641	0.792	0.641	0.582	0.480	0.485	0.415	0.381	0.412	0.450
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20.19 6	20.19 5	20.19 5	20.19 6	20.19 6	20.19 2	20.18 9	20.19 3	20.20 2	20.21 3	20.22 5
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	19.64 3	18.84 5	19.18 2	18.84 5	19.64 3	19.86 9	20.02 9	19.20 3	18.66 1	18.61 6	18.52 2
Max deck inclination deg	20.03 33	10.07 56	1.232 1	10.07 56	20.03 33	30.01 26	40.00 56	50.00 47	60.00 67	70.00 78	80.00 59
Trim angle (+ve by stern) deg	- 1.255 4	- 1.257 0	- 1.232 1	- 1.257 1	- 1.254 5	- 1.053 9	- 0.959 1	- 1.245 6	- 2.301 8	- 4.574 7	- 11.13 68



**Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arival”**

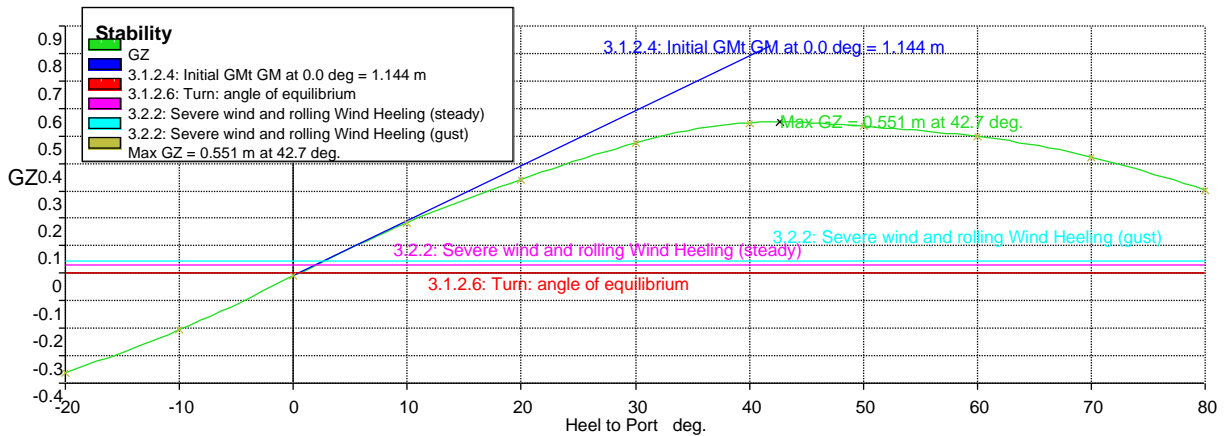
Item Name	Quantity	Total Mass	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FSM
		tonne	m <sup>3</sup>	m	m	m	tonne.m
Lightship	1	235.287		18.222	0.000	1.719	0.000
Crew	1	4.500		8.800	0.000	6.620	0.000
Stores	1	5.000		1.800	0.000	2.500	0.000
Provisions	1	0.350		2.500	0.000	3.600	0.000
CARGO No6 S	98%	47.070	54.103	10.920	1.645	2.336	0.000
CARGO No6 P	98%	47.070	54.103	10.920	-1.645	2.336	0.000
CARGO No5 S	98%	56.609	65.067	16.554	1.614	2.530	0.000
CARGO No5 P	98%	56.609	65.067	16.554	-1.614	2.530	0.000
CARGO No4 S	98%	56.609	65.067	22.554	1.614	2.530	0.000
CARGO No4 P	98%	56.609	65.067	22.554	-1.614	2.530	0.000
CARGO No3 S	98%	56.609	65.067	28.554	1.614	2.530	0.000
CARGO No3 P	98%	56.609	65.067	28.554	-1.614	2.530	0.000
CARGO No2 C	98%	18.870	21.689	32.054	0.000	2.530	0.000
CARGO No 1S	98%	27.927	32.100	34.034	1.614	2.530	0.000
CARGO No 1 P	98%	27.927	32.100	34.034	-1.614	2.530	0.000
WBT No6 S	0%	0.000	0.000	10.737	1.985	0.000	0.000
WBT No6 P	0%	0.000	0.000	10.872	-1.985	0.000	0.000
WBT No5 S	0%	0.000	0.000	16.554	2.015	0.000	0.000
WBT No5 P	0%	0.000	0.000	16.554	-2.015	0.000	0.000
WBT No4 S	0%	0.000	0.000	22.554	2.015	0.000	0.000
WBT No4 P	0%	0.000	0.000	22.554	-2.015	0.000	0.000
WBT No3 S	0%	0.000	0.000	28.554	2.015	0.000	0.000
WBT No3 P	0%	0.000	0.000	28.554	-2.015	0.000	0.000
WBT No2 C	0%	0.000	0.000	32.053	0.000	0.000	0.000
WBT No1 P	0%	0.000	0.000	33.202	-1.893	0.000	0.000
WBT No1 S	0%	0.000	0.000	33.202	1.893	0.000	0.000
FPT	0%	0.000	0.000	35.627	0.000	0.022	0.000
MARPOL	90%	3.022	3.285	2.559	0.000	0.898	1.239
DIESEL DAY P	10%	0.435	0.518	3.072	-2.431	0.422	3.201
DIESEL DAY S	10%	0.435	0.518	3.072	2.431	0.422	3.201
SEWAGE TK	90%	2.825	2.756	2.175	-2.825	2.176	0.284
FWT L	100%	4.303	4.303	8.299	0.000	2.920	0.000
FWT U	10%	0.558	0.558	9.811	0.000	3.349	6.846
<b>Total Loadcase</b>		<b>765.230</b>	<b>596.437</b>	<b>20.372</b>	<b>-0.010</b>	<b>2.274</b>	<b>14.771</b>
FS correction						0.019	
VCG fluid						2.293	

Criteria	Value	Units	Actual	Status
3.1.2.1: Area 0 to 30	0.055	m.rad	0.1336	Pass
3.1.2.1: Area 0 to 40	0.09	m.rad	0.2241	Pass
3.1.2.1: Area 30 to 40	0.03	m.rad	0.0904	Pass
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	0.551	Pass
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	42.7	Pass
3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	1.144	Pass
3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10	deg	0.5	Pass
3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	1.9	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80	%	41.48	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	482.53	Pass

EQUILIBRIUM	
Draft Amidships m	2.605
Displacement t	765.2
Heel deg	-0.5
Draft at FP m	3.112
Draft at AP m	2.099
Draft at LCF m	2.585
Trim (+ve by stern) m	-1.013
WL Length m	40.256
Beam max extents on WL m	8.060
Wetted Area m <sup>2</sup>	498.892
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	304.528
Prismatic coeff. (Cp)	0.788
Block coeff. (Cb)	0.769
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.981
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.939
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20.396
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	19.193
KB m	1.342
KG fluid m	2.293
BMt m	2.096
BML m	49.233
GMt corrected m	1.145
GML m	48.282
KMt m	3.437
KML m	50.558
Immersion (TPc) tonne/cm	3.121

Key point	Immersion angle deg
Margin Line (immersion pos = 34.891 m)	3.5
Deck Edge (immersion pos = 34.891 m)	4.6
DF point	Not immersed in positive range
DF point	Not immersed in positive range

Key point	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 34.891 m)	0.206
Deck Edge (freeboard pos = 34.891 m)	0.281
DF point	2.479
DF point	2.786



Εικόνα 82 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης Νο2

Heel to Port deg	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
GZ m	-0.361	-0.205	-0.010	0.185	0.341	0.474	0.548	0.535	0.498	0.424	0.305
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.069 1	0.019 3	- 0.000 3	0.015 6	0.062 0	0.133 6	0.224 1	0.319 3	0.409 8	0.490 9	0.554 9
Displacement t	765.3	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2	765.2
Draft at FP m	3.185	3.126	3.113	3.126	3.185	3.235	3.433	3.814	4.515	5.914	10.00 6
Draft at AP m	2.135	2.096	2.098	2.096	2.135	2.295	2.515	2.655	2.541	2.128	0.904
WL Length m	40.30 9	40.26 7	40.25 7	40.26 7	40.31 0	40.34 2	40.47 7	40.74 1	41.39 4	41.53 5	40.99 0
Beam max extents on WL m	7.748	8.184	8.060	8.184	7.748	8.381	7.568	8.160	8.683	8.003	7.636
Wetted Area m <sup>2</sup>	523.6 63	508.3 36	498.9 09	508.3 35	523.6 46	538.2 64	545.7 96	556.3 06	562.9 44	561.2 32	566.8 57
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	290.7 87	298.4 44	304.5 20	298.4 44	290.7 96	281.8 77	255.0 77	232.2 84	219.2 65	202.1 02	192.0 07
Prismatic coeff. (Cp)	0.796	0.793	0.788	0.793	0.796	0.812	0.813	0.790	0.760	0.741	0.736
Block coeff. (Cb)	0.570	0.628	0.772	0.628	0.570	0.475	0.480	0.417	0.375	0.405	0.443
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20.39 6	20.39 6	20.39 9	20.39 6	20.39 6	20.39 3	20.39 2	20.39 6	20.40 4	20.41 7	20.43 1
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	19.53 6	18.86 2	19.19 3	18.86 2	19.53 5	19.86 4	20.13 0	19.39 9	18.66 0	18.59 3	18.49 8
Max deck inclination deg	20.04 78	10.10 40	1.453 2	10.10 40	20.04 78	30.02 05	40.01 05	50.00 83	60.01 01	70.01 09	80.00 79
Trim angle (+ve by stern) deg	- 1.503 0	- 1.475 6	- 1.453 2	- 1.475 6	- 1.504 0	- 1.346 2	- 1.314 0	- 1.659 2	- 2.824 9	- 5.407 4	- 12.81 93

### Κατάσταση Νο3 “Ballast Departure”

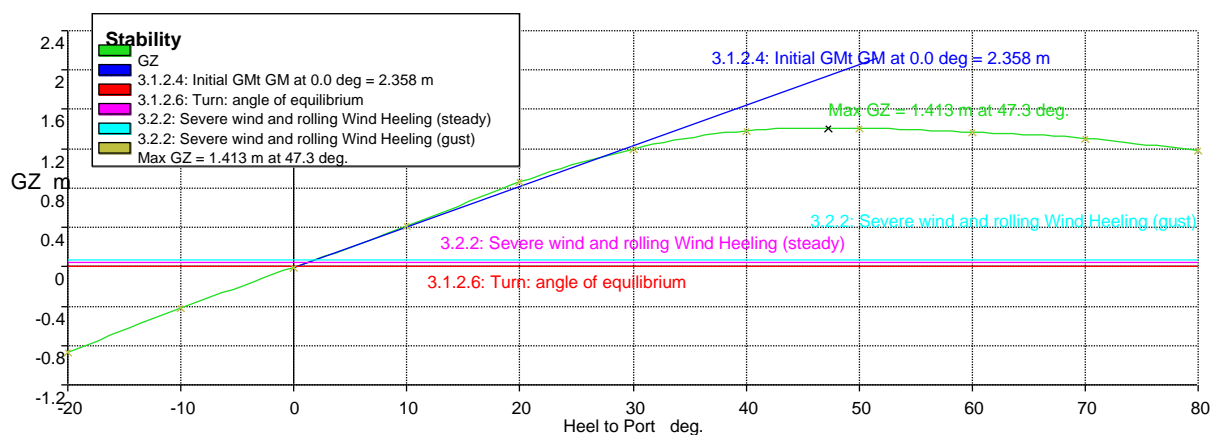
Item Name	Quantity	Total Mass	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FSM
		tonne	m <sup>3</sup>	m	m	m	tonne.m
Lightship	1	235.287		18.222	0.000	1.719	0.000
Crew	1	4.500		8.800	0.000	6.620	0.000
Stores	1	5.000		1.800	0.000	2.500	0.000
Provisions	1	3.500		2.500	0.000	3.600	0.000
CARGO No6 S	0%	0.000	0.000	10.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No6 P	0%	0.000	0.000	10.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No5 S	0%	0.000	0.000	16.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No5 P	0%	0.000	0.000	16.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No4 S	0%	0.000	0.000	22.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No4 P	0%	0.000	0.000	22.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No3 S	0%	0.000	0.000	28.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No3 P	0%	0.000	0.000	28.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No2 C	0%	0.000	0.000	32.054	0.000	0.851	0.000
CARGO No 1S	0%	0.000	0.000	34.034	1.615	0.851	0.000
CARGO No 1 P	0%	0.000	0.000	34.034	-1.615	0.851	0.000
WBT No6 S	100%	32.273	31.486	10.478	2.618	1.041	0.000
WBT No6 P	100%	33.131	32.323	10.555	-2.602	1.025	0.000
WBT No5 S	100%	33.141	32.332	16.554	2.602	1.025	0.000
WBT No5 P	100%	33.141	32.332	16.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No4 S	100%	33.141	32.332	22.554	2.602	1.025	0.000
WBT No4 P	100%	33.141	32.332	22.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No3 S	100%	33.141	32.332	28.554	2.602	1.025	0.000
WBT No3 P	100%	33.141	32.332	28.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No2 C	100%	11.021	10.752	32.053	0.000	1.025	0.000
WBT No1 P	100%	14.759	14.399	33.951	-2.487	0.999	0.000
WBT No1 S	100%	14.759	14.399	33.951	2.487	0.999	0.000
FPT	0%	0.000	0.000	35.627	0.000	0.022	0.000
MARPOL	10%	0.336	0.365	3.066	0.000	0.424	1.239
DIESEL DAY P	98%	4.264	5.077	2.560	-2.420	0.934	0.000
DIESEL DAY S	98%	4.264	5.077	2.560	2.420	0.934	0.000
SEWAGE TK	10%	0.314	0.306	2.175	-2.825	1.504	0.284
FWT L	100%	4.303	4.303	8.299	0.000	2.920	0.000
FWT U	100%	5.575	5.575	9.811	0.000	3.790	0.000
Total Loadcase		572.132	318.057	19.203	-0.005	1.423	1.523
FS correction						0.003	
VCG fluid						1.425	

Criteria	Value	Units	Actual	Status
3.1.2.1: Area 0 to 30	0.055	m.rad	0.3278	Pass
3.1.2.1: Area 0 to 40	0.09	m.rad	0.5554	Pass
3.1.2.1: Area 30 to 40	0.03	m.rad	0.2276	Pass
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	1.413	Pass
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	47.3	Pass
3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	2.358	Pass
3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10	deg	0.1	Pass
3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	1.3	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80	%	7.04	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	524.91	Pass

EQUILIBRIUM	
Draft Amidships m	1.957
Displacement t	572.1
Heel deg	-0.1
Draft at FP m	1.949
Draft at AP m	1.966
Draft at LCF m	1.958
Trim (+ve by stern) m	0.017
WL Length m	39.403
Beam max extents on WL m	8.060
Wetted Area m <sup>2</sup>	445.118
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	299.768
Prismatic coeff. (Cp)	0.896
Block coeff. (Cb)	0.892
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.995
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.944
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	19.200
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	18.895
KB m	1.008
KG fluid m	1.425
BMt m	2.776
BML m	62.641
GMt corrected m	2.358
GML m	62.223
KMt m	3.783
KML m	63.648
Immersion (TPc) tonne/cm	3.073

Key point	Immersion angle deg
Margin Line (immersion pos = 34.891 m)	17.4
Deck Edge (immersion pos = 34.891 m)	18.4
DF point	Not immersed in positive range
DF point	Not immersed in positive range

Key point	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 34.891 m)	1.25
Deck Edge (freeboard pos = 34.891 m)	1.326
DF point	2.922
DF point	2.967



Εικόνα 83 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης Νο3

Heel to Port deg	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
GZ m	-0.867	-0.421	-0.005	0.412	0.858	1.197	1.383	1.409	1.369	1.306	1.177
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.148 9	0.036 8	- 0.000 1	0.035 1	0.146 4	0.327 8	0.555 4	0.800 9	1.043 7	1.277 8	1.495 2
Displacement t	572.1	572.1	572.1	572.2	572.2	572.1	572.1	572.1	572.1	572.1	572.1
Draft at FP m	1.943	1.947	1.950	1.947	1.944	1.976	1.860	1.647	1.377	0.993	-0.120
Draft at AP m	1.968	1.966	1.965	1.966	1.967	2.056	2.142	2.199	2.058	1.386	-0.629
WL Length m	39.40 0	39.40 2	39.40 4	39.40 3	39.40 0	39.42 4	39.34 4	39.30 5	39.49 1	40.18 5	40.86 7
Beam max extents on WL m	8.240	8.184	8.060	8.184	8.238	7.941	7.798	7.100	7.849	8.003	7.636
Wetted Area m <sup>2</sup>	451.9 33	445.2 37	445.1 08	445.2 56	451.9 37	459.7 00	453.2 05	454.9 36	470.3 23	473.8 20	475.2 05
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	305.9 44	304.4 56	299.7 71	304.4 57	305.9 40	278.5 05	244.0 17	216.3 95	212.1 27	202.9 37	194.7 59
Prismatic coeff. (Cp)	0.897	0.896	0.896	0.896	0.897	0.895	0.881	0.878	0.893	0.832	0.770
Block coeff. (Cb)	0.534	0.658	0.896	0.658	0.534	0.472	0.435	0.452	0.405	0.410	0.455
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	19.20 0	19.20 3	19.20 3	19.20 3	19.20 3	19.20 1	19.19 8	19.19 2	19.19 1	19.19 8	19.20 9
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	19.04 8	18.89 9	18.89 5	18.89 9	19.04 7	19.92 3	20.19 1	19.97 7	18.98 2	18.68 1	18.78 5
Max deck inclination deg	20.00 00	10.00 00	0.022 1	10.00 00	20.00 00	30.00 01	40.00 10	50.00 19	60.00 12	70.00 01	80.00 00
Trim angle (+ve by stern) deg	0.035 3	0.026 9	0.022 1	0.026 9	0.032 5	0.114 6	0.403 1	0.789 5	0.975 7	0.562 4	- 0.729 1

### Κατάσταση Νο4 “Ballast Arrival”

Item Name	Quantity	Total Mass	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FSM
		tonne	m <sup>3</sup>	m	m	m	tonne.m
Lightship	1	235.287		18.222	0.000	1.719	0.000
Crew	1	4.500		8.800	0.000	6.620	0.000
Stores	1	5.000		1.800	0.000	2.500	0.000
Provisions	1	0.350		2.500	0.000	3.600	0.000
CARGO No6 S	0%	0.000	0.000	10.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No6 P	0%	0.000	0.000	10.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No5 S	0%	0.000	0.000	16.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No5 P	0%	0.000	0.000	16.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No4 S	0%	0.000	0.000	22.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No4 P	0%	0.000	0.000	22.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No3 S	0%	0.000	0.000	28.554	1.615	0.851	0.000
CARGO No3 P	0%	0.000	0.000	28.554	-1.615	0.851	0.000
CARGO No2 C	0%	0.000	0.000	32.054	0.000	0.851	0.000
CARGO No 1S	0%	0.000	0.000	34.034	1.615	0.851	0.000
CARGO No 1 P	0%	0.000	0.000	34.034	-1.615	0.851	0.000
WBT No6 S	100%	32.273	31.486	10.478	2.618	1.041	0.000
WBT No6 P	100%	33.131	32.323	10.555	-2.602	1.025	0.000
WBT No5 S	100%	33.141	32.332	16.554	2.602	1.025	0.000
WBT No5 P	100%	33.141	32.332	16.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No4 S	100%	33.141	32.332	22.554	2.602	1.025	0.000
WBT No4 P	100%	33.141	32.332	22.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No3 S	100%	33.141	32.332	28.554	2.602	1.025	0.000
WBT No3 P	100%	33.141	32.332	28.554	-2.602	1.025	0.000
WBT No2 C	100%	11.021	10.752	32.053	0.000	1.025	0.000
WBT No1 P	100%	14.759	14.399	33.951	-2.487	0.999	0.000
WBT No1 S	100%	14.759	14.399	33.951	2.487	0.999	0.000
FPT	0%	0.000	0.000	35.627	0.000	0.022	0.000
MARPOL	90%	3.022	3.285	2.559	0.000	0.898	1.239
DIESEL DAY P	10%	0.435	0.518	3.072	-2.431	0.422	3.201
DIESEL DAY S	10%	0.435	0.518	3.072	2.431	0.422	3.201
SEWAGE TK	90%	2.825	2.756	2.175	-2.825	2.176	0.284
FWT L	100%	4.303	4.303	8.299	0.000	2.920	0.000
FWT U	10%	0.558	0.558	9.811	0.000	3.349	6.846
Total Loadcase		561.503	309.292	19.452	-0.017	1.396	14.771
FS correction				18.222	0.000	1.719	0.000
VCG fluid				8.800	0.000	6.620	0.000

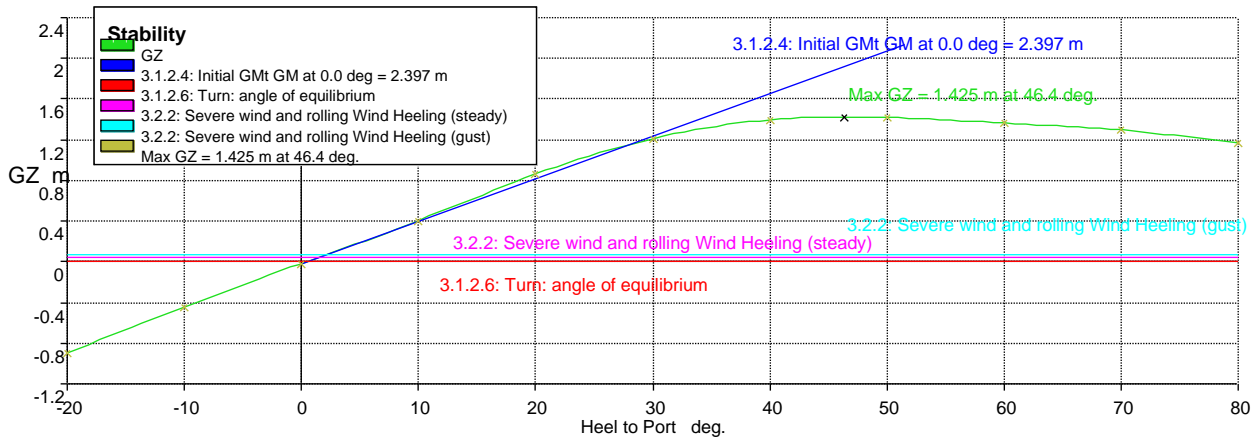
Criteria	Value	Units	Actual	Status
3.1.2.1: Area 0 to 30	0.055	m.rad	0.3276	Pass
3.1.2.1: Area 0 to 40	0.09	m.rad	0.5576	Pass
3.1.2.1: Area 30 to 40	0.03	m.rad	0.2300	Pass
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	1.425	Pass
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	46.4	Pass
3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	2.397	Pass
3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10	deg	0.4	Pass
3.2.2: Severe wind and rolling				Pass
Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	1.6	Pass
Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=)	80	%	8.68	Pass
Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	517.55	Pass

EQUILIBRIUM	
Draft Amidships m	1.927
Displacement t	561.5
Heel deg	-0.5
Draft at FP m	1.996
Draft at AP m	1.858
Draft at LCF m	1.923
Trim (+ve by stern) m	-0.139
WL Length m	39.436
Beam max extents on WL m	8.060
Wetted Area m <sup>2</sup>	441.926
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	299.950
Prismatic coeff. (Cp)	0.876
Block coeff. (Cb)	0.858
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.982
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.944
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	19.455
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	18.906
KB m	0.990
KG fluid m	1.422
BMt m	2.829
BML m	63.953
GMt corrected m	2.397
GML m	63.521
KMt m	3.820
KML m	64.940
Immersion (TPc) tonne/cm	3.074

Key point	Immersion angle deg
Margin Line (immersion pos = 34.891 m)	3.9
Deck Edge (immersion pos = 34.891 m)	5
DF point	Not immersed in positive range
DF point	Not immersed in positive range

Key point	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 34.891 m)	1.212
Deck Edge (freeboard pos = 34.891 m)	1.288
DF point	2.990
DF point	3.076





Εικόνα 84 Καμπύλη μοχλοβραχίονα επαναφοράς κατάστασης Νο4

Heel to Port deg	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
GZ m	-0.894	-0.441	-0.017	0.407	0.861	1.212	1.396	1.419	1.364	1.295	1.166
Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.155 8	0.039 6	- 0.000 5	0.033 5	0.144 5	0.327 6	0.557 6	0.805 1	1.048 3	1.280 8	1.496 3
Displacement t	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5
Draft at FP m	1.992	1.994	1.996	1.994	1.994	2.041	1.942	1.748	1.490	1.155	0.207
Draft at AP m	1.855	1.859	1.858	1.859	1.853	1.906	1.945	1.947	1.766	0.963	-1.498
WL Length m	39.43 3	39.43 4	39.43 6	39.43 5	39.43 5	39.46 8	39.39 9	39.36 7	39.55 2	40.26 1	40.93 1
Beam max extents on WL m	8.432	8.184	8.060	8.184	8.436	8.026	7.890	6.829	7.575	8.003	7.636
Wetted Area m <sup>2</sup>	446.2 39	442.0 51	441.9 25	442.0 75	446.2 34	453.5 46	447.4 81	448.9 22	463.0 69	469.4 42	471.1 67
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	308.9 41	304.6 05	299.9 38	304.6 06	308.9 30	277.3 67	242.7 97	214.2 81	208.6 24	202.7 09	195.0 10
Prismatic coeff. (Cp)	0.879	0.877	0.876	0.877	0.878	0.887	0.900	0.893	0.902	0.857	0.790
Block coeff. (Cb)	0.511	0.644	0.873	0.644	0.511	0.460	0.432	0.473	0.421	0.408	0.445
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	19.45 1	19.45 4	19.45 4	19.45 4	19.45 8	19.45 4	19.45 2	19.44 8	19.44 7	19.45 6	19.46 8
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	18.98 5	18.91 1	18.90 6	18.91 1	18.98 4	19.99 2	20.34 0	20.17 8	19.26 0	18.74 5	18.81 5
Max deck inclination deg	20.00 08	10.00 18	0.197 9	10.00 18	20.00 09	30.00 04	40.00 00	50.00 02	60.00 02	70.00 00	80.00 03
Trim angle (+ve by stern) deg	- 0.195 7	- 0.193 1	- 0.197 9	- 0.193 1	- 0.202 4	- 0.192 3	0.003 4	0.284 2	0.394 7	- 0.273 8	- 2.441 0

## 6.5 Μελέτη Ευστάθειας Μετά από Βλάβη

Στο παρόν κεφάλαιο θα εκτελέσουμε τον υπολογισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη σύμφωνα με τα κριτήρια της “MARPOL” που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

### 6.5.1 Καταστάσεις Βλάβης

Το πρόγραμμα “Maxsurf” παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού ευστάθειας μετά από βλάβη με ντετερμινιστική μέθοδο. Όπως είδαμε νωρίτερα για να πραγματοποιηθεί αυτός ο υπολογισμός πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την έκταση της βλάβης σύμφωνα με τους τύπους που παρέχονται στο “Regulation 28” της “MARPOL”.

#### 1. Πλευρική βλάβη

Διαμήκη έκταση:  $1/3 L^{2/3}$  ή  $14.5 m = 3.865 m$

Εγκάρσια έκταση:  $B/5$  ή  $11.5 m = 1.60 m$

Κατακόρυφη έκταση: Από τη βασική γραμμή και άνω, χωρίς όριο.

#### 2. Βλάβη πυθμένα

Διαμήκη έκταση:  $1/3 L^{2/3}$  ή  $5 m = 3.865 m$

Εγκάρσια έκταση:  $B/6$  ή  $5 m = 1.33 m$

Κατακόρυφη έκταση:  $B/15$  ή  $6 m = 0.533 m$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς τα διαμερίσματα και οι δεξαμενές που κατακλύζονται φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

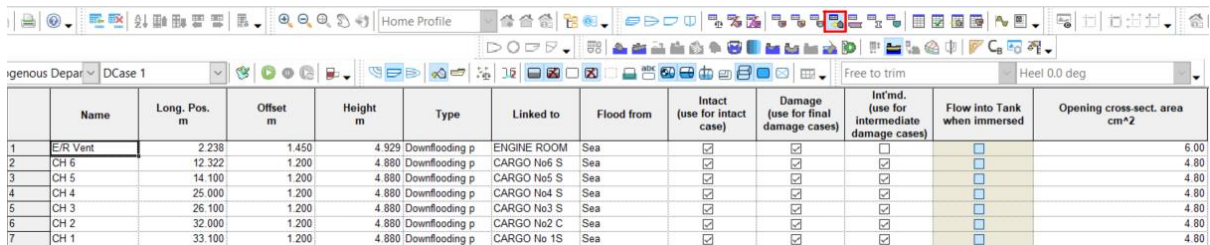
Room	Intact	DCase 1	DCase 2	DCase 3	DCase 4	DCase 5	DCase 6	DCase 7	DCase 8	DCase 9	DCase 10	DCase 11
STEERING GEAR COMP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ENGINE ROOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PUMP ROOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No6 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No6 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No5 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CARGO No5 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CARGO No4 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No4 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No3 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No3 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No2 C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No 1S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CARGO No 1 P	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No6 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No6 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No5 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
WBT No5 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
WBT No4 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No4 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No3 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No3 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No2 C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No1 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WBT No1 S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MARPOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIESEL DAY P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIESEL DAY S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SEWAGE TK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FWT L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FWT U	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Πίνακας 15 Καταστάσεις βλάβης

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν θα εξεταστούν περιπτώσεις βλάβης διαμερισμάτων που δεν αφορούν τις δεξαμενές πετρελαίου. Στη θέση τους θα εξετάσουμε τη δυσμενέστερη περίπτωση βλάβης, δηλαδή η έκταση της βλάβης να ξεπερνά υδατοστεγή φράκτη και να «χτυπάει» δύο διαμερίσματα ταυτόχρονα.

### 6.5.2 Υπολογισμός ευστάθειας έναντι βλάβης

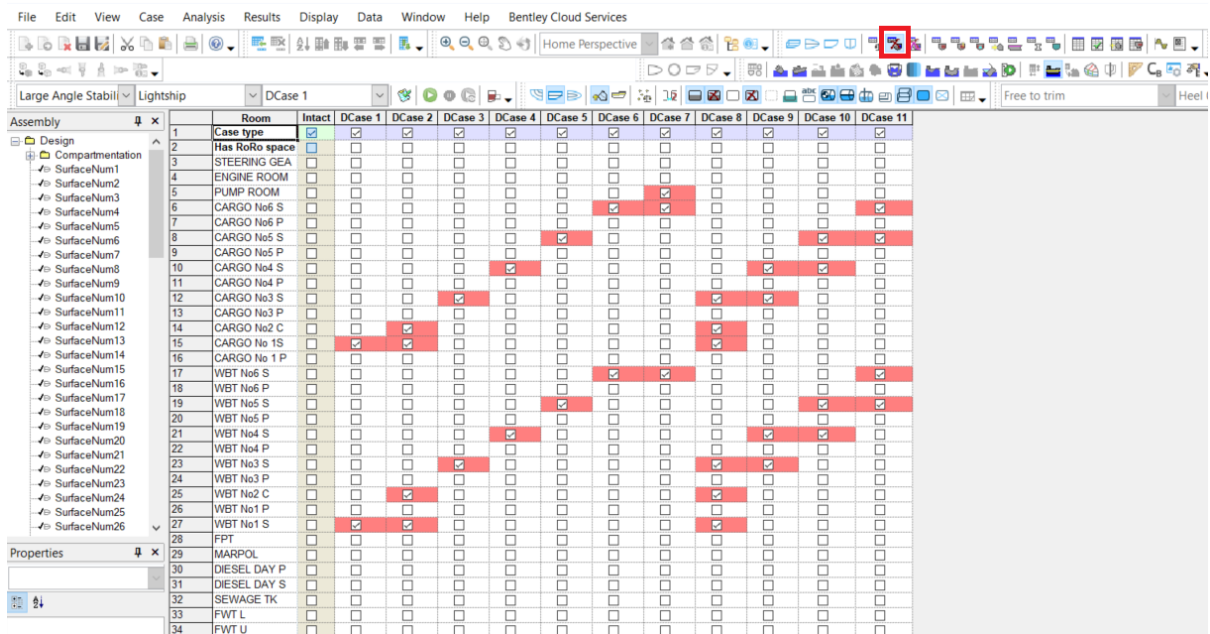
Για τον υπολογισμό αυτό πρέπει πρώτα να ορίσουμε όλα τα σημεία από τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί προοδευτική κατάκλιση σε περίπτωση που αυτά βυθιστούν (“*Down flooding points*”). Τα σημεία αυτά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



	Name	Long. Pos. m	Offset m	Height m	Type	Linked to	Flood from	Intact (use for intact case)	Damage (use for final damage cases)	Int'md. (use for intermediate damage cases)	Flow into Tank when immersed	Opening cross-sect. area cm*2
1	ER Vent	2.238	1.450	4.929	Downflooding p	ENGINE ROOM	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.00
2	CH 6	12.322	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No6 S	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80
3	CH 5	14.100	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No5 S	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80
4	CH 4	25.000	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No4 S	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80
5	CH 3	26.100	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No3 S	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80
6	CH 2	32.000	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No2 C	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80
7	CH 1	33.100	1.200	4.880	Downflooding p	CARGO No1 S	Sea	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.80

Εικόνα 85 Σημεία προοδευτικής κατάκλισης

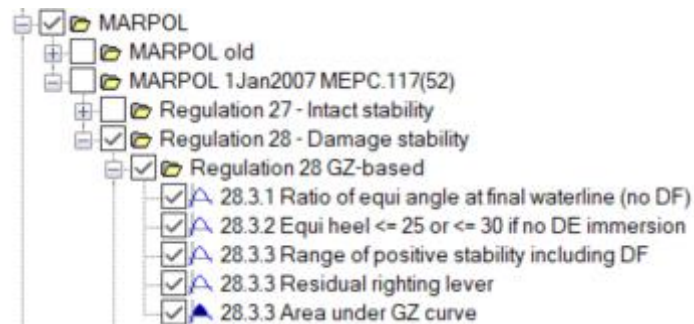
Για τον ορισμό των καταστάσεων βλάβης επιλέγουμε το “*Damage case window*” και στον πίνακα που εμφανίζεται επιλέγουμε τις δεξαμενές τις οποίες θέλουμε να μελετήσουμε κατά την παρουσία ρήγματος.



Assembly	Room	Intact	DCase 1	DCase 2	DCase 3	DCase 4	DCase 5	DCase 6	DCase 7	DCase 8	DCase 9	DCase 10	DCase 11
1	Case type	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Has RoRo space	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	STEERING GEA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	ENGINE ROOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	PUMP ROOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	CARGO No6 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	CARGO No6 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	CARGO No5 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	CARGO No5 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	CARGO No4 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	CARGO No4 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	CARGO No3 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	CARGO No3 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	CARGO No2 C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	CARGO No1 S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	CARGO No1 P	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	WBT No6 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	WBT No6 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	WBT No5 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	WBT No5 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	WBT No4 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	WBT No4 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	WBT No3 S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	WBT No3 P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	WBT No2 C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	WBT No1 P	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	WBT No1 S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	FPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	MARPOL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	DIESEL DAY P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	DIESEL DAY S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	SEWAGE TK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	FWT L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	FWT U	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 86 Ορισμός καταστάσεων βλάβης

Τέλος για κάθε μια κατάσταση φόρτωση θα εκτελέσουμε τους υπολογισμούς “Equilibrium” και “Large Angle Stability” για όλες τις περιπτώσεις βλάβης και θα επιλέξουμε τους κανονισμούς της “MARPOL - REGULATION 28 – Damage Stability”.



Εικόνα 87 Κανονισμοί "MARPOL" για ευστάθεια έναντι βλάβης

### 6.5.3 Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη

Λόγω του μεγάλου όγκου αποτελεσμάτων στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα των κριτηρίων ευστάθειας.

#### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

##### DCase 1

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	3.25	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	38.97	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	43.9	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.338	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.6387	Pass

#### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

##### DCase 2

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	3.41	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	53.73	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	45.4	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.341	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.6561	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 3

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	8.61	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	14.70	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	39.0	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.325	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.4822	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 4

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	6.85	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	76.47	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	41.5	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.320	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.4673	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 5

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	5.49	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	54.94	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	43.9	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.314	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.4437	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 6

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	6.60	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	59.08	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	43.9	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.297	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.2886	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 7

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	8.35	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	62.96	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	39.7	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.266	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	2.9611	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 8

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	15.56	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	26.74	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	36.3	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.319	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.3907	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 9

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	21.56	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	33.55	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	30.5	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.282	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.0666	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 10

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	15.95	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	27.23	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	35.9	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.268	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	2.9755	Pass

### Κατάσταση Νο1 “Full Load Homogenous Departure”

#### DCase 11

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	16.32	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	28.12	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	36.0	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.243	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	2.6526	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 1

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	2.36	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	31.32	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	44.0	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.350	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.7284	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 2

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	2.50	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	45.82	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	46.1	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.353	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.7488	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 3

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	7.64	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	12.93	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	39.1	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.339	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.6009	Pass



## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 4

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	5.71	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	68.64	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	41.7	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.336	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.5907	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 5

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	4.18	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	44.67	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	44.2	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.331	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.5796	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 6

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	5.03	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	49.52	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	45.6	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.315	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.4387	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 7

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	6.47	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	54.09	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	42.5	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.282	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.1478	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 8

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	14.45	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	24.98	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	37.0	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.335	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.5348	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 9

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	20.21	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	31.16	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	30.8	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.300	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.2580	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 10

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	14.24	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	24.15	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	36.4	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.290	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	3.2054	Pass

## Κατάσταση Νο2 “Full Load Homogenous Arrival”

### DCase 11

Criteria	Value	Units	Actual	Status
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	13.40	Pass
28.3.2 Equi heel $\leq$ 25 or $\leq$ 30 if no DE immersion	100	%	24.14	Pass
28.3.3 Range of positive stability including DF	20	deg	39.0	Pass
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	0.263	Pass
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	2.9057	Pass

Συμφωνά με το “Regulation 28” της “MARPOL” καταστάσεις ερματισμού κατά τις οποίες το πλοίο δε μεταφέρει εμπόρευμα εξέρχονται από τους υπολογισμούς ευστάθειας έναντι βλάβης. Έτσι οι υπόλοιπες καταστάσεις φόρτωσης δεν θα εξεταστούν περαιτέρω.

## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Το ερευνητικό μέρος της παρούσας εργασίας είχε ως αντικείμενο την σχεδίαση γάστρας δεξαμενόπλοιου μεταφοράς πετρελαίου, τον υπολογισμό της άθικτης ευστάθειας για τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσής του και τον υπολογισμό της ευστάθειας έναντι βλάβης σε περίπτωση κατάκλισης δεξαμενών πετρελαίου.

Για τη σχεδίαση του τρισδιάστατου μοντέλου κριθήκαν αναγκαία το σχέδιο γενικής διάταξης και το σχέδιο ναυπηγικών γραμμών. Με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος “AutoCAD” μπορέσαμε να ψηφιοποιήσουμε το σχέδιο γραμμών το οποίο στη συνέχεια κάναμε εισαγωγή στο πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης “Rhino 3D”. Έπειτα τοποθετώντας τους νομείς και τις ισάλους στις σωστές θέσεις στο χώρο περάσαμε επιφάνειες και σχηματίσαμε τη γάστρα του πλοίου. Με τη βοήθεια του σχεδίου γενικής διάταξης μοντελοποιήσαμε και τις υπερκατασκευές.

Στη συνέχεια με το υπολογιστικό λογισμικό “Maxsurf” εκτελέσαμε τους υπολογισμούς ευστάθειας του πλοίου. Μέσω του “Modeler” έγινε εισαγωγή της γάστρας και ορίσαμε το επίπεδο αναφοράς. Στο πρόγραμμα του “Stability” παραμετροποιήσαμε το πρόβλημα της ευστάθειας. Καθώς το πλοίο που μελετήθηκε είναι υπαρκτό, μέσω του υπολογισμού υδροστατικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε έλεγχος της γεωμετρίας της γάστρας συγκρίνοντας τα αποτελέσματά μας με τα ισχύοντα υδροστατικά μέσω του κανονισμού “Url-5”. Με τη βοήθεια του σχεδίου χωρητικότητας δεξαμενών ορίσαμε τα διαμερίσματα και τις δεξαμενές. Με γνώμονα τα κριτήρια του κανονισμού του “IMO – A.749” ορίσαμε τις διάφορες καταστάσεις φόρτωσης κατά τις οποίες πρέπει να μελετηθεί το πλοίο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας το πλοίο φαίνεται να συμμορφώνεται πλήρως με τους κανονισμούς.

Κατά τον υπολογισμό της ευστάθειας έναντι βλάβης ακολουθήσαμε τον κανονισμό της “MARPOL”. Σύμφωνα με τον υπολογισμό της έκτασης βλάβης δημιουργήσαμε τα σενάρια κατάκλισης. Σε πραγματικό υπολογισμό ευστάθειας έναντι βλάβης πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση κατάκλισης κάθε διαμερίσματος για πλευρική βλάβη και για βλάβη πυθμένα. Στα πλαίσια της εργασίας εξετάστηκαν μόνο οι περιπτώσεις κατάκλισης από πλευρική βλάβη που αφορούσαν δεξαμενές πετρελαίου. Εξετάστηκαν επίσης σενάρια κατάκλισης παραπάνω από μιας δεξαμενής πετρελαίου ταυτόχρονα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το πλοίο είναι ικανό να επιβιώσει έναντι τέτοιων καταστάσεων.

Συμπεραίνουμε πως το κομμάτι της ευστάθειας χρίζει ιδιαίτερης σημασίας για την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων. Πρόκειται για τη μελέτη που εξασφαλίζει την αξιοπιστία ενός πλοίου και επηρεάζει άμεσα τη μεταφορική του ικανότητα, την ασφάλεια των επιβαινόντων και την προστασία της θάλασσας. Οι κανονισμοί που ακολουθούνται δίνουν μία καλή εικόνα της ευστάθειας ενός πλοίου, δεν εξασφαλίζουν όμως την επιβίωση του σε κάθε περίπτωση. Ένας ναυπηγός οφείλει να σχεδιάζει το πλοίο του με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να του δίνει τις καλύτερες πιθανότητες επιβίωσης ακόμα και στις δυσμενέστερες συνθήκες.

## Κεφάλαιο 8: Προτάσεις

Σύμφωνα με τη νομοθεσία το πλοίο χαρακτηρίζεται ως ευσταθές και υπερκαλύπτει όλα τα κριτήρια ευστάθειας. Παρατηρήθηκε όμως στις καταστάσεις πλήρους φόρτωσης σημαντική έμπρομη διαγωγή. Αν και δεν φαίνεται να επηρεάζει την ικανότητα πλεύσης του πλοίου, δεν αποτελεί ιδανική συνθήκη. Για το λόγο αυτό αναλύονται ορισμένες προτάσεις με σκοπό την βελτιστοποίηση της διαγωγής.

- 1) Επιμήκυνση της γάστρας του πλοίου αυξάνοντας την χωρητικότητα της δεξαμενής “*Cargo No<sub>2</sub> C*” και κατάργηση των δεξαμενών “*Cargo No<sub>1</sub> Port*” και “*Cargo No<sub>1</sub> Stbd*”.

Με τη διαδικασία αυτή επιδιώκουμε να μεταβάλουμε την θέση του κέντρου βάρους και του κέντρου άντωσης με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το πλοίο να πλέει σε καλύτερη κατάσταση διαγωγής.

- 2) Κατάργηση των δεξαμενών “*Cargo No<sub>1</sub> Port*” και “*Cargo No<sub>1</sub> Stbd*” και μετασκευή των πλευρικών δεξαμενών ερματισμού “*WBT No<sub>6</sub> Port*”, “*WBT No<sub>6</sub> Stbd*”, “*WBT No<sub>5</sub> Port*” και “*WBT No<sub>5</sub> Stbd*” σε δεξαμενές φορτίου.

Με αυτή τη μετασκευή επιτυγχάνουμε μετακίνηση του κέντρου βάρους ως προς την πρύμνη χωρίς να μεταβάλουμε τη γεωμετρία του πλοίου και επιτυγχάνοντας μια μικρή αύξηση του φορτίου.

Το πλοίο, αν και ικανό να επιβιώσει σε περίπτωση κατάκλισης διαδοχικών δεξαμενών πετρελαίου, μπορεί να προκαλέσει μεγάλη οικολογική καταστροφή λόγω εκχύλισης πετρελαίου. Για το λόγο αυτό προτείνεται για περαιτέρω διερεύνηση:

1. Πιθανοθεωρητική μελέτη ευστάθειας έναντι βλάβης.

Αυτή η μελέτη είναι σημαντική διότι εξετάζει την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου όταν ένα ή περισσότερα διαμερίσματα κατακλύζονται από νερό, λαμβάνοντας υπόψη ρεαλιστικά σενάρια που προκύπτουν από στατιστικά δεδομένα διαφόρων ατυχημάτων.

2. Εκπόνηση μελέτης “*MARPOL Oil outflow*”.

Η μελέτη αυτή είναι κρίσιμη για την εκτίμηση της πιθανής ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε περίπτωση βλάβης, ακολουθώντας τα κριτήρια και τους

κανονισμούς της “*MARPOL*” που στοχεύουν στην πρόληψη της ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων.

3. Τροποποίηση της διάταξης των δεξαμενών πετρελαίου προσθέτοντας κεντρική δεξαμενή.

Αυτή η τροποποίηση μπορεί να βελτιώσει την κατανομή φορτίου και την ευστάθεια του πλοίου, μειώνοντας την πιθανότητα εκχύλισης πετρελαίου και αυξάνοντας την ασφάλεια σε περίπτωση βλάβης.

## Βιβλιογραφία

- (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lines\\_plan\\_en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lines_plan_en.svg)
- Alberg , H. (χ.χ.). *top450.universiteitleiden.nl*. Ανάκτηση από Simon Stevin: <https://top450.universiteitleiden.nl/en/items/simon-stevin>
- Autodesk. (χ.χ.). *AutoCAD*. Ανάκτηση από 2023: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- Babicz, J. (2015). *Encyclopedia of Ship Technology Second Edition*. Helsinki: WÄRTSILÄ CORPORATION.
- Biran, A. B., & López-Pulido, R. (2014). *Ship Hydrostatics and Stability Second Edition*. Amsterdam: Elsevier.
- Christensen, F. (2014). *STABILITY GUIDE FOR SMALLER VESSELS*.
- Flood, A. (2011, 10 26). *The Guardian*. Ανάκτηση από The Guardian: <https://www.theguardian.com/books/2011/oct/26/archimedes-palimpsest-ahead-of-time>
- Francescutto, Francescutto, A., & Papanikolaou, A. (2011). Buoyancy, Stability, and Subdivision: From Archimedes to SOLAS 2009 and the Way Ahead. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 17-32.
- Gillmer, T. C. (1982, 9 30). *Introduction to Naval Architecture and Ocean Engineering*.
- Gyuyeol, L. (2008). *Stability & Trim of 3,700 TEU Container Carrier*. Seoul: Seoul National University Department of Naval Architecture and Ocean Engineering.
- International Maritime Organization, I. (2020, November 11). Resolution MSC.429(98)/Rev.1: Revised Explanatory Notes to the SOLAS Chapter II-1 Subdivision and Damage Stability Regulations. International Maritime Organization, IMO.
- Kairis, S. (2012, February 9). *officerofthewatch*. Ανάκτηση από officerofthewatch.com: <https://officerofthewatch.com/2012/02/09/ships-geometry-and-hull-definition/>
- Lee, B. S. (2019). *Hydrostatics and Stability of Marine Vehicles Theory and Practice*. Singapore Springer Singapore.



- Leine, R. I., & Wouw, N. v. (2010). *Stability and convergence of mechanical systems with unilateral constraints*. Berlin Heidelberg Springer Berlin Heidelberg Springer.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture. I Stability and Strength*. Jersey City, NJ: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Lim, A. (2018). *How Leonhard Euler Produced the Most Beautiful Equation in Mathematics*. Ανάκτηση από ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/leonhard-euler-biography-4174374>
- Misra, S. C. (2016). *Design principles of ships and marine structures*. Boca Raton: CRC Press.
- Nowacki, H. (2013). *Archimedes and Ship Design*. Ανάκτηση από <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P445.PDF>
- Organization, I. M. (2011). *MARPOL Consolidated Edition 2011*. International Maritime Organization.
- Orszulik, S. (2016). *Environmental Technology in the Oil Industry*. Cham: Springer, Cop.
- Pierre Bouguer (1698 - 1758)*. (χ.χ.). Ανάκτηση από Structurae: <https://structurae.net/en/persons/pierre-bouguer>
- PolyCAD*. (χ.χ.). Ανάκτηση από PolyCAD.co.uk: <https://www.polycad.co.uk/pages/images/images.html>
- Pond, D. (2024, 7 2). *Sympathetic Vibratory Physics / Equilibrium*. Ανάκτηση από Sympathetic Vibratory Physics: <https://svpwiki.com/equilibrium>
- Pond, D. (χ.χ.). *Sympathetic Vibratory Physics / Equilibrium*. Ανάκτηση από Sympathetic Vibratory Physics: <https://svpwiki.com/equilibrium>
- Rawson, K., & Tupper, E. (1976). *Basic Ship Theory - Volume 1*. London: Longman.
- RESOLUTION A.749(18) adopted on 4 November 1993 CODE ON INTACT STABILITY FOR ALL TYPES OF SHIPS COVERED BY IMO INSTRUMENTS*. (1993).
- Robert E, & Randall. (2010). *Elements of ocean engineering*. Jersey City: Society Of Naval Architects And Marine Engineers.
- Tupper, E. C. (2004). *Introduction to Naval Architecture, Fourth Edition*. Amsterdam: Elsevier, Butterworth Heinemann.

Ueng, S.-K. (2013). PHYSICAL MODELS FOR SIMULATING SHIP. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 21.

Watts, A. (2023). *Isostasy and Flexure of the Lithosphere*. Cambridge University Press.

Wikimedia Commons. (χ.χ.). Ανάκτηση από commons.wikimedia.org:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ship\\_lines\\_%283D\\_design%29.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ship_lines_%283D_design%29.PNG)

Wikipedia. (2023, 7 15). Ανάκτηση από Simon Stevin:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Simon\\_Stevin](https://en.wikipedia.org/wiki/Simon_Stevin)

Τζαμπίρας, Γ. (2015). *Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Φουντουκίδου, Χ., & Τζιώνα, Έ. (2013, 5 12). *Project Ancient Technology*. Ανάκτηση από  
Project Ancient Technology:  
<https://ancitech.wordpress.com/%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CE%B9-%CE%AD%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B5%CF%82-%CE%BC%CE%B1%CE%B8%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%AF-1/%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B9%CE%BC%CE%AE%CE%B4%CE%B7%CF%82/>