



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

**Σχεδίαση γάστρας επιβατηγού πλοίου και έλεγχος της άθικτης ευστάθειας και της
ευστάθειας μετά από βλάβη.**

Passenger ship hull design and assessment of intact and damaged stability.

Συγγραφέας:

Ευαγγελία Πέππα

A.M.: 51116076

Επιβλέπων: Ιωάννης Τίγκας

Αιγάλεω, 2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική εργασία

Τίτλος: Σχεδίαση γάστρας επιβατηγού πλοίου και έλεγχος της άθικτης ευστάθειας και της ευστάθειας μετά από βλάβη

Συγγραφέας

Ευαγγελία Πέππα (Α.Μ.: 51116076)

Επιβλέπων

Ονοματεπώνυμο,

Ιωάννης Τίγκας, Επίκ.Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

08/09/2023

Εξεταστική Επιτροπή

Ονοματεπώνυμο,

Ιωάννης Τίγκας,

Επικ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ονοματεπώνυμο,

Κωνσταντίνος Πολίτης,

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Ονοματεπώνυμο,

Αλέξανδρος Θεοδουλίδης

Επίκ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ευαγγελία Πέππα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 5116076 φοιτήτρια 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 διπλώματός μου».

Η δηλούσα

Ευαγγελία Πέππα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Τίγκα για την πολύτιμη βοήθεια και συνεχή στήριξη του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και τους συνεργάτες μου και τον Δημήτρη Χρήστου για την υπομονή τους και την ενθάρρυνση τους να επιτύχω τους στόχους μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που απασχολεί την ναυτιλιακή κοινότητα μέχρι σήμερα είναι η ασφάλεια στην θάλασσα. Όλοι οι ισχύοντες κανονισμοί αποσκοπούν στην διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος. Οι υπάρχοντες κανονισμοί μεταβάλλονται, ανανεώνονται και αξιολογούνται συνέχεια από τους κατάλληλους οργανισμούς. Ύστερα από ναυτικά ατυχήματα γίνεται αξιολόγηση και μπορεί να θεσμοθετούνται καινούριοι, έτσι ώστε να αποφευχθούν μελλοντικά παρόμοιες καταστάσεις. Επιπλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας βοηθά στην θεσμοθέτηση αυστηρότερων κανονισμών καθώς όλες οι διαδικασίες είναι πιο γρήγορες και προσβάσιμες συγκριτικά με παλαιότερα.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (*IMO*) έχει θεσπίσει κανονισμούς για όλους τους τύπους πλοίων για να εξασφαλίζεται την ασφαλή μετακίνηση τους. Διεξάγει συχνά μελέτες και διορθώσεις στους κανονισμούς για την καλύτερη και ασφαλέστερη λειτουργία τους.

Η ευστάθεια του πλοίου είναι ένα σημαντικό πρόβλημα καθώς η απώλεια της μπορεί να επιφέρει θανατηφόρα ατυχήματα [3]. Ο *IMO* έχει θεσπίσει μια σειρά από κανονισμούς, οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν από πλοίο σε πλοίο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η άθικτη ευστάθεια (*Intact Stability Code, 2008*) και η ευστάθεια μετά από βλάβη (*SOLAS*).

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η τρισδιάστατη σχεδίαση πλοίου, ο υπολογισμός της άθικτης ευστάθειας, της ευστάθειας μετά από βλάβη και τρόποι βελτιστοποίησης της ευστάθειας. Για αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκε ένα πραγματικό *cruise yacht*. Για την τρισδιάστατη σχεδίαση του χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *Rhinoceros 3d*. Έγινε εισαγωγή του 2d σχεδίου γραμμών στο πρόγραμμα και στη συνέχεια η ανάπτυξη της τρισδιάστατης μορφής της γάστρας σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Για τον υπολογισμό της ευστάθειας έγινε εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρόγραμμα *Maxsurf*. Σε αυτό αρχικά υπολογίσαμε τα υδροστατικά του πλοίου και στη συνέχεια, αφού δημιουργήσαμε τις δεξαμενές, υπολογίσαμε τη άθικτη ευστάθεια του.

Για τον υπολογισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα σωστά κριτήρια, αφού το αντικείμενο μελέτης πρόκειται για ένα επιβατηγό, και να φτιάξουμε διάφορες περιπτώσεις βλαβών σύμφωνα με το χειρότερο σενάριο.

ABSTRACT

One of the primary concerns of the maritime community is the safety at sea. All existing regulations aim to safeguard human life and the environment. Regulations are constantly changing, renewing, and evaluated by appropriate organizations. After maritime accidents, assessments are made, and new regulations may be institutionalized to avoid similar situations in the future. In addition, the evolution of technology helps to enforce regulations as all processes are faster and more accessible compared to the past.

The International Maritime Organization (IMO) has established regulations for all types of ships to ensure their safe movement. It often conducts studies and revisions of regulations for better and safer operation.

Ship stability is an important problem that must be taken into account as its loss can result in fatal accidents. IMO has established a series of regulations, which may differ from ship to ship, to ensure intact stability and damage stability (SOLAS).

The subject of this thesis is the three-dimensional ship design, calculation of intact stability and damage stability. For this study, a real cruise yacht was used. The Rhinoceros 3D program was used for the three-dimensional design, where the 2D lines plan was imported into the program and the three-dimensional form of the hull was developed according to existing regulations.

For stability calculations, the three-dimensional model was imported into the Maxsurf program. Initially, the hydrostatics of the vessel were calculated, and subsequently, after creating the tanks, intact stability was calculated.

For the calculation of damage stability, the correct criteria must be taken into account. As the subject of the study is a passenger ship, various damage scenarios must be created according to the worst-case scenario.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο:Εισαγωγή	16
1.1: Γενικά	16
1.2: Σκοπός της εργασίας.....	17
Κεφάλαιο 2ο: Ιστορική αναδρομή.....	18
2.1 Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ευστάθειας	18
2.2 Σύγχρονα συστήματα για αυξημένη ευστάθεια.....	22
Κεφάλαιο 3ο: Σχεδίαση γάστρας επιβατηγού πλοίου με το λογισμικό <i>Rhinoceros 3D</i>	25
3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο <i>Rhinoceros 3D</i>	25
3.1.1 Καμπύλες και επιφάνειες <i>NURBS</i>	25
3.1.2 Περιγραφή καμπυλών <i>NURBS</i>	26
3.2 Σχεδίαση γάστρας.....	28
Κεφάλαιο 4ο: Υπολογισμός άθικτης ευστάθειας πλοίου	39
4.1 Κανονισμός Α.749(18).....	39
4.1.1 Γενικά για τον κώδικα Α.749(18)	39
4.1.2 Πεδίο εφαρμογής.....	39
4.1.3 Κριτήρια σχετικά με τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς.....	40
4.1.4 Κριτήριο καιρού	41
4.1.5 Ειδικά κριτήρια για επιβατηγά πλοία.....	47
4.2 Γενικά για το <i>Maxsurf</i>	48
4.2.1 Εισαγωγή μοντέλου στο <i>Maxsurf</i>	48
4.2.2 Καταστάσεις φόρτωσης.....	63
4.2.3 Αποτελέσματα άθικτης ευστάθειας.....	66
Κεφάλαιο 5ο: Υπολογισμός ευστάθειας μετά από βλάβη.....	68
5.1 Γενικά για την ευστάθεια μετά από βλάβη	68
5.2 <i>SOLAS Chapter II</i>	68
5.3 Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη	70
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις για έρευνα.....	98
Βιβλιογραφία	99

Κεφάλαιο 1ο:Εισαγωγή

1.1: Γενικά

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας αφορά ένα από τα κυριότερα θέματα της ναυτιλίας, την μελέτη ενός κανονισμού που εξασφαλίζει την ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών. Κάποιοι παράγοντες που έχουν οδηγήσει στην επίτευξη υψηλότερων απαιτήσεων στην ασφάλεια των πλοίων είναι τραγικά δυστυχήματα [4] αλλά και η πρόοδος της τεχνολογίας. Ένα διαχρονικό θέμα ασφάλειας, το οποίο απασχολεί αρκετά χρόνια τους οργανισμούς της ναυτιλιακής κοινότητας είναι η επιβίωση του πλοίου μετά από βλάβη. Οργανισμοί όπως ο *IMO* και οι νηογνώμονες έχουν ασχοληθεί εκτενώς με την θέσπιση των κανονισμών σχετικά με την ευστάθεια μετά από βλάβη και συνεχίζουν τις προσπάθειες για την βελτιστοποίηση τους, καθώς πάντα υπάρχει περιθώριο στην αύξηση της ασφάλειας.

Η ευστάθεια ενός πλοίου μετά από βλάβη παίζει καθοριστικό ρόλο κατά την αρχική σχεδίαση και μελέτη του πλοίου. Όταν πρόκειται για επιβατηγά πλοία, τότε η αυστηρότητα των κανονισμών μεγαλώνει, καθώς αυξάνεται και ο αριθμός των επιβατών που έχουν πρόσβαση σε αυτό, άρα και η απώλεια ζώων σε περίπτωση ατυχήματος. Ξεκινώντας από τα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία η έρευνα για την μελέτη ευστάθειας μετατοπίζεται και στα επιβατηγά πλοία.

Όταν το πλοίο υποστεί κάποια βλάβη, κάποια από τα πιθανά σενάρια είναι η προσάραξη ή η σύγκρουσή. Αποτέλεσμα αυτών μπορεί να είναι η εισροή νερού στο εσωτερικό του πλοίου. Για την ασφάλεια των επιβατών πρέπει να ικανοποιούνται δύο κριτήρια μετά την βλάβη: η πλευστότητα και η ευστάθεια. Για να διατηρείται η πλευστότητα μετά την βλάβη κύριος παράγοντας είναι η εφεδρική πλευστότητα του πλοίου. Η ευστάθεια του πλοίου μετά την βλάβη αποτελεί ένα πιο περίπλοκο πρόβλημα καθώς το νερό μπορεί να διαπεράσει και σε διαμερίσματα τα οποία δεν έχουν υποστεί βλάβη.

Για να υπολογίσουμε την ευστάθεια του πλοίου, πρέπει πρώτα αρχικά να φτιάξουμε το τρισδιάστατο μοντέλο με την βοήθεια σχεδίων (γενικής διάταξης, το σχέδιο γραμμών και το σχέδιο των δεξαμενών). Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το μοντέλο μπορούμε να το εισάγουμε σε πρόγραμμα υπολογισμού υδροστατικών και ευστάθειας και να εφαρμόσουμε τα προβλεπόμενα κριτήρια για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου. Σε αυτό το πρόγραμμα

μπορούμε να φτιάξουμε διάφορες καταστάσεις φόρτωσης, περιπτώσεις βλάβης της ευστάθειας και να κάνουμε υπολογισμούς για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς.

1.2: Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή των κριτηρίων του *IMO* σε ένα συγκεκριμένο πλοίο.

Πρώτο βήμα είναι η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου συγκεκριμένου *cruise yacht* στο σχεδιαστικό πρόγραμμα *Rhinoceros 3d*, με την βοήθεια του σχεδίου γραμμών και του σχεδίου γενικής διάταξης, η ομαλοποίηση των γραμμών και η δημιουργία των επιφανειών της γάστρας.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του παραπάνω μοντέλου στο *Maxsurf*, πρόγραμμα υπολογισμού υδροστατικών και ευστάθειας πλοίου. Πριν τους υπολογισμούς, πρέπει να φτιάξουμε τις δεξαμενές, βασιζόμενοι πάντα στο σχέδιο δεξαμενών. Για να υπολογίσουμε την άθικτη και την ευστάθεια μετά από βλάβη, πρέπει να φτιάξουμε τις καταστάσεις φόρτωσης και να επιλέξουμε σωστά τα κριτήρια για τον υπό μελέτη τύπο πλοίου. Στη δική μας περίπτωση, πρέπει να εφαρμόσουμε κάποια κριτήρια τα οποία αφορούν τα επιβατηγά πλοία (μήκος ρήγματος, κριτήριο καιρού).

Τέλος, γίνονται κάποιες προτάσεις για την βελτιστοποίηση της ευστάθειας των πλοίων.

Κεφάλαιο 2ο: Ιστορική αναδρομή

2.1 Ιστορική εξέλιξη κανονισμών ευστάθειας

Ξεκινάμε με μία ιστορική εξέλιξη των κανονισμών ευστάθειας βασιζόμενοι στο κεφάλαιο 14 του βιβλίου Δυναμική ευστάθεια πλοίου (Σπύρου, 2015).

Τον 19ο αιώνα άρχισαν να γίνονται συζητήσεις στην κοινότητα των ναυπηγών για το πως θα μπορούσε ένα σκάφος να συνεχίσει να πλέει ύστερα από κατάκλιση των διαμερισμάτων του. Συνεπώς υπήρξε κάποια πρωτοβουλία στη Μεγάλη Βρετανία με τον νόμο *Merchant Shipping Act* το 1854. Φαίνεται ότι αυτός ο νόμος καθιέρωνε την υποχρεωτική ύπαρξη φρακτών στο μπροστά και πίσω μέρος του μηχανοστασίου, την φρακτή στο πίσω μέρος του άξονα καθώς και φρακτή στην πλώρη για συγκεκριμένο τύπο πλοίων (μεταλλικό και πάνω από 100 t). Οκτώ χρόνια αργότερα ο κανονισμός ανακλήθηκε καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα που να επιβεβαίωναν ότι το σκάφος θα επιβιώσει σε περίπτωση βλάβης με την ύπαρξη των προαναφερθέντων φρακτών.

Το 1866 ένα τραγικό ατύχημα συνέβη με το πλοίο *LONDON*, ένα επιβατηγό πλοίο με 239 επιβάτες. Το πλοίο ήταν ατμόπλοιο για αυτό και κάποιες φορές το συναντάμε ως *SS LONDON*, όπου *SS* σημαίνει *Screw Steam*. Το πλοίο ξεκίνησε από το *Gravesend* της Αγγλίας και είχε προορισμό την Μελβούρνη της Αυστραλίας. Στη διάρκεια του ταξιδιού ξεκίνησαν να εισρέουν νερά στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα το πλοίο να βυθιστεί και 220 από τους 239 επιβαίνοντες να χάσουν τη ζωή τους.

Ύστερα από αυτό το τραγικό δυστύχημα ο *Reed* και *Russell* πρότειναν στο *Royal Institute of Naval Architects (RINA)* την υποχρεωτική σύσταση των εγκάρσιων και διαμηκών φρακτών για όλους τους τύπους πλοίων και για τα επιβατηγά συγκεκριμένα σύστησαν να σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιπλέουν μετά από ρήξη δύο συνεχόμενων διαμερισμάτων. Μία ακόμα προσθήκη στη προηγούμενη σύσταση είναι ότι το πλοίο έπρεπε να συνεχίζει να επιπλέει για την ρήξη ενός οποιουδήποτε διαμερίσματος αλλιώς δεν θεωρούνταν αξιόπλοο. Τέλος, προτάθηκε η προσθήκη διπύθμενων έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι σε περίπτωση βλάβης η εισροή υδάτων θα περιοριστεί στον χώρο του διπύθμενου και δεν θα εισχωρήσει στα εσωτερικά διαμερίσματα.

Τα επόμενα χρόνια, οι παραπάνω συστάσεις δεν είχαν ληφθεί σοβαρά υπόψη καθώς παρατηρούνταν αρκετά συχνά ότι τα πλοία δεν είχαν προσομοιώσει τους κανονισμούς που

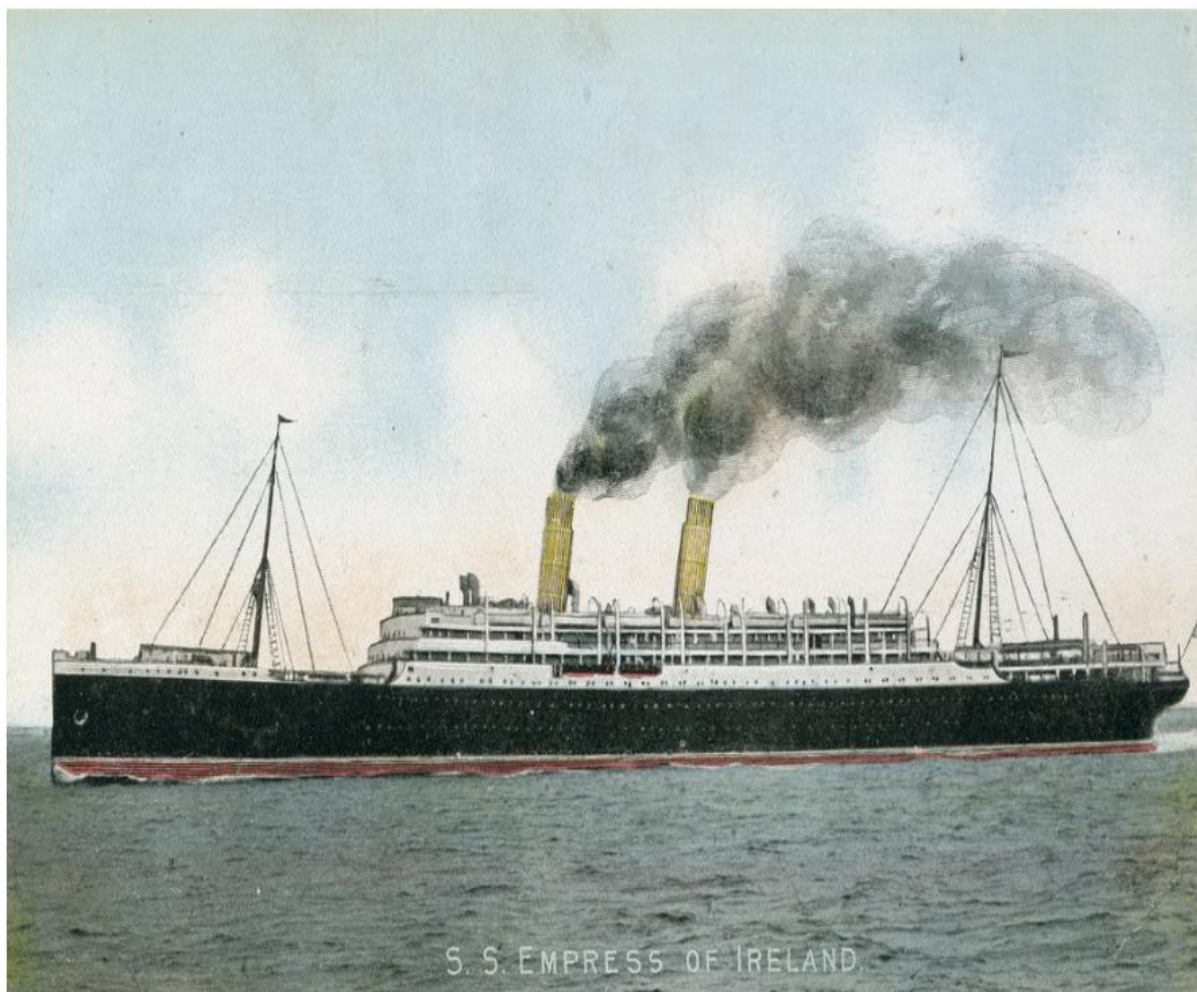
είχαν προταθεί τα προηγούμενα χρόνια. Ακόμα όμως και όταν είχαν εγκαταστήσει φρακτές φαίνεται ότι γινόταν με λάθος τρόπο καθώς σε αρκετές περιπτώσεις το ύψος τους δεν ξεπερνούσε εκείνο της ισάλου όποτε δεν είχε κάποια χρησιμότητα η ύπαρξή τους.

Έτσι, το 1882 ο Βρετανικός Νηογνώμονας δημιούργησε έναν καινούριο κανονισμό έτσι ώστε να διορθώσει την παραπάνω κατάσταση. Ο κανονισμός αυτός ήταν υποχρεωτικός για όλα τα πλοία μήκους 85,4 μέτρων και άνω και ουσιαστικά εισήγαγε τον κανονισμό ότι το ύψος των φρακτών πρέπει να είναι ανάλογο τους μήκους της ισάλου. Κάποια χρόνια αργότερα προστέθηκε στο παραπάνω κριτήριο ότι η τοποθέτηση φρακτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να το πλοίο να μπορεί να πλεύσει κάποιο χρονικό διάστημα μετά το ατύχημα.

Το 1890 έγινε υποχρεωτικό τα πλοία να μπορούν να συνεχίσουν την πλεύση τους ύστερα από κατάκλιση δύο συνεχόμενων διαμερισμάτων από το *First Bulkhead Committee*.

Το 20ο αιώνα, και συγκεκριμένα το 1912 λαμβάνει χώρα ένα από τα πιο πολύθρηνητα ναυτικά δυστυχήματα, το δυστύχημα του Τιτανικού. Με αφορμή αυτό το συγκλονιστικό γεγονός, το *Bulkhead Committee* αποφασίζει να βρει έναν τρόπο ώστε η μέθοδος της υποδιαίρεσης των στεγανών να είναι ικανοποιητική για να αποφευχθεί οποιοδήποτε ατύχημα σχετίζεται με τις φρακτές και την κατάκλιση τους. Η ίδια επιτροπή πρότεινε τον γνωστό μέχρι σήμερα υπολογισμό για τα κατακλύσιμα μήκη (*floodable length*). Ως "κατακλύσιμο μήκος" μπορούμε να ορίσουμε το μέγιστο μήκος που μπορεί να έχει ένα διαμέρισμα από τα διαμερισμάτα έτσι ώστε να μην βυθιστεί το πλοίο αν αυτό πάθει κάποια βλάβη μέχρι ένα μέγιστο ύψος (*margin line*), το οποίο θεωρείται ότι είναι 7,6 cm πάνω από το ανώτατο όριο των φρακτών (*bulkhead deck*).

Το 1914 συνέβη μία άλλη ναυτική τραγωδία, εκείνη του *EMPRESS OF IRELAND*. Το πλοίο απέπλευσε από την πρωτεύουσα του Καναδά, *Quebec*, και είχε προορισμό το *Liverpool*. Ήταν το πρώτο ταξίδι του στο ποτάμι του Αγίου Λαυρεντίου. Το πλοίο συγκρούστηκε με το νορβηγικό ατμόπλοιο *Norstand*, το οποίο αξίζει να σημειωθεί ότι ήταν έμπορο και η πλώρη του ήταν ενισχυμένη για να σπάει πάγους στις βόρειες θάλασσες. Τα δύο πλοία συγκρούστηκαν λόγω της ομίχλης που υπήρχε. Το πλοίο ανατράπηκε.



Εικόνα 1: *Imperial express* (<https://www.kolydas.gr/content/29>)

Το 1915 προτάθηκε από το “*Bulkhead Committee*” το κριτήριο υπηρεσίας, δηλαδή να προσδιοριστεί η τιμή F ή αλλιώς συντελεστής υποδιαίρεσης. Όταν η τιμή F πολλαπλασιαστεί με το κατακλύσιμο μήκος θα προκύψει και η τιμή που πρέπει να έχει το διαμέρισμα. Εκείνη την περίοδο ξέσπασε και ο Α΄ Παγκόσμιος πόλεμος, οπότε το κριτήριο υπηρεσίας δεν τέθηκε σε εφαρμογή.

Οι πρώτοι διεθνείς κανονισμοί που αφορούν τα στεγανά του πλοίου, εγκαθιδρύθηκαν μετά τη διάσκεψη της *SOLAS*, η οποία πραγματοποιήθηκε το 1929. Με εκείνη τη διάσκεψη ουσιαστικά καθιερώθηκε η μέθοδος της στεγανής υποδιαίρεσης ή αλλιώς *factorial method*. Από τον συντελεστή της τιμής υποδιαίρεσης ουσιαστικά μπορούμε να καταλάβουμε πόσα συνεχή στεγανά διαμερίσματα μπορούν να κατακλισθούν χωρίς να υπάρξει βύθιση του πλοίου. Παρακάτω μπορούμε να δούμε τις περιπτώσεις:

- Από 1.0-0.5 μέχρι 1 στεγανό διαμέρισμα
- Από 0.5-0.33 μέχρι 2 συνεχόμενα στεγανά διαμερίσματα
- Από 0.33-0.25 μέχρι 3 στεγανά διαμερίσματα

Μέχρι εκείνη τη χρονιά πρέπει να σημειωθεί ότι κανείς δεν είχε ασχοληθεί με την εγκάρσια κλίση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα πλοία μέχρι τότε ήταν παρόμοια και η εσωτερική τους διαρρύθμιση βοηθούσε πολύ στην εγκάρσια ευστάθεια τους. Από τη SOLAS 29 καθιερώθηκε ότι το μήκος ρήγματος ήταν $0.02L + 3.05 (m)$. Το βάθος εισχώρησης του ρήγματος θεωρήθηκε και παρέμεινε ως το 1/5 του πλοίου.

Τα επόμενα χρόνια παρατηρήθηκε ότι το πλάτος των πλοίων άρχισε να αλλάζει και έτσι η βρετανική νομοθεσία εισάγει το 1932 το θετικό μετακεντρικό ύψος και τις 7 μοίρες για πλοίο μετά από κάποια βλάβη.

Το 1948 έχουμε την ίδρυση του Διεθνή Ναυτιλιακού οργανισμού (γνωστός σήμερα ως *IMO*). Στη δεκαετία που ακολούθησε παρατηρήθηκαν αρκετά ατυχήματα και έτσι αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί το 1960 μία καινούρια διάσκεψη. Το αποτέλεσμα αυτής ήταν να τεθεί σε ισχύ το υποχρεωτικό κριτήριο για ελάχιστο *GM* ίσο με 0,05 *m* για να υπάρχει εξισορρόπηση των δυνάμεων ανέμου και νερού. Την ίδια χρονιά δημοσιεύεται πρόταση από τον επιστήμονα *Wender* ο οποίος προτείνει το πιθανοτικό μοντέλο για τον καθορισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη.

Η εργασία αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο στην ιστορία της ευστάθειας μετά από βλάβη καθώς το 1974 θα εισαχθεί στους κανονισμούς μέσω της διακήρυξης *IMO Resolution A.265* για επιβατηγά πλοία.

Το 1992 θα προστεθούν κάποιοι υποχρεωτικοί κανονισμοί βασισμένοι στην πιθανοτική μέθοδο στην *SOLAS 74* από τον Νορβηγικό νηογνώμονα για πλοία άνω των 100 *m*.

Εξαιτίας της ποικιλίας των κανονισμών και της αμφισβήτησης του, το 2009 τέθηκε σε εφαρμογή ένας ενιαίος κανονισμός για όλους τους τύπους πλοίων. Αυτό αποτελεί το 2ο κεφάλαιο της *SOLAS*. Είναι πιθανό να τροποποιηθεί, καθώς ήδη έχει δεχθεί κριτική.

2.2 Σύγχρονα συστήματα για αυξημένη ευστάθεια

Για να επιτευχθεί περαιτέρω ευστάθεια στα πλοία, έχουν βρεθεί διάφορα συστήματα που αναφέρονται παρακάτω και τα οποία μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά την επίδραση του ανέμου ή των κυματισμών στην ευστάθεια. Όμως, σύμφωνα με τους κανονισμούς του *IMO*, πρέπει το πλοίο να έχει επαρκή ευστάθεια χωρίς αυτά τα συστήματα για να κριθεί αξιόπλοο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι με την μείωση του διατοιχισμού μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη επίδοση ως προς την ταχύτητα, την κατανάλωση καυσίμων και την ασφάλεια του πληρώματος.

Παθητικά συστήματα:

1. *Bilge Keel*
2. *Anti-Roll Tanks*

Ενεργητικά συστήματα

1. *Active fin stabilisers*
2. *Rudder roll stabilisation*

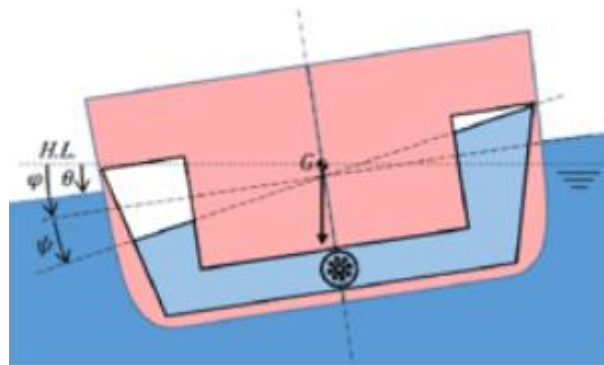
Παρακάτω γίνεται επεξήγηση για τα παθητικά συστήματα βελτιστοποίησης ευστάθειας:

1. Παρατροπίδιο (*Bilge Keel*): Τα παρατροπίδια είναι ουσιαστικά διαμήκεις ελάσματα τοποθετημένα στη γάστρα του πλοίου στην περιοχή των σεντινών, δηλαδή στην εξωτερική καμπύλη του κοίλου (*bilge keel*). Τα παρατροπίδια στερεώνονται στη γάστρα με ελάσματα διπλής διάταξης (*doubler plates*). Αυτό το σύστημα δρα με δύο τρόπους. Τα παρατροπίδια, αρχικά, επιτρέπουν να αναπτυχθεί πάνω τους μία υδροδυναμική δύναμη αντίθετη με τον διατοιχισμό. Δεύτερον, προκαλούν μικρούς στροβίλους που αυξάνουν την ιξώδη απόσβεση του διατοιχισμού [8].



Εικόνα 2: Bilge Keel (https://en.wikipedia.org/wiki/Bilge_keel#/media)

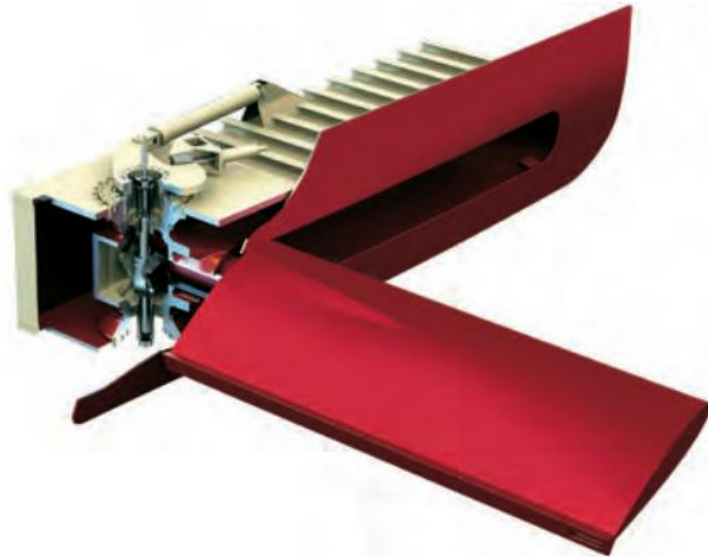
2. *Anti-roll tanks*: Πρόκειται για εσωτερικές δεξαμενές, εγκατεστημένες σε κατάλληλο ύψος και απόσταση από την centerline του πλοίου, έτσι ώστε να δημιουργούνται αντίθετες δυνάμεις σε αυτές του διατοιχισμού. [8].



Εικόνα 3: Σχήμα Anti-roll tank (Ship roll control and energy harvesting using a U-tube anti-roll tank) [13]

Παρακάτω γίνεται επεξήγηση για τα ενεργητικά συστήματα βελτιστοποίησης ευστάθειας:

1. *Active fin stabilisers*: Πρόκειται για πτερύγια τοποθετημένα στα μέση του πλοίου, ένα στην δεξιά πλευρά και ένα στην αριστερή. Αυτά τα πτερύγια έχουν την δυνατότητα να κινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταβάλλουν συνεχώς την κλίση τους δημιουργώντας ροπές κλίσης που μειώνουν την τάση του πλοίου να διατοιχιστεί [8].



Εικόνα 4: *Active fin stabilizer* (WÄRTSILÄ encyclopedia of ship technology)

2. *Rudder roll stabilisation*: πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου που χρησιμοποιεί το μηχανισμό κινήσεως του πηδαλίου (*steering gear*) και το πηδάλιο. Η βασική ιδέα του μηχανισμού είναι να παράγει ροπή διατοιχισμού αντίθετη με αυτή που παράγουν τα κύματα

Κεφάλαιο 3ο: Σχεδίαση γάστρας επιβατηγού πλοίου με το λογισμικό *Rhinoceros 3D*

3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο *Rhinoceros 3D*

3.1.1 Καμπύλες και επιφάνειες *NURBS*

Το ακρωνύμιο *NURBS* προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *Non-Uniform-Rational B-Splines* ή αλλιώς Μη-Ομοιόμορφα ρητά *B-Splines*. Πρόκειται για μαθηματικές αναπαραστάσεις τρισδιάστατης γεωμετρίας που μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια από ένα οποιοδήποτε σχήμα από μια απλή δισδιάστατη γραμμή, κύκλο, τόξο ή καμπύλη έως την πιο περίπλοκη τρισδιάστατη οργανική επιφάνεια ελεύθερης μορφής ή ένα στερεό. Τα μοντέλα *NURBS* βρίσκουν εφαρμογή σε διαφορετικούς τομείς [11] λόγω της ευελιξίας και της ακρίβειάς τους.

Από το όνομα, γίνεται κατανοητό ότι οι καμπύλες και οι επιφάνειες *NURBS* μοιάζουν με *B-Splines* αλλά η κύρια διαφορά τους είναι ότι η χρήση ρητών συναρτήσεων βάσης που καθιστά τις καμπύλες και επιφάνειες την πιο γενικευμένη μορφή καμπυλών και επιφανειών [1].

3.1.2 Περιγραφή καμπυλών NURBS

Οι καμπύλες *NURBS* ορίζονται από τα παρακάτω[9]:

1. Βαθμός
2. Σημεία ελέγχου
3. Κομβοδιανύσματα

Βαθμός καμπύλης [9]: είναι ένας θετικός ολόκληρος αριθμός. Συνήθως, ο βαθμός των καμπυλών είναι 1,2,3,5. Οι γραμμές και τα ευθύγραμμα τμήματα έχουν βαθμό 1, οι *NURBS* κύκλοι βαθμό 2 και οι υπόλοιπες καμπύλες βαθμό 3 ή 5.

Γενικά, είναι εφικτό να μεγαλώσουμε τον βαθμό της καμπύλης και να μην αλλάξει το σχήμα αλλά το αντίθετο δεν ισχύει.

Σημεία ελέγχου [9]: είναι κάποια σημεία που σε αριθμό είναι τουλάχιστον ο βαθμός της καμπύλης + 1. Με την μετακίνηση των σημείων ελέγχου μπορούμε πολύ εύκολα να αλλάξουμε το σχήμα της καμπύλης. Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος των σημείων ελέγχου είναι το βάρος. Όταν το βάρος για όλα τα σημεία ελέγχου είναι το ίδιο, τότε οι καμπύλες ονομάζονται μη ρητές (*non-rational*). Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, δηλαδή όταν το βάρος των σημείων ελέγχου διαφέρει, οι καμπύλες ονομάζονται ρητές. Το ακρωνύμιο *NURBS* υποδηλώνει ότι οι καμπύλες είναι ρητές. Πρακτικά, οι περισσότερες είναι μη ρητές, με εξαιρέσεις τους κύκλους και τις ελλείψεις που είναι πάντα ρητές.

Κόμβοι [9]: οι κόμβοι ορίζουν τα όρια των πεπερασμένων διαστημάτων όπου η συνάρτηση βάσης είναι μη μηδενική. Είναι, δηλαδή, μία λίστα αριθμών, οι οποίοι μας δείχνουν πώς τα σημεία ελέγχου μπορούν να επηρεάσουν την μορφή των *NURBS* καμπυλών. Αυτοί είναι σε αριθμό: ο βαθμός καμπύλης+ $N-1$, όπου N τα σημεία ελέγχου. Ο αριθμός τους πρέπει πληροί ταυτόχρονα αρκετά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Ένας τρόπος για να διασφαλίσουμε ότι αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά απαιτείται αυτοί οι αριθμοί να μένουν ίδιοι ή να μεγαλώνουν όσο προχωράμε στη λίστα. Για παράδειγμα, αν έχουμε μία καμπύλη *NURBS* 3ου βαθμού με 11 σημεία ελέγχου, η σειρά με αριθμούς 0,0,0,1,2,2,2,3,7,7,9,9,9 είναι ικανοποιητική. Αν για την ίδια καμπύλη, είχαμε τους αριθμούς 0,0,0,1,2,2,2,2,7,7,9,9,9 δεν θα ήταν αποδεκτό, καθώς το πλήθος των κόμβων 2 θα ήταν μεγαλύτερο από τον βαθμό της καμπύλης. Πολλαπλότητα κόμβων ονομάζεται το πόσες

φορές επαναλαμβάνεται ο ίδιος αριθμός. Μία κοινή παρανόηση είναι ότι για κάθε σημείο ελέγχου και αντιστοιχεί ένας κόμβος. Αυτό όμως δεν ισχύει γιατί σε κάθε σημείο ελέγχου αντιστοιχούν πολλοί κόμβοι [9].

Παρακάτω βλέπουμε την γενική εξίσωση μια καμπύλης *NURBS* για βαθμό d :

$$C(u) = \sum_{i=0}^n b_i R_{i,d}(u)$$

$$\text{Όπου: } R_{i,d}(u) = \frac{w_i N_{i,d}(u)}{\sum_{j=0}^n w_j R_{j,d}(u)}$$

$d = k - 1$: ο βαθμός καμπυλότητας

w_i : τα βάρη των σημείων ελέγχου

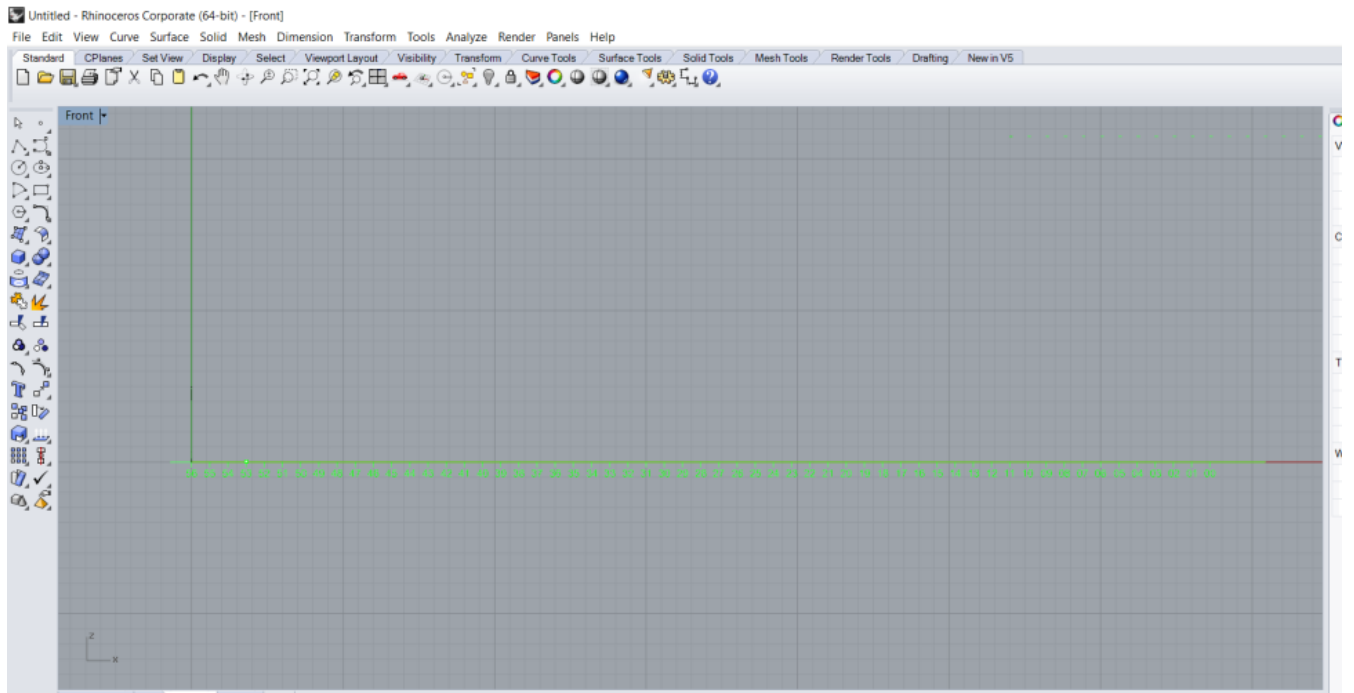
3.2 Σχεδίαση γάστρας

Στην παρούσα διπλωματική σκοπός μας είναι, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, να φτιάξουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο επιβατηγού πλοίου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα που θέλουμε είναι μια ομαλή επιφάνεια για να γίνει στη συνέχεια η εισαγωγή του σε πρόγραμμα *CAM*.

Τα σχέδια που δόθηκαν και χρειάζονται για τη σχεδίαση είναι τα:

- Σχέδιο γραμμών (*Lines plan*)
- Σχέδιο γενικής διάταξης (*General Arrangement*)

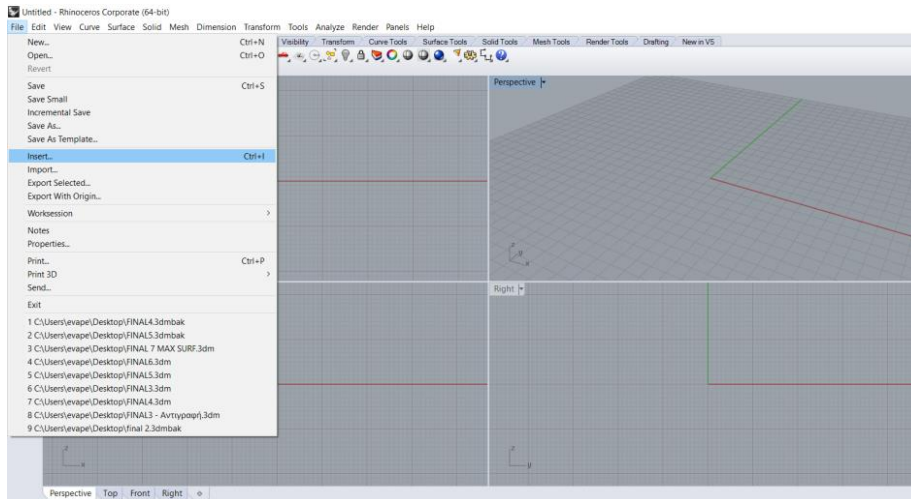
Πριν την εισαγωγή του σχεδίου στο πρόγραμμα, πρέπει να κατασκευαστεί η διαμήκης γραμμή αναφοράς του πλοίου (*baseline*). Από το σχέδιο που μας έχει δοθεί πρέπει να δούμε πόσο είναι οι ισαποστάσεις των νομέων (*frame spacing*) και στη συνέχεια να χωρίσουμε σε αντίστοιχα τμήματα την *baseline*. Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί σε αυτό το βήμα, καθώς όλοι οι νομείς τοποθετούνται με βάση αυτή την γραμμή και τις ισαποστάσεις. Γενικά, οι αποστάσεις μεταξύ των νομέων μπορεί να μην είναι όλες ίσες. Στη δική μας περίπτωση, η απόσταση των νομέων μεταξύ τους είναι 1200 mm .



Εικόνα 5: *Baseline*

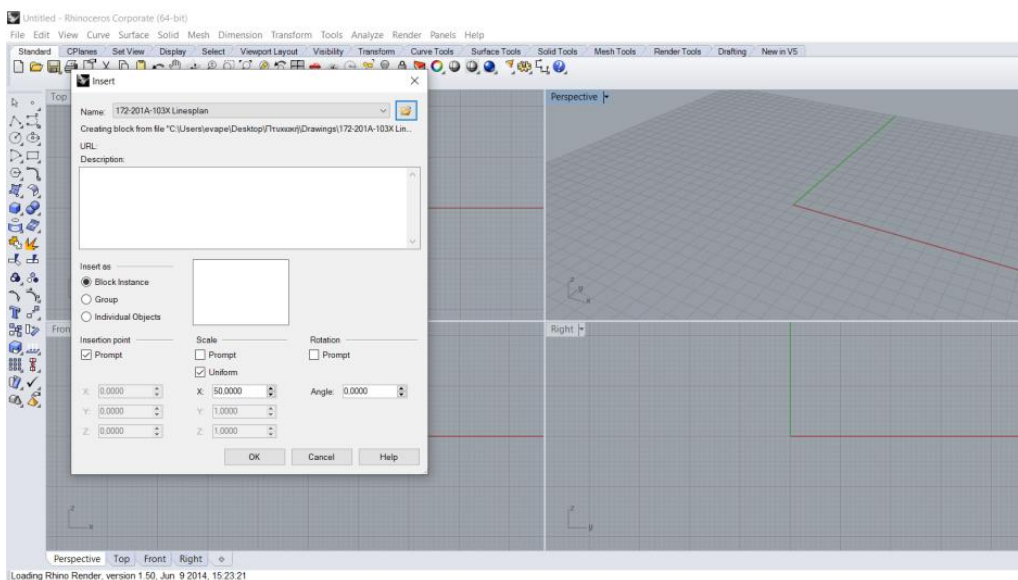
Το πρώτο σχέδιο που χρησιμοποιούμε είναι το σχέδιο γραμμών. Το πρώτο βήμα για να φτιάξουμε τη γάστρα είναι να το εισάγουμε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα. Η κλίμακα που σχεδιάζουμε το μοντέλο είναι 1:1 του πραγματικού πλοίου και όχι του σχεδίου. Αυτό διευκολύνει την διαδικασία μετρήσεων, αφού συνήθως τα κατασκευαστικά σχέδια είναι φτιαγμένα υπό κλίμακα και οι μετρήσεις αφορούν το κανονικό πλοίο.

Θέλουμε να εισάγουμε το *body plan* στην πλάγια όψη (*right view*). Επιλέγουμε την όψη που θέλουμε να εισάγουμε το σχέδιο, πατάμε *file* και *insert* :



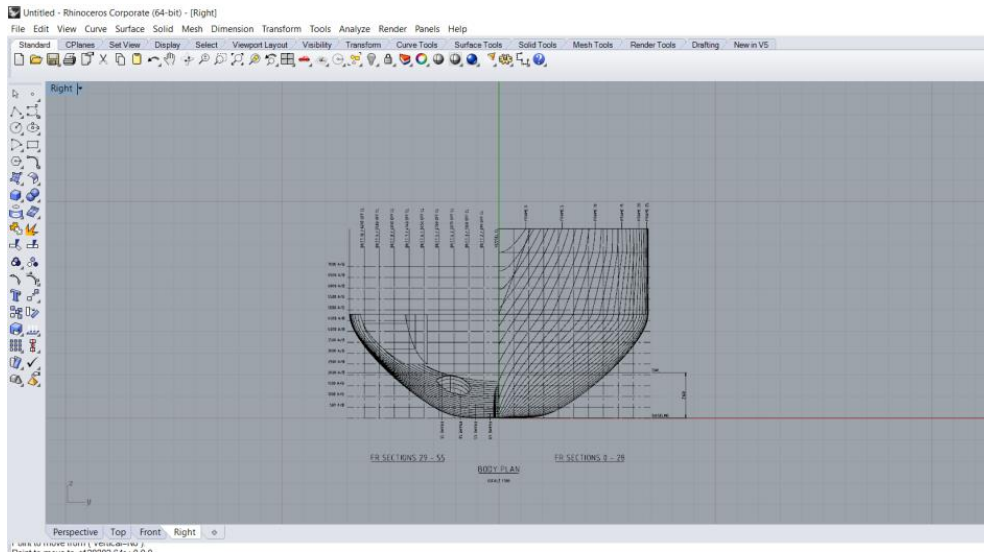
Εικόνα 6: Διαδικασία εισαγωγής σχεδίου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα

Η κλίμακα που είναι σχεδιασμένοι οι νομείς του πλοίου είναι 1:50. Έχει επιλεγεί να γίνει η σχεδίαση σε *mm*. Επομένως, αφού θέλουμε το σχέδιο να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό μέγεθος και όχι υπό κλίμακα θα βάλουμε ότι κάθε *x* θέλουμε να ισούται με 50 *mm*.



Εικόνα 7: Εισαγωγή σχεδίου υπό κλίμακα

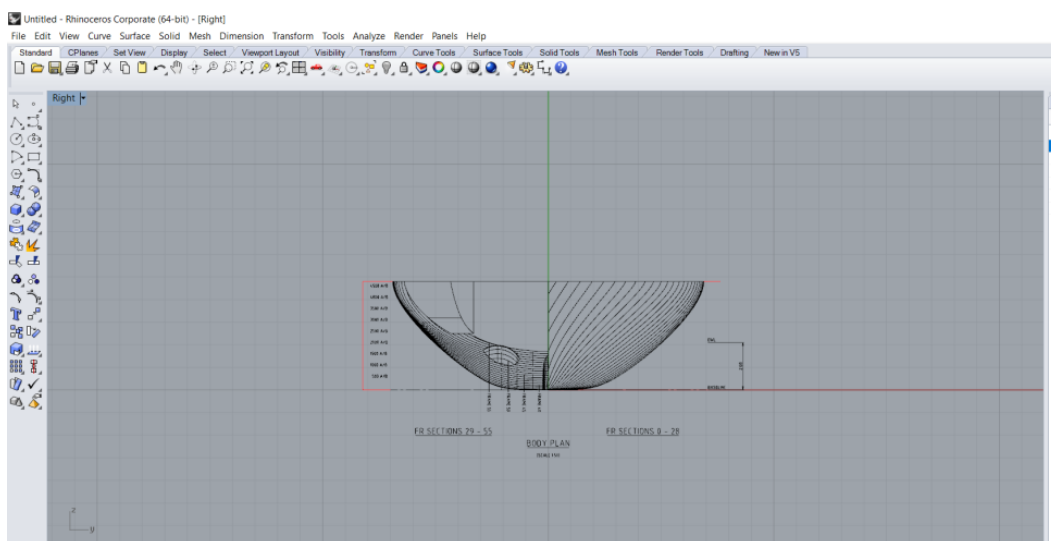
Στο παραπάνω σχέδιο, το οποίο έγινε *insert* σε μορφή *pdf*, αφού το επιλέξουμε χρησιμοποιούμε την εντολή *explode* για να μπορέσουμε να το επεξεργαστούμε.



Εικόνα 8: *Body plan*

Για να υπολογίσουμε την ευστάθεια του πλοίου, που είναι ο τελικός μας στόχος, είναι απαραίτητο να σχεδιάσουμε την γάστρα μέχρι το κύριο κατάστρωμα, δηλαδή 4800 mm από την *baseline*. Για αυτό τον λόγο, θα φέρουμε μία ευθεία γραμμή σε ύψος 4800 mm και θα τριμάρουμε τους νομείς μας. Επιπλέον, φτιάχνουμε ένα *layer* για τους νομείς και βάζουμε τον κάθε νομέα σε ένα ξεχωριστό *sublayer*.

Παρακάτω βλέπουμε μία εικόνα με τους “κομένους” νομείς στο ύψος του *main deck*.

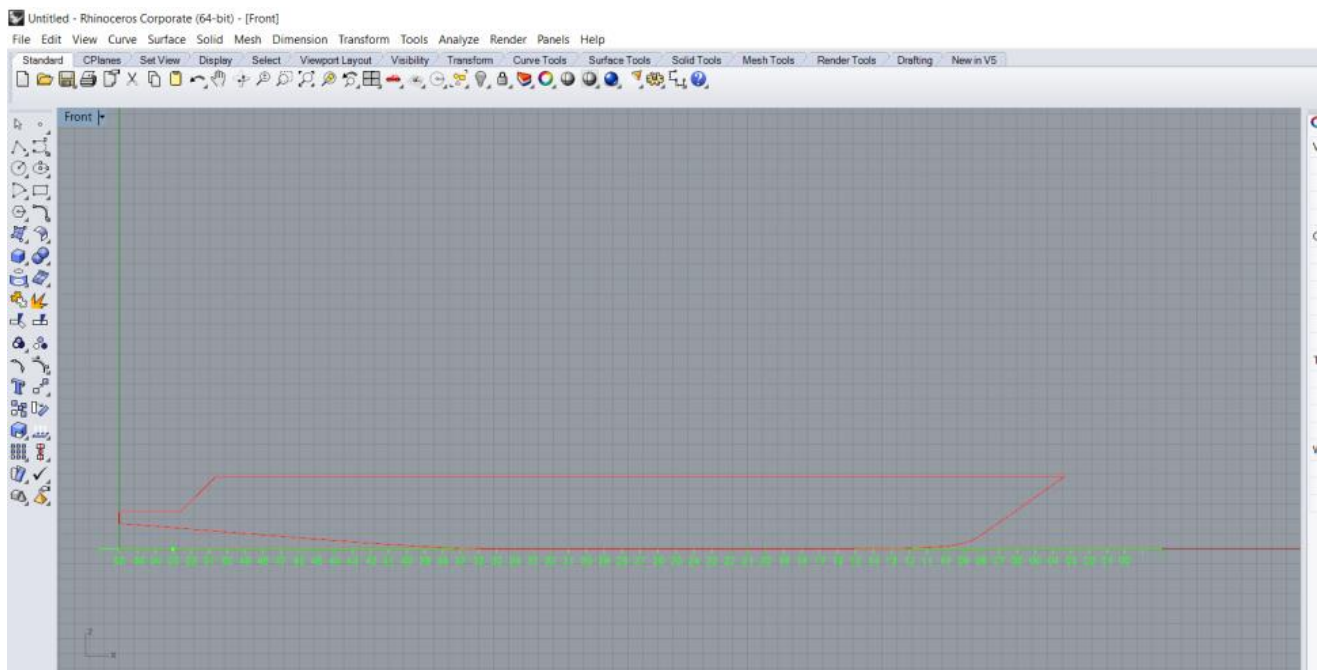


Εικόνα 9: Νομείς μέχρι το ύψος του κύριου καταστρώματος

Οι καμπύλες που έχουν εισαχθεί και έγιναν *explode*, πρέπει να ξαναγίνουν ενιαίες και να ελεγχθεί η ομαλότητα τους. Για να ενώσουμε τα κομμάτια μεταξύ τους χρησιμοποιούμε την επιλογή *join* και για να ελέγξουμε την ομαλότητα της κάθε καμπύλης ξεχωριστά με το *curvature analysis*. Αυτό πρέπει να γίνει για να διασφαλίσουμε ότι όταν περάσουμε επιφάνειες, θα είναι και αυτές με την σειρά τους ομαλές.

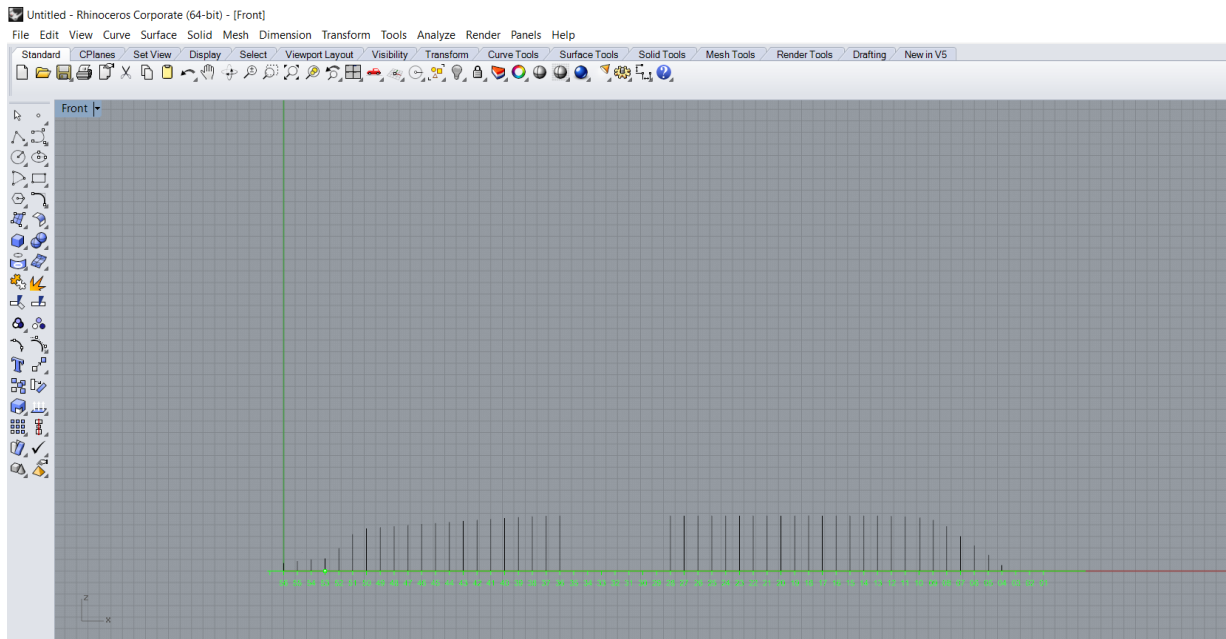
Αφού δημιουργήσουμε τα *layers* για τους νομείς, πρέπει να μετακινήσουμε τον κάθε νομέα στην διαμήκη θέση του. Στο συγκεκριμένο σχέδιο, οι νομείς μετρούνται από την πλώρη προς την πρύμνη.

Στη συνέχεια, πρέπει να δημιουργήσουμε την γραμμή του *profile*. Κάνουμε εισαγωγή το σχέδιο του *profile* σε σωστή κλίμακα και στην συνέχεια, το αποτυπώνουμε. Πρέπει η εισαγωγή του σχεδίου να γίνει σωστά έτσι ώστε οι δύο *baselines* (του σχεδίου και η δική μας) να ταυτίζονται.



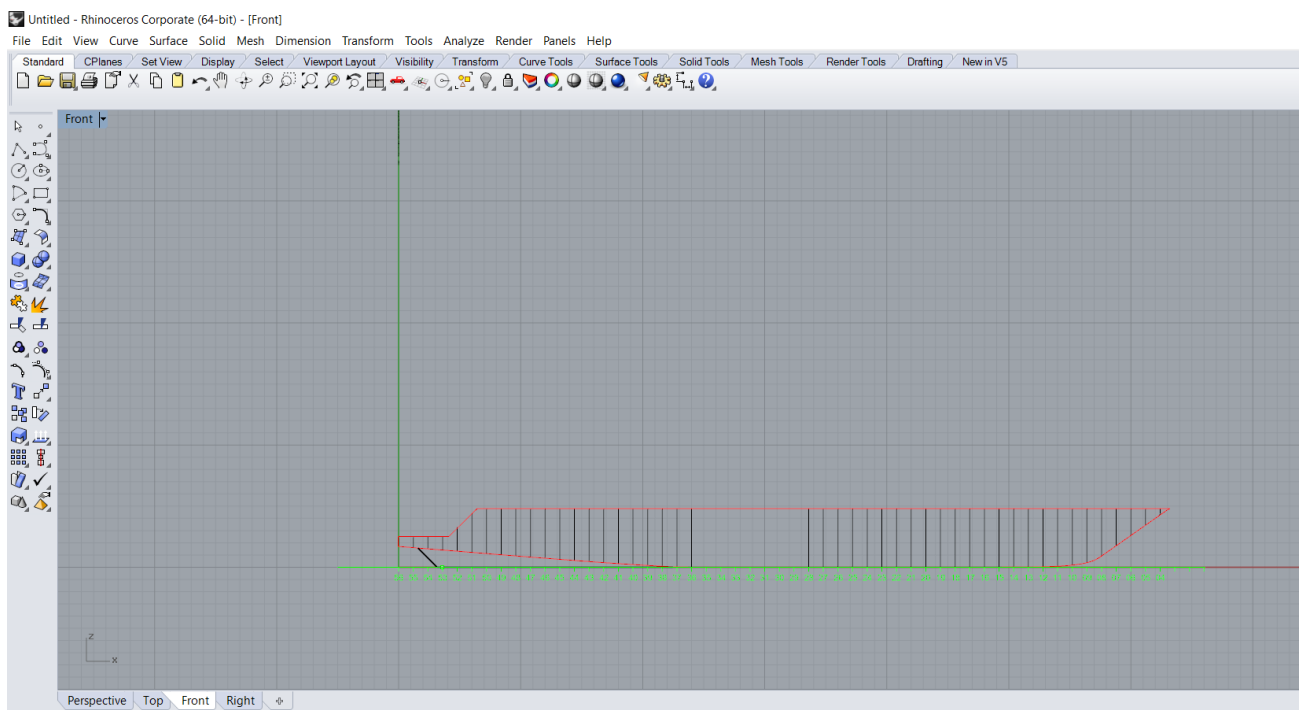
Εικόνα 10: *Profile*

Επόμενο βήμα είναι να μετακινήσουμε κάθε νομέα στη σωστή θέση κατά μήκος του άξονα x. Με την εντολή *move* μετακινώ κάθε νομέα από την *right view* στη σωστή θέση στην *baseline* του *front view*. Το αποτέλεσμα είναι το παρακάτω:



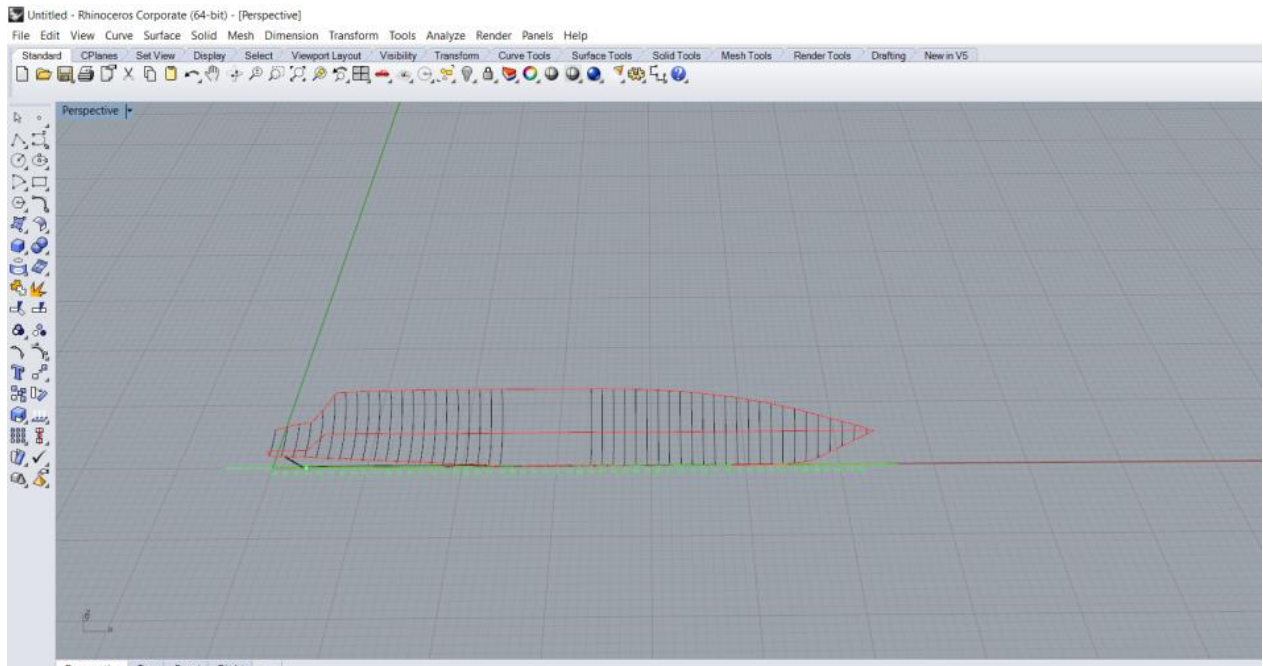
Εικόνα 11: Μετακίνηση νομέων στην διαμήκη θέση τους

Κάποιοι από τους νομείς πρέπει να μετακινηθούν και κατά τον y άξονα, καθώς η αρχή τους πρέπει να εφάπτεται στην γραμμή του *profile*. Το ύψος που θα πρέπει να μετακινηθεί ο κάθε νομέας μπορούμε να μετρήσουμε στο *body plan* από την *baseline* μέχρι την αρχή των νομέων.



Εικόνα 12: Profile και νομείς

Το κενό ανάμεσα στον νομέα 36 και 28 είναι το παράλληλο τμήμα άρα δεν χρειάζεται να συμπεριληφθούν οι ενδιάμεσοι νομείς.



Εικόνα 13: Νομείς σε τρισδιάστατη όψη

Παρατηρούμαι ότι έχει φτιαχτεί ο σκελετός του πλοίου και μπορούμε να περάσουμε επιφάνειες. Για να δημιουργήσουμε τις επιφάνειες χρησιμοποιούμε την εντολή *surface from network of curves*. Αυτή η εντολή μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε κάποιες καμπύλες. Είναι σημαντικό να επιλέγουμε τις καμπύλες στην ίδια διεύθυνση με τη σειρά και μετά στην άλλη διεύθυνση. Στο παράλληλο τμήμα η επιφάνεια μπορεί να εισαχθεί με την εντολή *loft*.

Η διαδικασία για να περαστούν οι καμπύλες είναι σταδιακή. Δεν μπορούμε να περάσουμε μία επιφάνεια σε όλη την γάστρα. Πρέπει να παρατηρούμαι σε ποια σημεία αλλάζει η μορφή της και να αναλόγως να κρίνουμε σε πόσα μέρη πρέπει να σπάσουμε τις επιφάνειες.

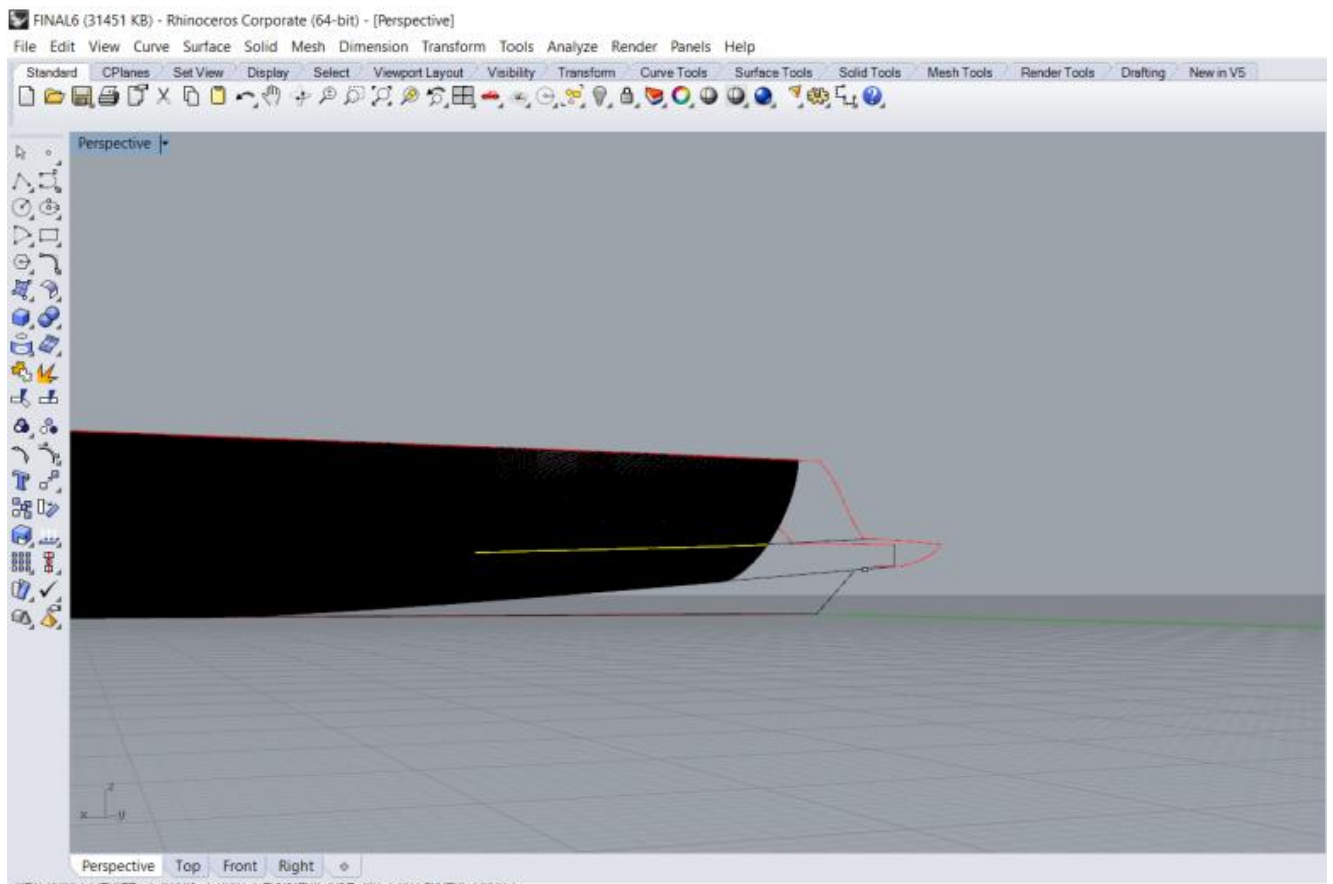
Ιδιαίτερη προσοχή μπορεί να χρειάζεται η πρύμνη του πλοίου. Συχνά, μπορεί να χρειάζονται περισσότερες από μία επιφάνειες για να βγει ομοιόμορφο το αποτέλεσμα.

Ένας ακόμα τρόπος για να βγουν ομοιόμορφες οι καμπύλες είναι να γίνει χρήση ισοπαραμετρικών καμπυλών ή αλλιώς *isocurve* (*isoparametric curve*). Μία ισοπαραμετρική

καμπύλη είναι ουσιαστικά μία καμπύλη σταθερής τιμής u ή v πάνω σε μία επιφάνεια. Από προεπιλογή, αυτές οι καμπύλες σχεδιάζονται πάνω σε θέσεις κόμβων. Ουσιαστικά, αν έχουμε μία ισοπαραμετρική σε μία επιφάνεια, μπορούμε να κρατήσουμε την κλίση της καμπύλης και χρησιμοποιώντας το τελευταίο σημείο της (στην ακμή της επιφάνειας), να “συνεχίσουμε” την καμπύλη για να χωρίσουμε έναν χώρο, στον οποίο θα περνούσε μία επιφάνεια, σε δύο.

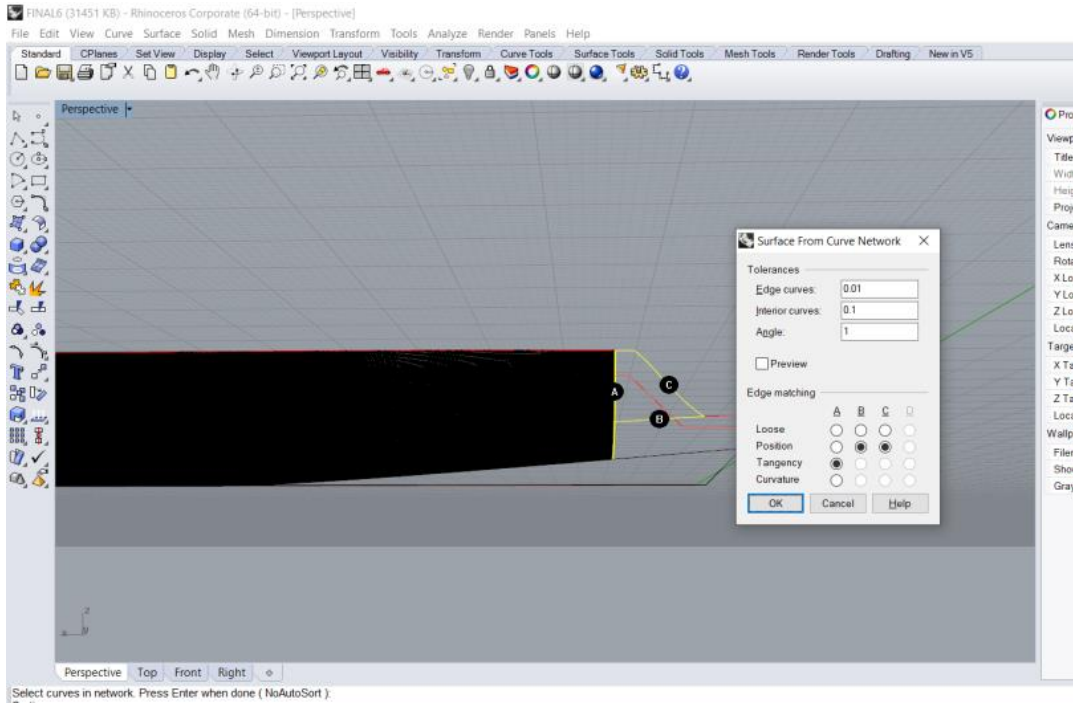
Στην παρούσα διπλωματική έγινε χρήση μιας ισοπαραμετρικής καμπύλης για να φτιαχτεί η επιφάνεια στο πίσω μέρος του πλοίου.

Έχοντας φτιάξει τις επιφάνειες από την πλώρη μέχρι το σημείο που φαίνεται στο επόμενο σχήμα, κάνω χρήση της εντολής *extract isocurve*, ώστε να βρω μία ισοπαραμετρική (κίτρινη καμπύλη στην εικόνα) της προηγούμενης επιφάνειας και να την συνεχίσω για να χωρίσω τον επόμενο χώρο σε δύο κομμάτια.

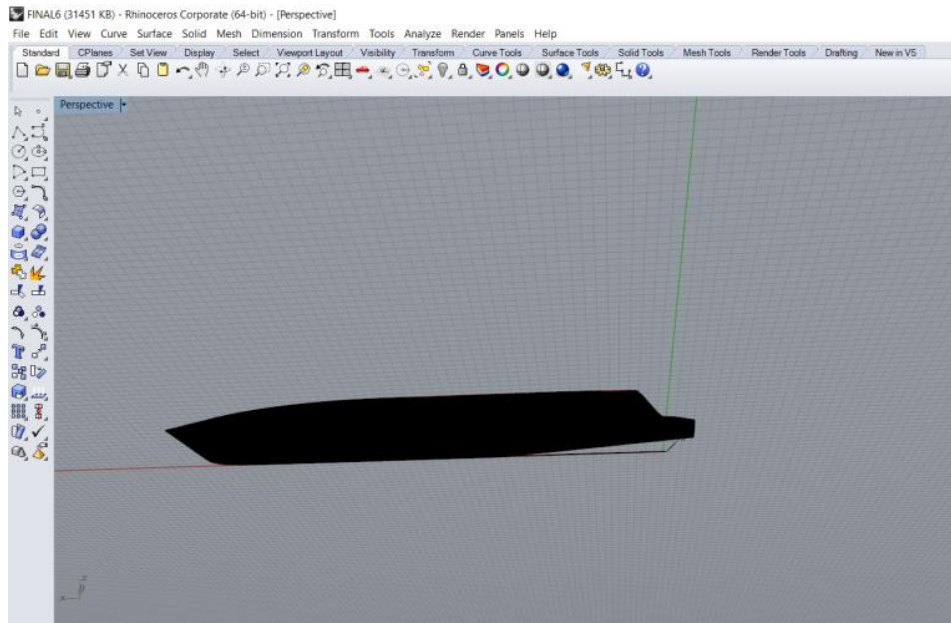


Εικόνα 14: Ισοπαραμετρική καμπύλη

Στο σημείο A, δηλαδή στην ένωση των δύο επιφανειών, επιλέγουμε το *tangency*, καθώς οι δύο επιφάνειες πρέπει να εφάπτονται.

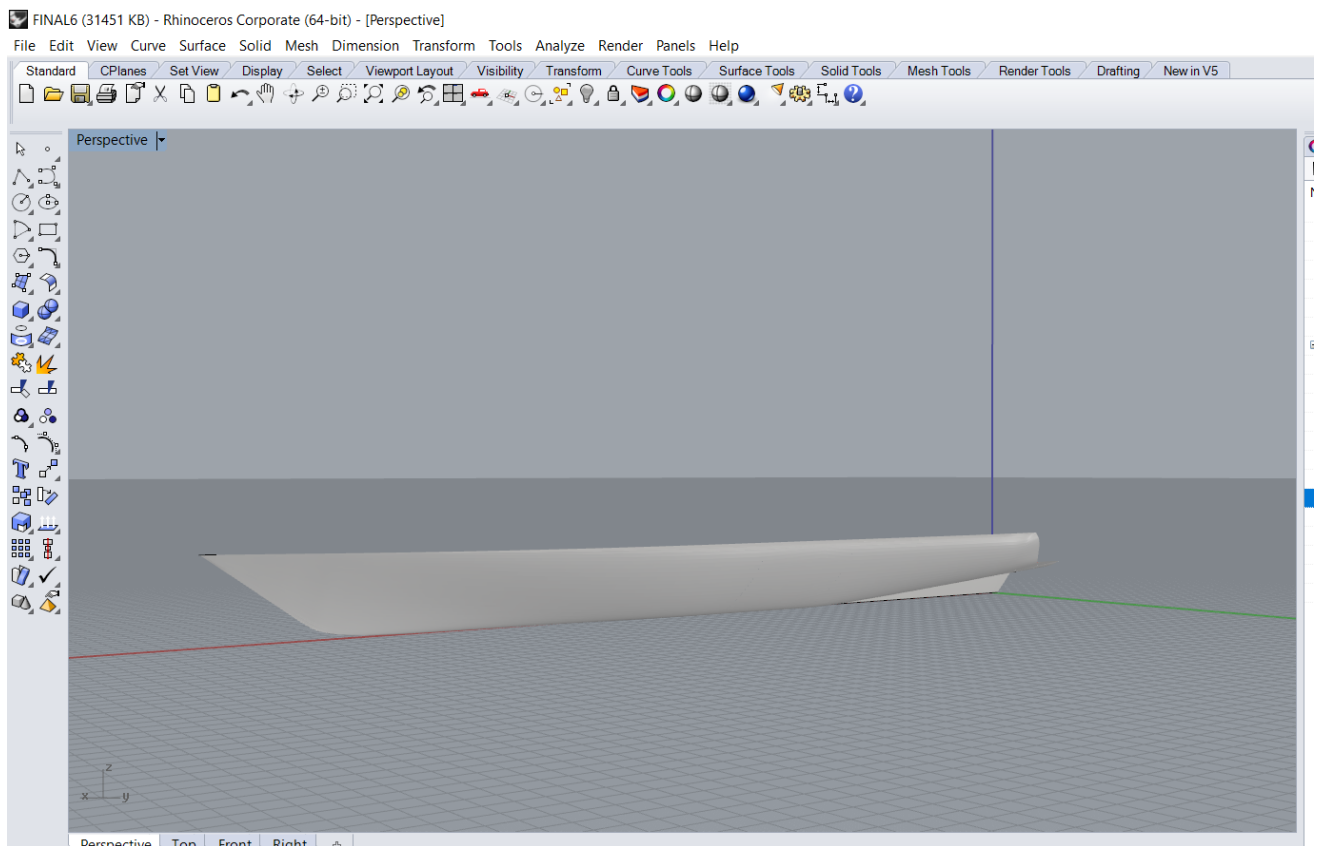


Εικόνα 15: Επιφάνεια από δίκτυο καμπυλών



Εικόνα 16: Επιφάνειες γάστρας

Με την επιλογή *render* και *shade* μπορούμε να δούμε ότι οι καμπύλες έχουν βγει ομαλές χωρίς ατέλειες.



Εικόνα 17: Γάστρα

Σε αυτό το σημείο, έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία του τρισδιάστατου σχεδιασμού και μπορούμε να προχωρήσουμε στην εισαγωγή της γάστρας σε πρόγραμμα υπολογισμού ευστάθειας.

Κεφάλαιο 4ο: Υπολογισμός άθικτης ευστάθειας πλοίου

4.1 Κανονισμός A.749(18)

4.1.1 Γενικά για τον κώδικα A.749(18)

Ο κανονισμός της *SOLAS (Safety of life at sea)* για την άθικτη ευστάθεια προβλέπεται από τον κανονισμό A.749(18), ο οποίος αποτελεί μέρος της διεθνούς σύμβασης της *SOLAS*, η οποία προβλέπει κανονισμούς ασφαλείας και πλοίων και ναυπηγικών κατασκευών.

Αυτός ο κανονισμός προσδιορίζει κάποια χαρακτηριστικά για την ευστάθεια των πλοίων, όπως το ελάχιστο μετακεντρικό ύψος και η μέγιστη γωνία κλίσης, τα οποία πρέπει να πληρούνται πάντα. Με αυτές τις υποχρεωτικές απαιτήσεις εξασφαλίζεται ότι το πλοίο ή ναυπηγική κατασκευή παραμένει ασφαλής κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Επιπλέον, αυτός ο κανονισμός προβλέπει διαδικασίες για τον έλεγχο της ευστάθειας. Αυτές οι διαδικασίες έχουν σκοπό να προσφέρουν τον σωστό σχεδιασμό και να εξασφαλίσουν ότι θα ελέγχεται συχνά η ευστάθεια σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Τέλος, ο κανονισμός της *SOLAS* για την ευστάθεια αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια της ασφάλειας στη θάλασσα και σκοπός του είναι να αποφευχθούν ατυχήματα και να χαθούν ζωές στη θάλασσα. Ο κανονισμός αυτός έχει επικαιροποιηθεί με τον κανονισμό *Intact Stability Code*, 2008.

4.1.2 Πεδίο εφαρμογής

Αυτός ο κώδικας δημιουργήθηκε από τον *IMO* το 1993. Περιέχει τα υποχρεωτικά και κάποια προτεινόμενα κριτήρια για την ευστάθεια των πλοίων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλείς λειτουργία των πλοίων, να ελαχιστοποιηθεί το ρίσκο και να προστατεύονται τα πληρώματα αλλά και το περιβάλλον.

Ο κώδικας περιέχει κριτήρια ευστάθειας για πλοία και πλωτά μέσα από 24 m και πάνω. Παρακάτω βλέπουμε την λίστα των τύπων πλοίων/μέσων στην οποία εφαρμόζονται τα κριτήρια του κώδικα:

- Εμπορικά

- Εμπορικά πλοία μεταφοράς ξυλείας
- Επιβατηγά
- Αλιευτικά
- Ειδικών χρήσεων
- Πλοία ανεφοδιασμού εγκαταστάσεων ανοιχτής θαλάσσης
- Κινητές μονάδες γεώτρησης ανοιχτής θαλάσσης
- Πλωτήρες
- Εμπορικά πλοία μεταφοράς *container* και *containerships* (εμπορευματοκιβώτια)

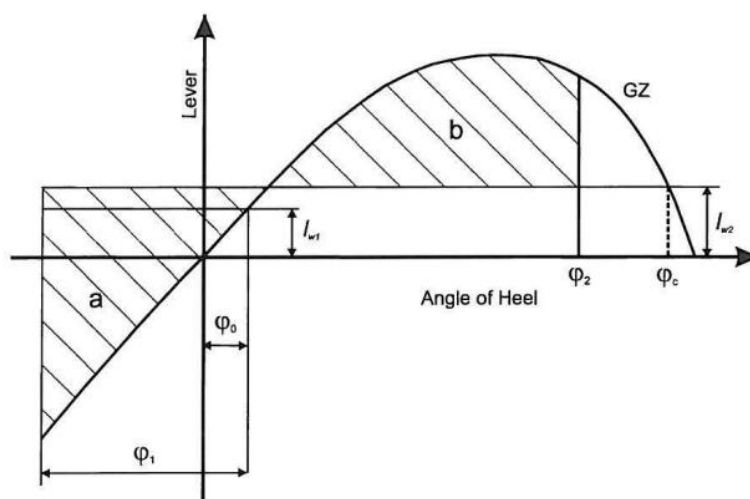
4.1.3 Κριτήρια σχετικά με τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς

1. Από το πρώτο κριτήριο του κώδικα καταλαβαίνουμε ότι η επιφάνεια κάτω από τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς, δηλαδή από την καμπύλη GZ , δεν πρέπει να είναι μικρότερη $0.55 \text{ metre-radians}$ ως την γωνία 30° και όχι μικρότερη από $0.09 \text{ metre-radians}$ ως την γωνία 40° ή ως την γωνία κατάκλισης φ_f αν αυτή η γωνία είναι μικρότερη των 40° . Η επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από τον μοχλοβραχίονα επαναφοράς ανάμεσα στις γωνίες 30° και 40° ή 30° και αν φ_f είναι μικρότερη των 40° , δεν πρέπει να είναι μικρότερη των $0.03 \text{ metre-radians}$ [10].
2. Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς GZ πρέπει να είναι το ελάχιστο 0.2 m σε γωνία κλίσης ίσης ή μεγαλύτερης από 30° [10].
3. Ο μέγιστος μοχλοβραχίονας θα πρέπει να εμφανίζεται σε γωνία κλίσης όχι μικρότερη των 25° [10].
4. Το αρχικό μετακεντρικό ύψος GM_0 δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 15 m [10].

4.1.4 Κριτήριο καιρού

Η δυνατότητα του πλοίου να αντέχει τις επιδράσεις του ανέμου αλλά και τις δυνάμεις του διατοιχισμού οφείλεται στα εξής γεγονότα:

1. Το πλοίο δέχεται σταθερή πίεση από τον άνεμο, η οποία ασκείται κάθετα στην *centerline* του πλοίου. Έτσι, αυτήν την δύναμη μπορούμε να την εκλάβουμε ως έναν σταθερό μοχλοβραχίονα ανέμου (L_{wl}) [10].
2. Από την γωνία ισορροπίας (φ_0), θεωρούμε ότι το πλοίο μπορεί να διατοιχιστεί από κυματισμούς προς μία γωνία διατοιχισμού (φ_1) λόγω ανέμων [10].
3. Το πλοίο τότε δέχεται μία πίεση ριπής ανέμου η οποία έχει σαν αποτέλεσμα έναν μοχλοβραχίονα ριπής ανέμου (L_{w2}) [10].
4. Υπό τις παραπάνω συνθήκες, θα πρέπει η περιοχή b στο παρακάτω σχήμα να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την περιοχή a :



Εικόνα 18: Severe wind and rolling [10]

Οι γωνίες στο παραπάνω σχήμα ορίζονται ως:

- φ_0 : η γωνία κλίσης υπό σταθερό άνεμο [10].
- φ_1 : η γωνία διατοιχισμού προς τον άνεμο λόγω κυμάτων [10].
- φ_2 : η γωνία κατάκλισης (φ_f) ή 50° ή φ_c , όποια από τις 3 είναι μικρότερη [10].

Όπου:

φ_f : η γωνία στα ανοίγματα της γάστρας ή στις υπερκατασκευές, τα οποία δεν μπορούν να είναι υδατοστεγή.

φ_c : η γωνία δεύτερης τομής μεταξύ μοχλοβραχίονα L_{w2} και GZ καμπύλης

Οι μοχλοβραχίονες επαναφοράς L_{w1} και L_{w2} είναι σταθερές τιμές για όλες τις γωνίες κλίσης και υπολογίζονται με τους παρακάτω τύπους:

$$L_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{100 \cdot g \cdot \Delta} \quad (3.1) \quad [10]$$

$$L_{w2} = 1.5 \cdot L_{w1} \quad (3.2) \quad [10]$$

Όπου:

$P = 504 \text{ Pa}$, η πίεση του ανέμου

A = η προβολή επιφάνειας του πλοίου στο επίπεδο της ισάλου (m^2).

Z = η κάθετη απόσταση από το κέντρο της προβολής επιφάνειας του πλοίου στο επίπεδο της ισάλου (A) στο κέντρο της επιφάνειας κάτω από την ίσαλο πλευσης (m).

Δ = εκτόπισμα (t)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας $9.81 \frac{m}{s^2}$

Η γωνία διατοιχισμού φ_1 , την οποία αναφέραμε παραπάνω, μπορεί να υπολογιστεί με τον παρακάτω τύπο:

$$\varphi_1 = 109 \cdot x \cdot k_1 \cdot x_2 \cdot \sqrt{r} \cdot s \text{ (degrees) [10]}$$

Όπου:

x_1 = συντελεστής δίνεται από τον πίνακα

x_2 = συντελεστής δίνεται από τον πίνακα

k = συντελεστής που δίνεται ως εξής:

- $k = 1.0$ για πλοίο με καμπυλωτή, σε εγκάρσιες τομές, γάστρα, δίχως εμφανή τρόπιδα ή παρατροπίδια.
- $k = 0.7$ για πλοίο με ακμές.
- k = λαμβάνεται απ' τον σχετικό πίνακα που δίδεται στον πίνακα 3.

$$r = 0.73 + 0.6 \cdot \frac{OG}{d}$$

Όπου:

$$OG = KG - d$$

d = μέσο βύθισμα πλοίου (m)

s = ο συντελεστής που δίνεται από τον πίνακα 4, όπου T είναι η περίοδος διατοιχισμού του πλοίου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω:

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}} \text{ (s) [10]}$$

$$\text{Όπου } C = 0.373 + 0.023 \left(\frac{B}{d}\right) - 0.043 \cdot \left(\frac{L_{wl}}{100}\right)$$

Τα σύμβολα από τις παραπάνω εξισώσεις σημαίνουν:

L_{wl} = μήκος ισάλου

B = πλάτος του πλοίου

D = μέσο βύθισμα

C_b = συντελεστής γάστρας

A_M = ολική επιφάνεια παρατροπιδίων

GM = μετακεντρικό ύψος

ΠΙΝΑΚΕΣ

B/d	x_1
≤ 2.4	1.0
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

Πίνακας 1 - Τιμές για το x_1 [10]

Cb	X_2
≤ 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
0.70	1.00

Πίνακας 2 - Τιμές για το x_2 [10]

$\frac{A_k \cdot 100}{L_{wl} \cdot B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

Πίνακας 3 - Τιμές για το k [10]

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

Πίνακας 4 - Τιμές για το s [10]

4.1.5 Ειδικά κριτήρια για επιβατηγά πλοία

Για τα επιβατηγά πλοία πρέπει να ισχύουν όλα τα παραπάνω κριτήρια συν αυτά που θα παραθέσουμε παρακάτω.

Τα επιπλέον κριτήρια είναι τα παρακάτω:

1. Η γωνία κλίσης λόγω συνωστισμού των επιβατών προς την μία πλευρά του πλοίου δεν πρέπει να είναι πάνω από 10° .
2. Πρέπει να υπολογιστεί ότι κάθε επιβάτης ζυγίζει το λιγότερο 75 kg . Ανάλογα με την σημαία του πλοίου το νούμερο μπορεί να είναι και μεγαλύτερο.
3. Το ύψος του κέντρου βάρους των επιβατών πρέπει να ληφθεί 1 m πάνω από το επίπεδο των όρθιων επιβατών και 0.3 m πάνω από τους καθιστούς επιβάτες
4. Οι επιβάτες χωρίς βαλίτσα πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι διανεμημένοι έτσι ώστε να παράγουν την χειρότερη ροπή κλίσης σε σχέση με αυτή που παράγεται στην πραγματικότητα.
5. Με την χρήση του παρακάτω τύπου, η γωνία κλίσης λόγω στροφής δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 10° .

$$M_R = 0.200 \cdot \frac{V_0^2}{L_{wl}} \cdot \Delta \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

Όπου:

M_R : Ροπή κλίσης σε ($m\text{-tonnes}$)

V_0 : η ταχύτητα (m/s)

L_{wl} : το μήκος του πλοίου στην γραμμή της ισάλου (m)

Δ : εκτόπισμα (t)

d : μέσο βύθισμα (m)

KG : ύψος κέντρου βάρους πάνω από την *baseline* (m)

4.2 Γενικά για το Maxsurf

Η ευστάθεια ενός πλοίου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον σχεδιασμό και την απόδοση του. Σήμερα, με την ραγδαία ανάπτυξη των σχεδιαστικών εργαλείων (CAD/CAE), έχει γίνει εφικτή η ακριβής μοντελοποίηση των πλοίων και άλλων ναυπηγικών κατασκευών, όπως και η προσομοίωση στους κανονισμούς ευστάθειας αλλά και άλλων κανονισμών. Το *MaxSurf* [11] είναι ένα τέτοιο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιεί διάφορους αλγορίθμους και τεχνικές για να επιτευχθεί η μοντελοποίηση και η ανάλυση της ευστάθειας του πλοίου.

Στην παρούσα διπλωματική, θα χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω πρόγραμμα για να εισάγουμε την γάστρα που κατασκευάστηκε και θα δούμε τα εργαλεία που διαθέτει για τον υπολογισμό της ευστάθειας του πλοίου.

4.2.1 Εισαγωγή μοντέλου στο *Maxsurf*

Χαρακτηριστικά πλοίου:

Vessel type: Mono Hull Cruise Yacht

Service notation: Επιβατηγό

Class Notation: Class I✠ Hull ✠ Machinery

Length overall: 69.10 m

Length at waterline: 59.75 m

Beam moulded: 13.80 m

Hull Depth Moulded: 4.80 m

Draft: 2.1 m

Displacement: 731 tonnes

Σημεία αναφοράς:

Κατακόρυφες διαστάσεις: *Baseline*

Διαμήκειες διαστάσεις: *Transom (FR56)*

Ισαποστάσεις νομέων: *1200mm*

Συμβάσεις:

Για εγκάρσιες μετρήσεις:

Θετικές (+): Δεξιά πλευρά (*Starboard side*)

Αρνητικές(-): Αριστερή πλευρά (*Port side*)

Για κατακόρυφες μετρήσεις:

Θετικές (+): Πάνω από την *baseline*

Αρνητικές(-): Κάτω από την *baseline*

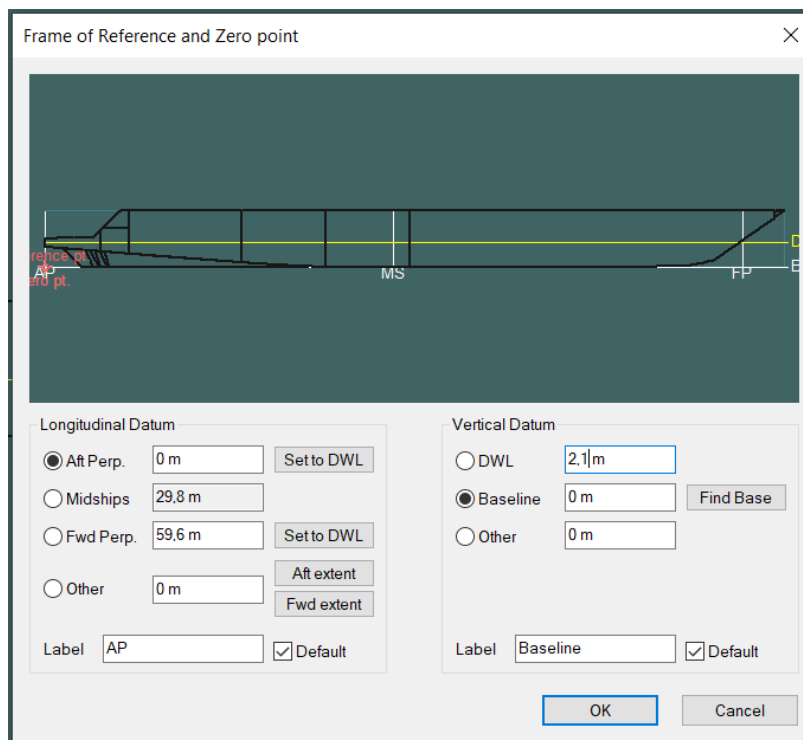
Θετικές (+): Μπροστά από το *transom (FR 56)*

Αρνητικές(-): Πίσω από το *transom (FR 56)*

MODELLER

Για να υπολογίσουμε την άθικτη ευστάθεια του πλοίου, πρέπει αρχικά να εισάγουμε το τρισδιάστατο μοντέλο που αναπτύξαμε σε μορφή .3dm στο *Modeller* του *Maxsurf*. Πρέπει να τονίσουμε ότι το μοντέλο που έχουμε αναπτύξει στο *Rhino* πρέπει οπωσδήποτε να είναι *exploded*, δηλαδή οι επιφάνειες του να μην είναι ενωμένες. Επιπλέον, πριν εισάγουμε το μοντέλο στο *Maxsurf*, να έχουμε τοποθετήσει το *frame of reference* στο (0,0,0) του *Rhino* και στη συνέχεια να προχωρήσουμε με την εισαγωγή της γάστρας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα.

Εισάγοντας το αρχείο στο *Maxsurf* ορίζουμε *sections*, δηλαδή σε πόσες τομές να «κοπεί» το αρχείο μας για να έχουμε μεγάλη ακρίβεια υπολογισμών. Στη συνέχεια ορίζουμε το *frame of reference* ή αλλιώς το σημείο αναφοράς. Για να γίνει αυτό, πάμε στο μενού, *Data, Frame of reference* και έτσι ορίζουμε την αρχή των αξόνων. Με την βοήθεια των σχεδίων, ορίζουμε ως 0 των νομέα 56 (*aft perpendicular*). Για *fwd perpendicular* ορίζουμε το σημείο σε μήκος 59,6 m από το 0. Αυτές οι τιμές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα από το *Modeller* του *Maxsurf*.



Εικόνα 19: Εισαγωγή γάστρας στο *Modeller*

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, για τις διαμήκεις μετρήσεις έχουμε ως σημείο αναφοράς έχουμε πάρει το *transom*, δηλαδή τον νομές 56 για αυτό *Aft Perp.* = 0 m.

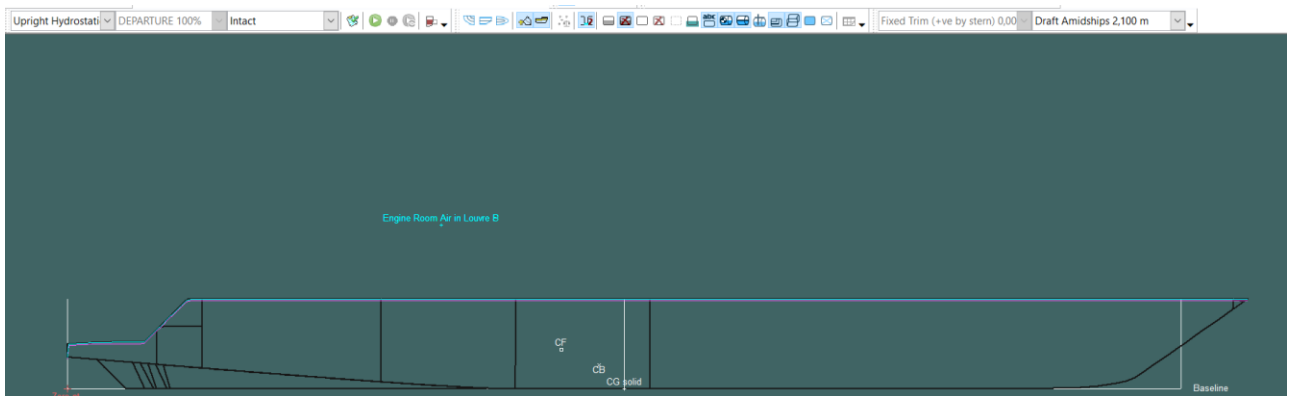
Σχεδιάζουμε μόνο το μέρος της γάστρας μέχρι το κύριο κατάστρωμα. Για αυτό και το μήκος του τρισδιάστατου σχεδίου δεν είναι το ολικό αλλά το μήκος που έχει το σκάφος στο κύριο κατάστρωμα.

Το βύθισμα σχεδίασης είναι 2,1 m. Την τιμή αυτή την βρίσκουμε στο σχέδιο γενικής διάταξης του σκάφους.

Τέλος, για τις κατακόρυφες αποστάσεις χρησιμοποιώ ως γραμμή αναφοράς την *baseline*.

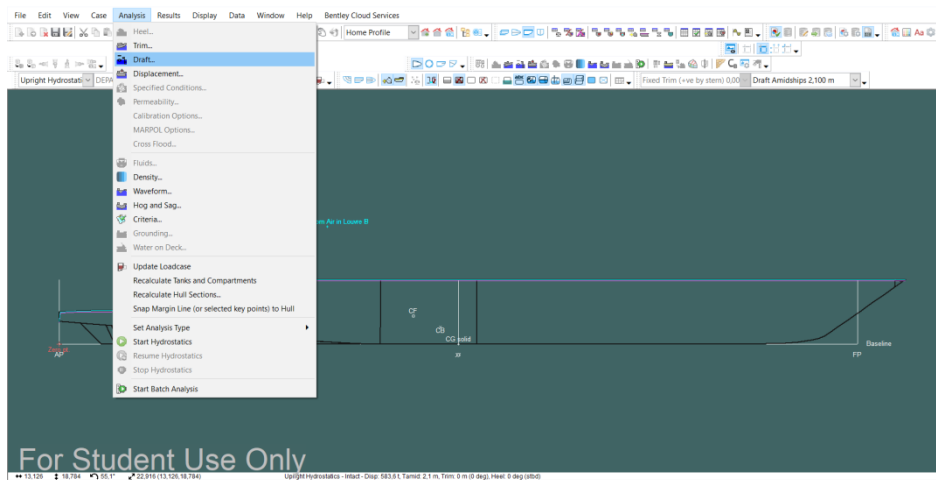
STABILITY

Εισάγουμε το αρχείο στο *MaxSurf Stability*. Αρχικά, θέλουμε να υπολογίσουμε τα υδροστατικά του σκάφους. Για να γίνει αυτό επιλέγουμε, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, *Upright hydrostatics* και *Intact*



Εικόνα 20: Εισαγωγή γάστρας στο *Stability*

Στη συνέχεια, από το μενού *Analysis*, *Draft* και συμπληρώνουμε τον πίνακα με τα στοιχεία:



Εικόνα 21: Υπολογισμός υδροστατικών

Draft Range
×

Initial draft amidships

Final draft amidships

Draft increment

Number of drafts

LCG from zero point

VCG from zero point

Εικόνα 22: Τιμές για τον υπολογισμό των υδροστατικών

Τα υδροστατικά που παίρνουμε για τις παραπάνω τιμές είναι οι εξής:

<i>Draft amidships (m)</i>	2.100
<i>Displacement (t)</i>	583.6
<i>WL Length (m)</i>	59.289
<i>LCB from transom (m)</i>	28.465
<i>LCF from transom (m)</i>	26.424
<i>KB (m)</i>	1.302
<i>KMt (m)</i>	6.707
<i>TPc (tonne/cm)</i>	4.747
<i>MTc (tonne m)</i>	16.649

Σύμφωνα με τον κανονισμό του IACS UR 15, τα υδροστατικά του σκάφους πρέπει να ελεγχθούν συγκριτικά με προηγούμενους υπολογισμούς που έχουν γίνει και τα επιτρεπόμενα όρια απόκλισης είναι τα παρακάτω:

Trim and stability	
Draughts (forward, aft, mean)	+/- 1% / 5 cm
GMt (both solid and corrected for free surfaces)	+/- 1% / 5 cm
GZ values	+/- 1% / 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

Τα υδροστατικά ελέγχθηκαν κατάλληλα και είναι μέσα στα αποδεκτά όρια.

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Οι δημιουργία των δεξαμενών αποτελεί ένα σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της ευστάθειας διότι η ελεύθερη επιφάνεια των υγρών που περιέχονται έχει σημαντική επίδραση σε αυτήν. Επιπλέον, το κέντρο βάρους μεταβάλλεται από τον τρόπο που οι δεξαμενές είναι γεμισμένες. Φτιάχνουμε τις δεξαμενές με βάση τις συμβάσεις που κάναμε στην αρχή για τις μετρήσεις. Για να φτιάξουμε τις δεξαμενές πατάμε στο μενού το *Room Definition Window*. Λεπτομέρειες για τις δεξαμενές βρίσκουμε στο *capacity plan*. Εισάγουμε όνομα

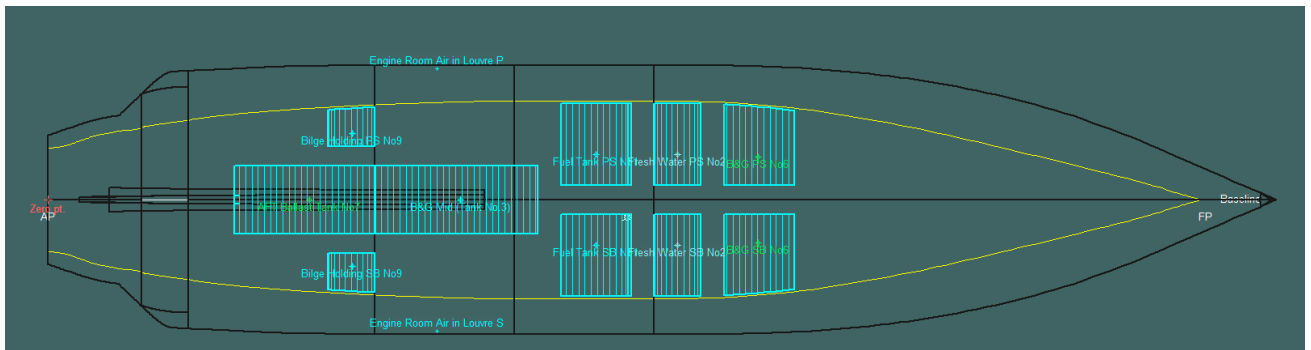
Φτιάχνοντας τις δεξαμενές είναι σημαντικό να προσέξουμε την ειδική πυκνότητα του κάθε υγρού που περιέχεται σε αυτές καθώς και την χωρητικότητα των δεξαμενών (*permeability*). Για παράδειγμα, στην δεξαμενή έρματος πρέπει να βάλουμε την πυκνότητα του θαλασσινού νερού ενώ στην δεξαμενή καυσίμου την πυκνότητα αυτού. Την χωρητικότητα της κάθε δεξαμενής την βρίσκουμε από τους κανονισμούς του *IACS UR L5* [12], δηλαδή από τον παρακάτω πίνακα:

Χώροι	Διαχωρητικότητα			
	Προεπιλογή	Γεμάτο	Μερικώς γεμάτο	Άδειο
Χώροι φορτίου	0.95	0.70	0.80	0.95
Χώροι υγρών φορτίων	0.95	0.70	0.80	0.95
Χώροι για αναλώσιμα υγρά	0.95	0.95	0.95	0.95
Αποθήκες	0.95	0.60	0.60	0.95
Χώροι μηχανημάτων	0.85			
Κενοί χώροι	0.95			
Χώροι ενδιαίτησης	0.95			

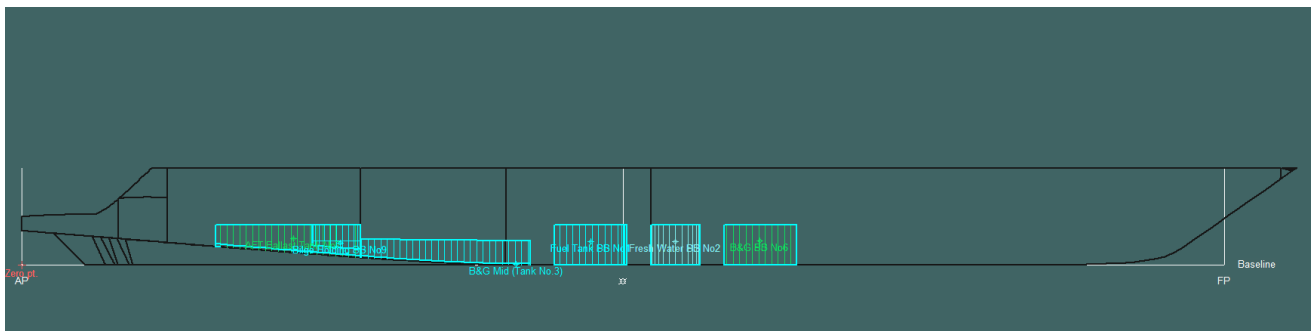
Διαχωρητικότητα (*IACS URL5*) [12]

Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα με τις δεξαμενές που φτιάχτηκαν στο *MaxSurf*:

Όνομα δεξαμενής	Περιεχόμενο	Πυκνότητα (kg/m^3)
<i>Fuel Tank (Port & Stbd)</i>	<i>Diesel</i>	830
<i>Fresh Water Tank (Port & Stbd)</i>	<i>Fresh Water</i>	1000
<i>B&G Mid Tank</i>	<i>Sea Water</i>	1025
<i>Aft Ballast Tank</i>	<i>Sea Water</i>	1025
<i>B&G (Port & Stbd)</i>	<i>Sea Water</i>	1025
<i>Bilge Holding (Port & Stbd)</i>	<i>Sea Water</i>	1025



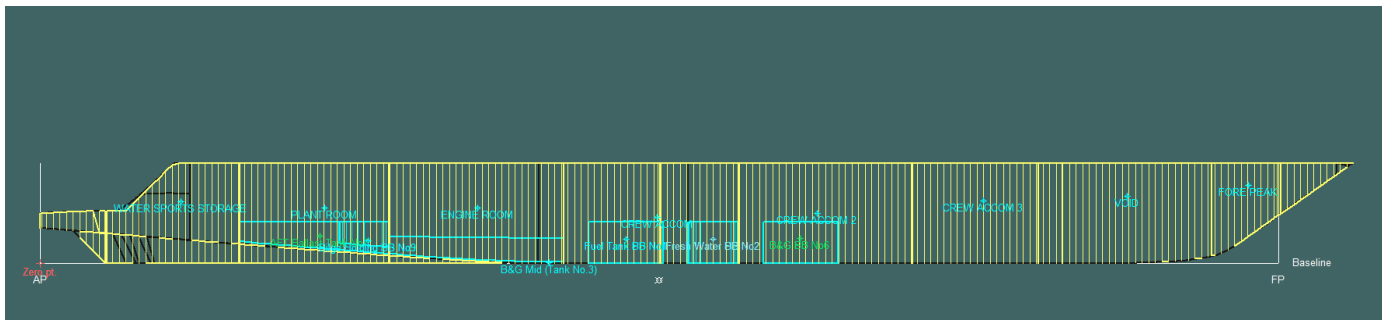
Εικόνα 23: Δεξαμενές πλοίου



Εικόνα 24: Πλάγια όψη δεξαμενών

Η διαδικασία για να φτιαχτούν τα υδατοστεγή διαμερίσματα είναι η ίδια με τις δεξαμενές. Τα διαμερίσματα στο σκάφος μας είναι οκτώ και παρακάτω μπορούμε να τα δούμε:

- *Watersports Storage*
- *Plant Room*
- *Engine Room*
- *Crew Accommodation*
- *Crew Accommodation 2*
- *Crew Accommodation 3*
- *Void*
- *Fore peak*



Εικόνα 25: Διαμερίσματα και δεξαμενές

Στο *Room Definition Window*, στην καρτέλα *Key Points*, πρέπει να προστεθούν τα σημεία πιθανής κατάκλισης ή αλλιώς *downflooding points*. Πρόκειται για κάποια σημεία τα οποία δεν μπορούν να κλειστούν υδατοστεγώς. Αυτά τα σημεία είναι πάνω από την γραμμή ισάλου προκειμένου να αποφευχθεί η κατάκλιση του πλοίου.

Στο σκάφος μας έχουμε δύο *downflooding points*:

Περιγραφή	Απόσταση από το <i>Transom</i>	Απόσταση από την <i>Centerline</i>	Απόσταση από την <i>Baseline</i>	Διαμέρισμα
<i>Engine Air Louvre (Port and Starboard)</i>	20 m	6.72 m	8.75 m	Μηχανοστάσιο

Αφού φτιάξουμε τις δεξαμενές και τα υδατοστεγή διαμερίσματα, πρέπει να βεβαιωθούμε ότι η χωρητικότητα τους είναι αυτή που υποδεικνύει το *capacity plan*. Έτσι από του υπολογισμούς συγκρίνουμε την χωρητικότητα στο 100% με αυτή του σχεδίου. Σε περίπτωση που η τιμή παρεκκλίνει, πρέπει να υπολογίσουμε αν η απόκλιση είναι +/-2%, καθώς από τον *UR L5* η επιτρεπτή απόκλιση είναι μέχρι 2% [12].

Τα αποτελέσματα από το *tank calibration* είναι τα παρακάτω:

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Fuel Tank PS No1	1,994	0,000	100,000	20,221	17,228	28,198	-2,320	1,183	0,000
	1,967	0,027	98,000	19,816	16,884	28,198	-2,309	1,167	18,479
	1,966	0,029	97,900	19,796	16,866	28,198	-2,309	1,166	18,458
	1,900	0,094	93,114	18,828	16,042	28,198	-2,283	1,126	17,500
	1,800	0,194	86,018	17,393	14,819	28,198	-2,243	1,066	16,075
	1,700	0,294	79,125	16,000	13,632	28,198	-2,202	1,006	14,699
	1,600	0,394	72,439	14,648	12,480	28,198	-2,161	0,946	13,399
	1,500	0,494	65,963	13,338	11,364	28,198	-2,119	0,886	12,128
	1,400	0,594	59,703	12,072	10,286	28,198	-2,076	0,826	10,934
	1,300	0,694	53,662	10,851	9,245	28,197	-2,031	0,766	9,790
	1,200	0,794	47,846	9,675	8,243	28,197	-1,986	0,707	8,708
	1,100	0,894	42,260	8,545	7,281	28,197	-1,940	0,648	7,673
	1,000	0,994	36,913	7,464	6,359	28,197	-1,892	0,588	6,704
	0,900	1,094	31,811	6,433	5,481	28,197	-1,842	0,530	5,789
	0,800	1,194	26,962	5,452	4,645	28,197	-1,791	0,471	4,940
	0,700	1,294	22,374	4,524	3,855	28,196	-1,737	0,412	4,149
	0,600	1,394	18,059	3,652	3,111	28,196	-1,679	0,354	3,414
	0,500	1,494	14,032	2,837	2,417	28,196	-1,617	0,296	2,738
	0,400	1,594	10,312	2,085	1,777	28,195	-1,549	0,238	2,114
	0,300	1,694	6,932	1,402	1,194	28,195	-1,469	0,181	1,530
	0,200	1,794	3,946	0,798	0,680	28,194	-1,370	0,123	0,986
	0,100	1,894	1,471	0,297	0,253	28,193	-1,223	0,066	0,459
	0,077	1,918	1,000	0,202	0,172	28,192	-1,174	0,052	0,337
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	26,852	-0,750	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Fuel Tank SB No1	1,994	0,000	100,000	20,221	17,228	28,198	2,320	1,183	0,000
	1,967	0,027	98,000	19,816	16,884	28,198	2,309	1,167	18,479
	1,966	0,029	97,900	19,796	16,866	28,198	2,309	1,166	18,458
	1,900	0,094	93,114	18,828	16,042	28,198	2,283	1,126	17,500
	1,800	0,194	86,018	17,393	14,819	28,198	2,243	1,066	16,075
	1,700	0,294	79,125	16,000	13,632	28,198	2,202	1,006	14,699
	1,600	0,394	72,439	14,648	12,480	28,198	2,161	0,946	13,399
	1,500	0,494	65,963	13,338	11,364	28,198	2,119	0,886	12,128
	1,400	0,594	59,703	12,072	10,286	28,198	2,076	0,826	10,934
	1,300	0,694	53,662	10,851	9,245	28,197	2,031	0,766	9,790
	1,200	0,794	47,846	9,675	8,243	28,197	1,986	0,707	8,708
	1,100	0,894	42,260	8,545	7,281	28,197	1,940	0,648	7,673
	1,000	0,994	36,913	7,464	6,359	28,197	1,892	0,588	6,704
	0,900	1,094	31,811	6,433	5,481	28,197	1,842	0,530	5,789
	0,800	1,194	26,962	5,452	4,645	28,197	1,791	0,471	4,940
	0,700	1,294	22,374	4,524	3,855	28,196	1,737	0,412	4,149
	0,600	1,394	18,059	3,652	3,111	28,196	1,679	0,354	3,414
	0,500	1,494	14,032	2,837	2,417	28,196	1,617	0,296	2,738
	0,400	1,594	10,312	2,085	1,777	28,195	1,549	0,238	2,114
	0,300	1,694	6,932	1,402	1,194	28,195	1,469	0,181	1,530
	0,200	1,794	3,946	0,798	0,680	28,194	1,370	0,123	0,986
	0,100	1,894	1,471	0,297	0,253	28,193	1,223	0,066	0,459
	0,077	1,918	1,000	0,202	0,172	28,192	1,174	0,052	0,337
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	26,852	0,750	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Fresh Water PS No2	1,994	0,000	100,000	13,367	13,367	32,400	-2,320	1,183	0,000
	1,967	0,027	98,000	13,100	13,100	32,400	-2,309	1,167	14,462
	1,966	0,029	97,900	13,087	13,087	32,400	-2,309	1,166	14,446
	1,900	0,094	93,115	12,447	12,447	32,400	-2,283	1,126	13,695
	1,800	0,194	86,017	11,498	11,498	32,400	-2,243	1,066	12,578
	1,700	0,294	79,122	10,577	10,577	32,400	-2,202	1,006	11,500
	1,600	0,394	72,434	9,683	9,683	32,400	-2,161	0,946	10,482
	1,500	0,494	65,957	8,817	8,817	32,400	-2,118	0,886	9,485
	1,400	0,594	59,696	7,980	7,980	32,400	-2,075	0,826	8,551
	1,300	0,694	53,654	7,172	7,172	32,400	-2,031	0,767	7,657
	1,200	0,794	47,837	6,395	6,395	32,400	-1,986	0,707	6,812
	1,100	0,894	42,249	5,648	5,648	32,400	-1,939	0,648	6,006
	1,000	0,994	36,900	4,933	4,933	32,400	-1,891	0,589	5,250
	0,900	1,094	31,796	4,250	4,250	32,400	-1,842	0,530	4,529
	0,800	1,194	26,947	3,602	3,602	32,400	-1,790	0,471	3,858
	0,700	1,294	22,361	2,989	2,989	32,400	-1,736	0,412	3,239
	0,600	1,394	18,049	2,413	2,413	32,400	-1,679	0,354	2,664
	0,500	1,494	14,024	1,875	1,875	32,400	-1,617	0,296	2,138
	0,400	1,594	10,305	1,378	1,378	32,400	-1,548	0,238	1,653
	0,300	1,694	6,926	0,926	0,926	32,400	-1,468	0,181	1,194
	0,200	1,794	3,944	0,527	0,527	32,400	-1,370	0,123	0,768
	0,100	1,894	1,472	0,197	0,197	32,400	-1,224	0,066	0,358
	0,077	1,918	1,000	0,134	0,134	32,400	-1,175	0,052	0,264
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	32,362	-0,745	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Fresh Water SB No2	1,994	0,000	100,000	13,367	13,367	32,400	2,320	1,183	0,000
	1,967	0,027	98,000	13,100	13,100	32,400	2,309	1,167	14,462
	1,966	0,029	97,900	13,087	13,087	32,400	2,309	1,166	14,446
	1,900	0,094	93,115	12,447	12,447	32,400	2,283	1,126	13,695
	1,800	0,194	86,017	11,498	11,498	32,400	2,243	1,066	12,578
	1,700	0,294	79,122	10,577	10,577	32,400	2,202	1,006	11,500
	1,600	0,394	72,434	9,683	9,683	32,400	2,161	0,946	10,482
	1,500	0,494	65,957	8,817	8,817	32,400	2,118	0,886	9,485
	1,400	0,594	59,696	7,980	7,980	32,400	2,075	0,826	8,551
	1,300	0,694	53,654	7,172	7,172	32,400	2,031	0,767	7,657
	1,200	0,794	47,837	6,395	6,395	32,400	1,986	0,707	6,812
	1,100	0,894	42,249	5,648	5,648	32,400	1,939	0,648	6,006
	1,000	0,994	36,900	4,933	4,933	32,400	1,891	0,589	5,250
	0,900	1,094	31,796	4,250	4,250	32,400	1,842	0,530	4,529
	0,800	1,194	26,947	3,602	3,602	32,400	1,790	0,471	3,858
	0,700	1,294	22,361	2,989	2,989	32,400	1,736	0,412	3,239
	0,600	1,394	18,049	2,413	2,413	32,400	1,679	0,354	2,664
	0,500	1,494	14,024	1,875	1,875	32,400	1,617	0,296	2,138
	0,400	1,594	10,305	1,378	1,378	32,400	1,548	0,238	1,653
	0,300	1,694	6,926	0,926	0,926	32,400	1,468	0,181	1,194
	0,200	1,794	3,944	0,527	0,527	32,400	1,370	0,123	0,768
	0,100	1,894	1,472	0,197	0,197	32,400	1,224	0,066	0,358
	0,077	1,918	1,000	0,134	0,134	32,400	1,175	0,052	0,264
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	32,362	0,745	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
B&G Mid (Tank No.3)	1,280	0,000	100,000	30,580	31,345	21,201	0,000	0,710	0,000
	1,250	0,030	99,463	30,416	31,176	21,219	0,000	0,707	11,157
	1,222	0,058	98,000	29,969	30,718	21,250	0,000	0,699	22,787
	1,221	0,059	97,900	29,938	30,686	21,251	0,000	0,698	22,787
	1,200	0,080	96,189	29,415	30,150	21,265	0,000	0,689	30,763
	1,150	0,130	91,425	27,958	28,657	21,279	0,000	0,664	30,763
	1,100	0,180	86,661	26,501	27,164	21,294	0,000	0,638	30,763
	1,050	0,230	81,898	25,044	25,671	21,311	0,000	0,613	30,763
	1,000	0,280	77,134	23,588	24,177	21,330	0,000	0,588	30,763
	0,950	0,330	72,370	22,131	22,684	21,352	0,000	0,562	30,763
	0,900	0,380	67,606	20,674	21,191	21,377	0,000	0,537	30,763
	0,850	0,430	62,843	19,217	19,698	21,405	0,000	0,511	30,763
	0,800	0,480	58,079	17,761	18,205	21,439	0,000	0,485	30,763
	0,750	0,530	53,315	16,304	16,711	21,478	0,000	0,459	30,763
	0,700	0,580	48,551	14,847	15,218	21,525	0,000	0,433	30,763
	0,650	0,630	43,787	13,390	13,725	21,582	0,000	0,407	30,763
	0,600	0,680	39,024	11,934	12,232	21,653	0,000	0,380	30,763
	0,550	0,730	34,260	10,477	10,739	21,743	0,000	0,353	30,763
	0,500	0,780	29,496	9,020	9,245	21,863	0,000	0,325	30,763
	0,450	0,830	24,733	7,563	7,752	22,030	0,000	0,297	30,677
	0,400	0,880	19,997	6,115	6,268	22,268	0,000	0,266	29,701
	0,350	0,930	15,431	4,719	4,837	22,594	0,000	0,234	27,371
	0,300	0,980	11,355	3,472	3,559	22,952	0,000	0,201	23,948
	0,250	1,030	7,876	2,409	2,469	23,318	0,000	0,168	20,661
	0,200	1,080	5,018	1,535	1,573	23,688	0,000	0,135	16,117
	0,150	1,130	2,795	0,855	0,876	24,057	0,000	0,102	12,628
	0,100	1,180	1,208	0,369	0,379	24,423	0,000	0,068	7,976
	0,092	1,188	1,000	0,306	0,313	24,489	0,000	0,063	7,976
	0,050	1,230	0,259	0,079	0,081	24,798	0,000	0,035	3,679
	0,000	1,280	0,000	0,000	0,000	25,162	0,000	0,000	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
AFT Ballast Tank No7	1,625	0,000	100,000	31,764	32,558	13,455	0,000	1,326	0,000
	1,600	0,025	98,116	31,166	31,945	13,460	0,000	1,314	26,368
	1,598	0,027	98,000	31,129	31,907	13,460	0,000	1,313	26,368
	1,597	0,028	97,900	31,097	31,875	13,460	0,000	1,312	26,368
	1,500	0,125	90,579	28,772	29,491	13,481	0,000	1,263	26,368
	1,400	0,225	83,042	26,378	27,037	13,507	0,000	1,212	26,368
	1,300	0,325	75,505	23,984	24,583	13,537	0,000	1,160	26,368
	1,200	0,425	67,969	21,590	22,129	13,575	0,000	1,109	26,368
	1,100	0,525	60,432	19,196	19,676	13,621	0,000	1,057	26,368
	1,000	0,625	52,895	16,802	17,222	13,681	0,000	1,005	26,368
	0,900	0,725	45,358	14,408	14,768	13,761	0,000	0,951	26,368
	0,800	0,825	37,822	12,014	12,314	13,873	0,000	0,897	26,368
	0,700	0,925	30,285	9,620	9,860	14,041	0,000	0,840	26,368
	0,600	1,025	22,789	7,239	7,420	14,311	0,000	0,779	25,111
	0,500	1,125	15,757	5,005	5,130	14,708	0,000	0,713	21,141
	0,400	1,225	9,937	3,157	3,235	15,130	0,000	0,646	16,660
	0,300	1,325	5,448	1,731	1,774	15,552	0,000	0,579	12,128
	0,200	1,425	2,295	0,729	0,747	15,974	0,000	0,512	7,530
	0,137	1,488	1,000	0,318	0,326	16,237	0,000	0,467	4,560
	0,100	1,525	0,499	0,158	0,162	16,383	0,000	0,443	2,863
	0,000	1,625	0,000	0,000	0,000	16,704	0,000	0,375	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
B&G PS No6	1,994	0,000	100,000	18,340	18,799	36,558	-2,221	1,205	0,000
	1,967	0,026	98,000	17,973	18,423	36,557	-2,211	1,189	19,385
	1,966	0,027	97,900	17,955	18,404	36,557	-2,210	1,189	19,363
	1,900	0,094	92,890	17,036	17,462	36,556	-2,183	1,148	18,256
	1,800	0,194	85,509	15,683	16,075	36,555	-2,141	1,087	16,624
	1,700	0,294	78,362	14,372	14,731	36,553	-2,098	1,026	15,073
	1,600	0,394	71,451	13,104	13,432	36,551	-2,054	0,965	13,588
	1,500	0,494	64,783	11,881	12,178	36,549	-2,010	0,904	12,170
	1,400	0,594	58,364	10,704	10,972	36,547	-1,965	0,843	10,836
	1,300	0,694	52,199	9,573	9,813	36,545	-1,919	0,782	9,562
	1,200	0,794	46,294	8,490	8,703	36,543	-1,872	0,722	8,379
	1,100	0,894	40,654	7,456	7,642	36,540	-1,824	0,661	7,271
	1,000	0,994	35,285	6,471	6,633	36,537	-1,774	0,601	6,250
	0,900	1,094	30,192	5,537	5,676	36,534	-1,724	0,541	5,305
	0,800	1,194	25,384	4,655	4,772	36,530	-1,671	0,481	4,436
	0,700	1,294	20,872	3,828	3,924	36,526	-1,615	0,422	3,636
	0,600	1,394	16,669	3,057	3,134	36,521	-1,557	0,362	2,909
	0,500	1,494	12,790	2,346	2,404	36,516	-1,495	0,303	2,256
	0,400	1,594	9,254	1,697	1,740	36,508	-1,427	0,244	1,674
	0,300	1,694	6,093	1,117	1,145	36,498	-1,349	0,186	1,155
	0,200	1,794	3,362	0,617	0,632	36,483	-1,254	0,127	0,694
	0,100	1,894	1,176	0,216	0,221	36,449	-1,118	0,068	0,286
	0,090	1,903	1,000	0,183	0,188	36,443	-1,100	0,063	0,248
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	34,843	-0,501	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
B&G SB No6	1,994	0,000	100,000	18,340	18,799	36,558	2,221	1,205	0,000
	1,967	0,026	98,000	17,973	18,423	36,557	2,211	1,189	19,385
	1,966	0,027	97,900	17,955	18,404	36,557	2,210	1,189	19,363
	1,900	0,094	92,890	17,036	17,462	36,556	2,183	1,148	18,256
	1,800	0,194	85,509	15,683	16,075	36,555	2,141	1,087	16,624
	1,700	0,294	78,362	14,372	14,731	36,553	2,098	1,026	15,073
	1,600	0,394	71,451	13,104	13,432	36,551	2,054	0,965	13,588
	1,500	0,494	64,783	11,881	12,178	36,549	2,010	0,904	12,170
	1,400	0,594	58,364	10,704	10,972	36,547	1,965	0,843	10,836
	1,300	0,694	52,199	9,573	9,813	36,545	1,919	0,782	9,562
	1,200	0,794	46,294	8,490	8,703	36,543	1,872	0,722	8,379
	1,100	0,894	40,654	7,456	7,642	36,540	1,824	0,661	7,271
	1,000	0,994	35,285	6,471	6,633	36,537	1,774	0,601	6,250
	0,900	1,094	30,192	5,537	5,676	36,534	1,724	0,541	5,305
	0,800	1,194	25,384	4,655	4,772	36,530	1,671	0,481	4,436
	0,700	1,294	20,872	3,828	3,924	36,526	1,615	0,422	3,636
	0,600	1,394	16,669	3,057	3,134	36,521	1,557	0,362	2,909
	0,500	1,494	12,790	2,346	2,404	36,516	1,495	0,303	2,256
	0,400	1,594	9,254	1,697	1,740	36,508	1,427	0,244	1,674
	0,300	1,694	6,093	1,117	1,145	36,498	1,349	0,186	1,155
	0,200	1,794	3,362	0,617	0,632	36,483	1,254	0,127	0,694
	0,100	1,894	1,176	0,216	0,221	36,449	1,118	0,068	0,286
	0,090	1,903	1,000	0,183	0,188	36,443	1,100	0,063	0,248
	0,000	1,994	0,000	0,000	0,000	34,843	0,501	0,006	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Bilge Holding PS No9	1,210	0,000	100,000	2,730	2,730	15,647	-3,425	1,609	0,000
	1,200	0,010	98,410	2,687	2,687	15,648	-3,421	1,603	1,408
	1,197	0,012	98,000	2,675	2,675	15,648	-3,419	1,601	1,400
	1,197	0,013	97,900	2,673	2,673	15,648	-3,419	1,601	1,398
	1,150	0,060	90,394	2,468	2,468	15,651	-3,396	1,570	1,261
	1,100	0,110	82,675	2,257	2,257	15,654	-3,371	1,538	1,124
	1,050	0,160	75,255	2,055	2,055	15,658	-3,346	1,506	0,996
	1,000	0,210	68,140	1,860	1,860	15,661	-3,321	1,474	0,874
	0,950	0,260	61,341	1,675	1,675	15,666	-3,295	1,441	0,761
	0,900	0,310	54,860	1,498	1,498	15,671	-3,268	1,409	0,657
	0,850	0,360	48,701	1,330	1,330	15,677	-3,242	1,376	0,561
	0,800	0,410	42,872	1,170	1,170	15,683	-3,215	1,344	0,474
	0,750	0,460	37,379	1,020	1,020	15,691	-3,187	1,311	0,395
	0,700	0,510	32,227	0,880	0,880	15,699	-3,159	1,279	0,324
	0,650	0,560	27,423	0,749	0,749	15,710	-3,131	1,246	0,262
	0,600	0,610	22,977	0,627	0,627	15,722	-3,102	1,213	0,206
	0,550	0,660	18,897	0,516	0,516	15,737	-3,072	1,180	0,158
	0,500	0,710	15,190	0,415	0,415	15,756	-3,043	1,147	0,118
	0,450	0,760	11,867	0,324	0,324	15,780	-3,013	1,114	0,085
	0,400	0,810	8,937	0,244	0,244	15,810	-2,982	1,080	0,058
	0,350	0,860	6,412	0,175	0,175	15,853	-2,952	1,046	0,038
	0,300	0,910	4,302	0,117	0,117	15,912	-2,922	1,012	0,023
	0,250	0,960	2,618	0,071	0,071	16,001	-2,892	0,977	0,012
	0,200	1,010	1,376	0,038	0,038	16,135	-2,865	0,940	0,006
	0,180	1,030	1,000	0,027	0,027	16,202	-2,854	0,925	0,004
	0,150	1,060	0,585	0,016	0,016	16,300	-2,837	0,902	0,002
	0,100	1,110	0,176	0,005	0,005	16,462	-2,809	0,865	0,000
	0,050	1,160	0,023	0,001	0,001	16,625	-2,780	0,827	0,000
	0,000	1,210	0,000	0,000	0,000	16,786	-1,838	0,790	0,000

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Bilge Holding SB No9	1,210	0,000	100,000	2,730	2,730	15,647	3,425	1,609	0,000
	1,200	0,010	98,410	2,687	2,687	15,648	3,421	1,603	1,408
	1,197	0,012	98,000	2,675	2,675	15,648	3,419	1,601	1,400
	1,197	0,013	97,900	2,673	2,673	15,648	3,419	1,601	1,398
	1,150	0,060	90,394	2,468	2,468	15,651	3,396	1,570	1,261
	1,100	0,110	82,675	2,257	2,257	15,654	3,371	1,538	1,124
	1,050	0,160	75,255	2,055	2,055	15,658	3,346	1,506	0,996
	1,000	0,210	68,140	1,860	1,860	15,661	3,321	1,474	0,874
	0,950	0,260	61,341	1,675	1,675	15,666	3,295	1,441	0,761
	0,900	0,310	54,860	1,498	1,498	15,671	3,268	1,409	0,657
	0,850	0,360	48,701	1,330	1,330	15,677	3,242	1,376	0,561
	0,800	0,410	42,872	1,170	1,170	15,683	3,215	1,344	0,474
	0,750	0,460	37,379	1,020	1,020	15,691	3,187	1,311	0,395
	0,700	0,510	32,227	0,880	0,880	15,699	3,159	1,279	0,324
	0,650	0,560	27,423	0,749	0,749	15,710	3,131	1,246	0,262
	0,600	0,610	22,977	0,627	0,627	15,722	3,102	1,213	0,206
	0,550	0,660	18,897	0,516	0,516	15,737	3,072	1,180	0,158
	0,500	0,710	15,190	0,415	0,415	15,756	3,043	1,147	0,118
	0,450	0,760	11,867	0,324	0,324	15,780	3,013	1,114	0,085
	0,400	0,810	8,937	0,244	0,244	15,810	2,982	1,080	0,058
	0,350	0,860	6,412	0,175	0,175	15,853	2,952	1,046	0,038
	0,300	0,910	4,302	0,117	0,117	15,912	2,922	1,012	0,023
	0,250	0,960	2,618	0,071	0,071	16,001	2,892	0,977	0,012
	0,200	1,010	1,376	0,038	0,038	16,135	2,865	0,940	0,006
	0,180	1,030	1,000	0,027	0,027	16,202	2,854	0,925	0,004
	0,150	1,060	0,585	0,016	0,016	16,300	2,837	0,902	0,002
	0,100	1,110	0,176	0,005	0,005	16,462	2,809	0,865	0,000

	0,050	1,160	0,023	0,001	0,001	16,625	2,780	0,827	0,000
	0,000	1,210	0,000	0,000	0,000	16,786	1,838	0,790	0,000

4.2.2 Καταστάσεις φόρτωσης

Σύμφωνα με τον κανονισμό της άθικτης ευστάθειας, θα πρέπει να υπολογίσουμε τη θάικτη ευστάθεια του πλοίου για διάφορες καταστάσεις φόρτωσης. Έτσι, δημιουργούμε τις παρακάτω καταστάσεις:

- Αναχώρησης (*Departure*) - 100%
- Ημιφόρτωσης (*Half Load*) - 50%
- Άφιξης (*Arrival*) - 10%

Loadcase 100%

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο είναι έτοιμο για αναχώρηση. Έτσι, οι δεξαμενές καυσίμων, οι δεξαμενές φρέσκου νερού, η δεξαμενή έρματος και τα λάδια είναι γεμάτα. Οι σεντίνες είναι γεμάτες στο 10%.

DEPARTURE 100%										
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	538,000	538,000			29,268	0,000	6,156	0,000	User Specified
Passenger	1	7,800	7,800			36,460	0,000	8,630	0,000	User Specified
Crew and Effects	1	3,700	3,700			39,520	0,000	3,700	0,000	User Specified
Provisions	1	5,000	5,000			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
Tender Fuel	1	0,830	0,830			3,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
Stores and Consumables	1	10,000	10,000			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
.FUEL OIL TANKS										
Fuel Tank PS No1	98%	17,228	16,884	20,221	19,816	28,198	-2,309	1,167	0,000	Maximum
Fuel Tank SB No1	98%	17,228	16,884	20,221	19,816	28,198	2,309	1,167	0,000	Maximum
TOTAL FUEL			599,097			28,971	0,000	5,795	0,000	
.FRESH WATER TANKS										
Fresh Water PS No2	98%	13,367	13,100	13,367	13,100	32,400	-2,309	1,167	0,000	Maximum
Fresh Water SB No2	98%	13,367	13,100	13,367	13,100	32,400	2,309	1,167	0,000	Maximum
TOTAL FRESH WATER	98%	26,735	26,200	26,735	26,200	32,400	0,000	1,167	0,000	
.BALLAST WATER TANKS										
AFT Ballast Tank No7	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	Maximum
TOTAL BALLAST	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	
.LUBE OIL TANKS										
Lube Oil	1	0,270	0,270			18,600	0,000	2,300	0,000	User Specified
TOTAL LUBE OIL			0,270			18,600	0,000	2,300	0,000	
.B&G&BILGE										
Bilge Holding PS No9	10%	2,730	0,273	2,730	0,273	15,798	-2,994	1,093	1,408	Maximum
Bilge Holding SB No9	10%	2,730	0,273	2,730	0,273	15,798	2,994	1,093	1,408	Maximum
B&G Mid (Tank No.3)	1%	31,345	0,313	30,580	0,306	24,489	0,000	0,063	30,763	Maximum
B&G PS No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	-2,221	1,205	0,000	Maximum
B&G SB No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	2,221	1,205	0,000	Maximum
TOTAL B&G&BILGE	51,69%	74,402	38,457	72,721	37,532	36,165	0,000	1,194	33,578	
Skeg	1	4,490	4,490			9,340	0,480	2,170	0,000	User Specified
Sludge	1	2,000	2,000			17,400	0,000	2,880	0,000	User Specified
Total Loadcase			703,072	171,661	135,129	28,611	0,003	5,131	33,578	
FS correction									0,048	
VCG fluid								5,179		

Εικόνα 26: Loadcase 100%

Loadcase 50%

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο είναι οι προμήθειες, τα αναλώσιμα, δεξαμενές φρέσκου νερού, τα λάδια, οι B&G δεξαμενές και οι σεντίνες είναι γεμάτες στο 50%. Η δεξαμενή έρματος είναι γεμάτη στο 100%.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	538,000	538,000			29,268	0,000	6,156	0,000	User Specified
2	Passenger	1	7,800	7,800			36,460	0,000	8,630	0,000	User Specified
3	Crew and Effects	1	3,700	3,700			39,520	0,000	3,700	0,000	User Specified
4	Tender Fuel	0,5	0,830	0,415			3,000	0,000	1,250	0,000	User Specified
5	Provisions	0,5	5,000	2,500			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
6	Stores and Consumables	0,5	10,000	5,000			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
7											
8	.FUEL OIL TANKS										
9	Fuel Tank PS No1	50%	17,228	8,614	20,221	10,110	28,197	-2,003	0,729	0,000	User Specified
10	Fuel Tank SB No1	50%	17,228	8,614	20,221	10,110	28,197	2,003	0,729	18,479	Maximum
11	TOTAL FUEL			574,643			29,194	0,000	5,960	18,479	
12											
13	.FRESH WATER TANKS										
14	Fresh Water PS No2	50%	13,367	6,684	13,367	6,684	32,400	-2,003	0,729	14,462	Maximum
15	Fresh Water SB No2	50%	13,367	6,684	13,367	6,684	32,400	2,003	0,729	14,462	Maximum
16	TOTAL FRESH WATER	50%	26,735	13,367	26,735	13,367	32,400	0,000	0,729	28,924	
17											
18	.BALLAST WATER TANKS										
19	AFT Ballast Tank No7	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	Maximum
20	TOTAL BALLAST	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	
21											
22	.LUBE OIL TANKS										
23	Lube Oil	0,5	0,270	0,135			18,600	0,000	2,300	0,000	User Specified
24	TOTAL LUBE OIL			0,135			18,600	0,000	2,300	0,000	
25											
26	.B&G&BILGE										
27	B&G Mid (Tank No.3)	50%	31,345	15,672	30,580	15,290	21,509	0,000	0,441	30,763	Maximum
28	Bilge Holding PS No9	50%	2,730	1,365	2,730	1,365	15,675	-3,247	1,383	1,408	Maximum
29	Bilge Holding SB No9	50%	2,730	1,365	2,730	1,365	15,675	3,247	1,383	1,408	Maximum
30	B&G PS No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	-2,221	1,205	0,000	Maximum
31	B&G SB No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	2,221	1,205	0,000	Maximum
32	TOTAL B&G&BILGE	75,27%	74,402	56,000	72,721	54,701	31,328	0,000	1,000	33,578	
33											
34	Skeg	1	4,490	4,490			9,340	0,000	2,170	0,000	User Specified
35	Sludge	1	2,000	2,000			17,400	0,000	2,880	0,000	User Specified
36											
37	Total Loadcase			683,194	171,661	120,053	28,515	0,000	5,195	80,981	
38	FS correction									0,119	
39	DEPARTURE 100% \ 50% / ARRIVAL 10% \ empty LC 4 \ empty LC 5 \ empty LC 6 \ empty LC 7 \ empty LC 8 /										

Εικόνα 27: Loadcase 50%

Loadcase 10%

Σε αυτή την κατάσταση φόρτωσης το πλοίο είναι οι προμήθειες, τα αναλώσιμα, δεξαμενές φρέσκου νερού και τα λάδια είναι γεμάτα στο 10% ενώ οι δεξαμενές των B&G και των σεντίνων είναι στο 100%.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	538,000	538,000			29,268	0,000	6,156	0,000	User Specified
2	Passenger	1	7,800	7,800			36,460	0,000	8,630	0,000	User Specified
3	Crew and Effects	1	3,700	3,700			39,520	0,000	3,700	0,000	User Specified
4	Provisions	0,1	5,000	0,500			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
5	Tender Fuel	0,1	0,830	0,083			3,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
6	Stores and consumables	0,1	10,000	1,000			15,000	0,000	2,500	0,000	User Specified
7											
8	.FUEL TANKS										
9	Fuel Tank PS No1	10%	17,228	1,723	20,221	2,022	28,195	-1,542	0,233	18,479	Maximum
10	Fuel Tank SB No1	10%	17,228	1,723	20,221	2,022	28,195	1,542	0,233	18,479	Maximum
11	TOTAL FO			554,529			29,388	0,000	6,127	36,957	
12											
13	.FRESH WATER										
14	Fresh Water PS No2	10%	13,367	1,337	13,367	1,337	32,400	-1,542	0,233	14,462	Maximum
15	Fresh Water SB No2	10%	13,367	1,337	13,367	1,337	32,400	1,542	0,233	14,462	Maximum
16	TOTAL FRESH	10%	26,735	2,673	26,735	2,673	32,400	0,000	0,233	28,924	
17											
18	.BALLAST WATER TANKS										
19	AFT Ballast Tank No7	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	Maximum
20	TOTAL BALLAST	100%	32,558	32,558	31,764	31,764	13,455	0,000	1,326	0,000	
21											
22	.LUBE OIL TANKS										
23	Lube Oil	1	0,270	0,270			18,600	0,000	2,300	0,000	User Specified
24	TOTAL LUBE OIL			0,270			18,600	0,000	2,300	0,000	
25											
26	.B&G&BILGE										
27	B&G Mid (Tank No.3)	98%	31,345	30,718	30,580	29,969	21,250	0,000	0,699	0,000	Maximum
28	Bilge Holding PS No9	98%	2,730	2,675	2,730	2,675	15,648	-3,419	1,601	0,000	Maximum
29	Bilge Holding SB No9	98%	2,730	2,675	2,730	2,675	15,648	3,419	1,601	0,000	Maximum
30	B&G PS No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	-2,221	1,205	0,000	Maximum
31	B&G SB No6	100%	18,799	18,799	18,340	18,340	36,558	2,221	1,205	0,000	Maximum
32	TOTAL B&G&BILGE	99,01%	74,402	73,666	72,721	72,000	28,656	0,000	1,023	0,000	
33											
34	Sludge	1	2,000	2,000			17,400	0,000	2,880	0,000	User Specified
35	Skeg	1	4,490	4,490			9,340	0,000	0,480	0,000	User Specified
36											
37	Total Loadcase			670,187	171,661	110,482	28,371	0,000	5,260	65,881	
38	FS correction								0,098		

Εικόνα 28: Loadcase 10%

4.2.3 Αποτελέσματα άθικτης ευστάθειας

Intact 100%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	13,7272	Pass	+335,60
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	20,9582	Pass	+306,44
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	7,2311	Pass	+320,68
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,811	Pass	+305,50
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	28,6	Pass	+14,54
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	1,698	Pass	+1032
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	1,9	Pass	+81,11
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	9,3	Pass	+41,62
	Angle of steady heel / Deck edge immersion shall not be greater than (<=)	80,00	%	35,52	Pass	+34,83
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	106,7	Pass	+6,70

Intact 50%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	12,6145	Pass	+300,30
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	19,3031	Pass	+274,34
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	6,6885	Pass	+289,12
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,759	Pass	+279,50
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	28,6	Pass	+14,54
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	1,540	Pass	+926,67
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	2,2	Pass	+77,61
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	10,6	Pass	+33,51
	Angle of steady heel / Deck edge immersion shall not be greater than (<=)	80,00	%	41,62	Pass	+43,48
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	112,51	Pass	+12,51

Intact 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	12,3006	Pass	+290,33
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	18,9118	Pass	+266,75
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	6,6885	Pass	+284,62
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,749	Pass	+274,50
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	29,1	Pass	+16,36
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	1,488	Pass	+892,00
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	2,4	Pass	+76,33
A.749(18) Ch3 -Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16,0	deg	11,2	Pass	+29,97
	Angle of steady heel / Deck edge immersion shall not be greater than (\leq)	80,00	%	41,77	Pass	+43,81
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100,00	%	109,2	Pass	+9,20

Κεφάλαιο 5ο: Υπολογισμός ευστάθειας μετά από βλάβη

5.1 Γενικά για την ευστάθεια μετά από βλάβη

Οι ισχύοντες κανονισμοί για τον υπολογισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη έχουν θεσμοθετηθεί ύστερα από σοβαρά ατυχήματα που είχαν σχέση με την ευστάθεια [3,4,7]. Μία βλάβη στην ευστάθεια του πλοίου μπορεί ακόμα και να οδηγήσει στην κλίση του και στην ανατροπή του ή στην απώλεια πλευστότητας λόγω διαγωγής και άρα στην βύθιση.

Κατά την διάρκεια της σχεδίασης του πλοίου, πρέπει να φτιάχνονται οι φρακτές με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε αν υπάρξει κάποια βλάβη να μπορέσει να περιοριστεί σε μία συγκεκριμένη περιοχή του πλοίου.

Για να υπολογίσουμε την ευστάθεια μετά από βλάβη, θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε το μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο που θα βυθίζεται το πλοίο (γραμμή ορίου βύθισης ή *margin line*).

Η κάθε βλάβη οδηγεί σε απώλεια άντωσης ίση με την επιφάνεια της γάστρας που έχει κατακλισθεί. Ο χώρος που έχει κατακλισθεί με νερό δεν συμβάλλει πλέον στην άντωση (Μέθοδος χαμένης άντωσης). Έτσι, μειώνεται το εκτόπισμα του πλοίου. Το πλοίο βυθίζεται εξαιτίας της χαμένης άντωσης.

Τα πλοία πρέπει να σχεδιάζονται για να ανταπεξέρχονται σε βλάβες που μπορεί να συμβούν στο εξωτερικό της γάστρας για το προβλεπόμενο μήκος ρήγματος από τους κανονισμούς.

5.2 SOLAS Chapter II

Το πρώτο βήμα για να υπολογίσουμε την ευστάθεια πλοίου μετά από βλάβη, είναι να φτιάξουμε τα σενάρια καταστάσεων βλάβης του πλοίου σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS (Κεφάλαιο II-1, Μέρος B) πριν από το 2009.

Κύριες απαιτήσεις(σχήμα 14.2):

- Ελάχιστο εύρος ευστάθειας 15 μοίρες, αρχίζοντας από τη μέγιστη τελική γωνία ισορροπίας που δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 7 μοιρών για την περίπτωση κατάκλισης ενός

διαμερίσματος (ελέγχεται η δυσμενέστερη περίπτωση κατάκλυσης) και των 12 μοιρών για κατάκλυση δύο διαμερισμάτων.

- Η επιφάνεια κάτω από τον μοχλοβραχίονα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.015 m rad.
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0.10 m. Επίσης, πρέπει να είναι μεγαλύτερη, κατά τουλάχιστον 0.04 m, από το μοχλοβραχίονα της μεγαλύτερης από τις ακόλουθες ροπές:

(α) Λόγω ταυτόχρονης μετακίνησης των επιβατών προς την ίδια πλευρά του πλοίου

(β) λόγω καθέλκυσης σωστικών λέμβων

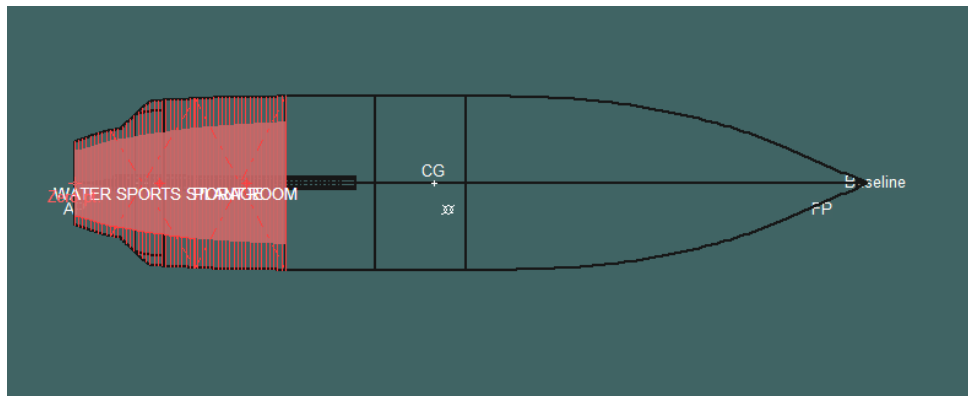
(γ) λόγω ανέμου

- Το «εναπομένον» μετακεντρικό ύψος, σε περίπτωση συμμετρικής κατάκλυσης, δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 0.05 m.

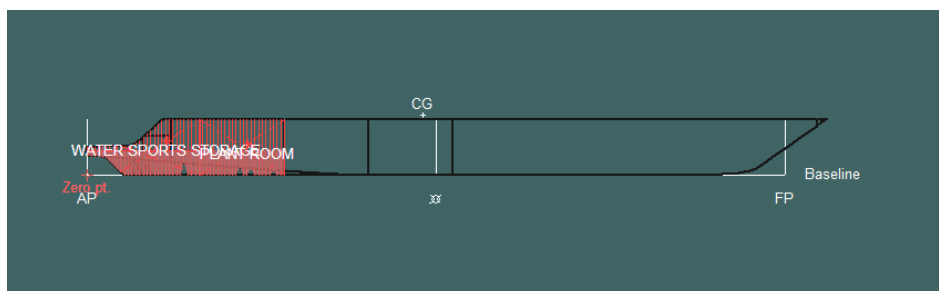
Η μέθοδος που αποτελείται από τους παραπάνω κανονισμούς ονομάζεται προσδιοριστική (ντετερμινιστική) μέθοδος υπολογισμού της ευστάθειας μετά από βλάβη. Βασικό στοιχείο αυτής είναι ότι τα χαρακτηριστικά του ρήγματος είναι προδιαγεγραμμένα. Συγκεκριμένα, το μήκος ρήγματος είναι ίσο με το μικρότερο εκ των $0.03 L + 3.0$ (m) ή 11 m, και η εισχώρηση είχε βάθος ίσο με το ένα πέμπτο του πλάτους του. Η βλάβη θεωρείται ότι εκτείνεται κατακόρυφα από τη βασική γραμμή έως επάνω, χωρίς περιορισμό. Με αυτή τη μέθοδο εξετάζεται η πιο δυσμενής περίπτωση. (Σπύρου, Κ., 2015. Δυναμική ευστάθεια πλοίου.)

5.3 Αποτελέσματα ευστάθειας μετά από βλάβη

Damage Case 1



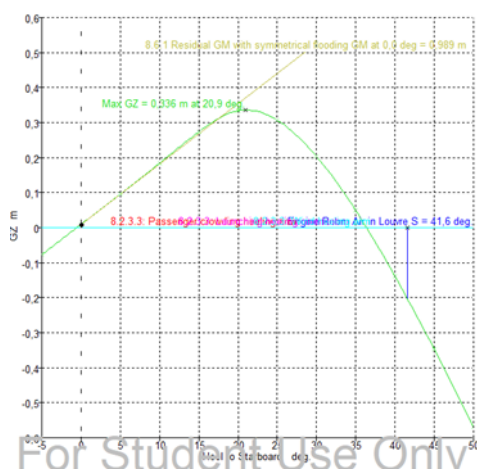
Εικόνα 29: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης No.1



Εικόνα 30: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης No.1

Damage Case 1 – 100%

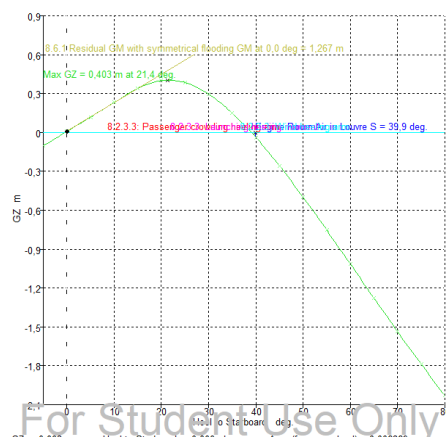
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	39,5	Pass	+163,63
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	5,9322	Pass	+590,27
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,418	Pass	+945,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,436	Pass	+990,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,366	Pass	+815,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,437	Pass	+2774,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,4	Pass	+105,36
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,96	Pass	+100,96



Εικόνα 31: Διάγραμμα GZ

Damage Case 1 – 50%

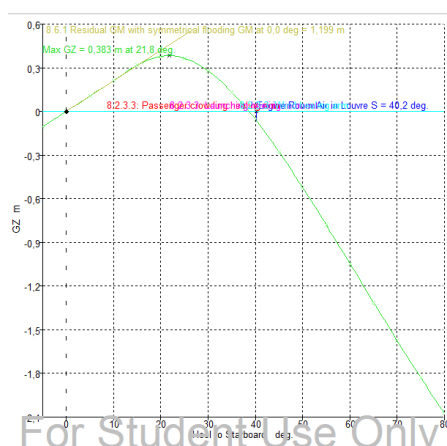
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	39,4	Pass	+162,58
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	5,3022	Pass	+516,96
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,376	Pass	+840,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,394	Pass	+885,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,322	Pass	+705,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,267	Pass	+2434,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,3	Pass	+104,88
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,322	Pass	+705,00



Εικόνα 32: Διάγραμμα GZ

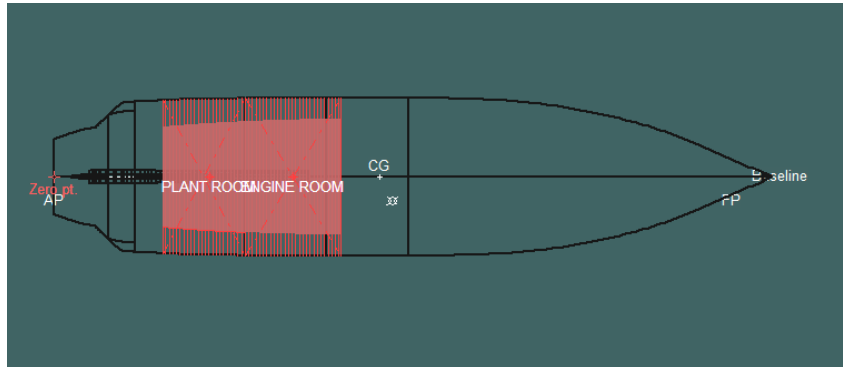
Damage Case 1 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	38,7	Pass	+157,80
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	4,9235	Pass	+472,90
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,383	Pass	+857,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,383	Pass	+857,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,383	Pass	+857,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,199	Pass	+2298,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,44
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,08	Pass	+99,92

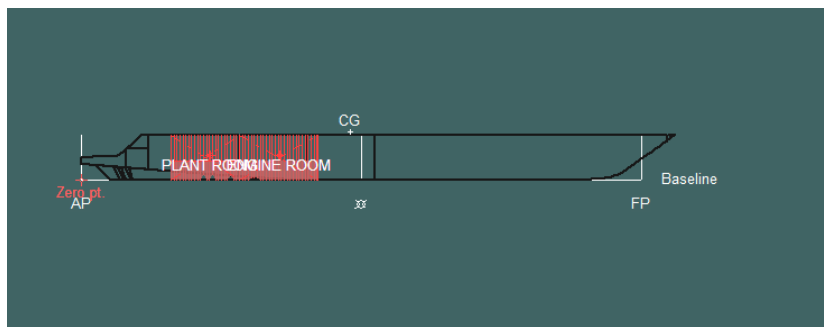


Εικόνα 33: Διάγραμμα GZ

Damage Case 2



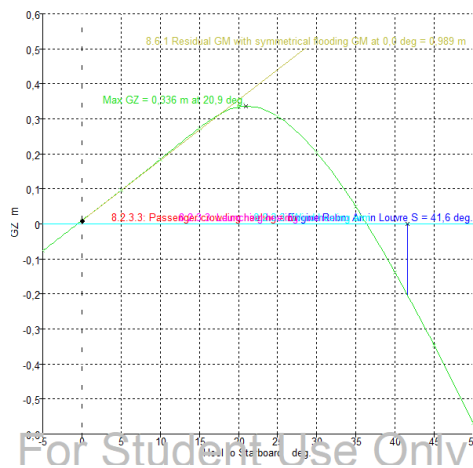
Εικόνα 34: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.2



Εικόνα 35: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.2

Damage Case 2 – 100%

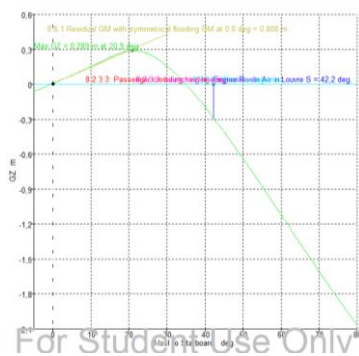
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	36,9	Pass	+146,11
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	4,3262	Pass	+403,40
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,336	Pass	+740,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,336	Pass	+740,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,336	Pass	+740,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	0,989	Pass	+1878,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,5	Pass	+107,77
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-1,31	Pass	+101,31



Εικόνα 36: Διάγραμμα GZ

Damage Case 2 – 50%

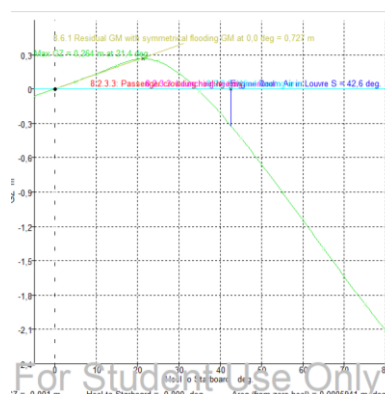
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	35,5	Pass	+136,51
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	3,6345	Pass	+322,91
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,289	Pass	+622,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,289	Pass	+622,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,289	Pass	+622,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	0,808	Pass	+1516,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,5	Pass	+107,62
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-1,26	Pass	+101,26



Εικόνα 37: Διάγραμμα GZ

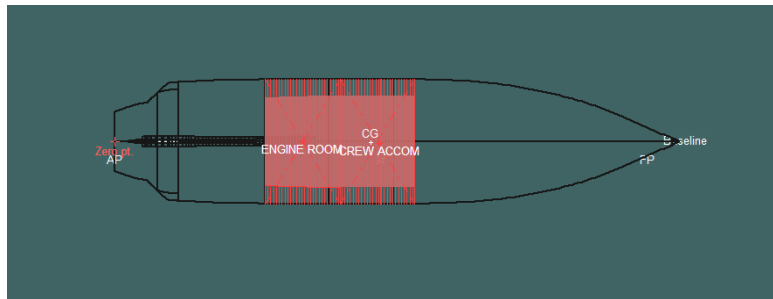
Damage Case 2 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	3,2015	Pass	+272,53
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,264	Pass	+560,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,264	Pass	+560,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,264	Pass	+560,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	0,727	Pass	+1354,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,1	Pass	+100,73
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,12	Pass	+99,88

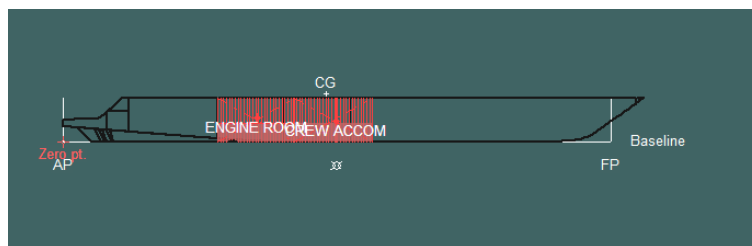


Εικόνα 38: Διάγραμμα GZ

Damage Case 3



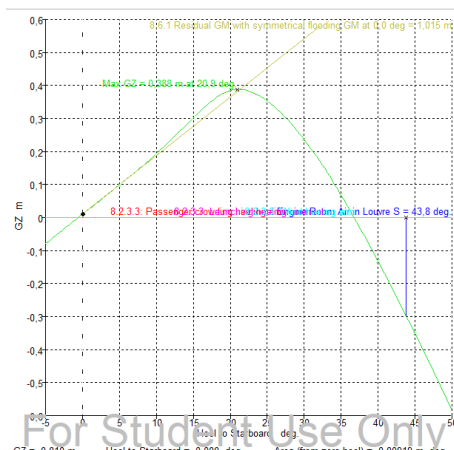
Εικόνα 39: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.3



Εικόνα 40: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.3

Damage Case 3 – 100%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	37,3	Pass	+148,91
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	4,7608	Pass	+453,97
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,388	Pass	+870,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,388	Pass	+870,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,388	Pass	+870,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,015	Pass	+1930,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,6	Pass	+108,15
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-1,30	Pass	+101,30



Εικόνα 41: Διάγραμμα GZ

Damage Case 3 – 50%

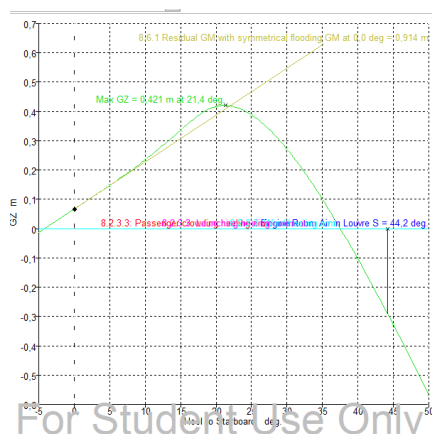
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	39,4	Pass	+162,68
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	5,1552	Pass	+499,86
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,389	Pass	+872,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,389	Pass	+872,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,389	Pass	+872,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	0,896	Pass	+1692,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-2,9	Pass	+141,63
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-6,61	Pass	+106,61



Εικόνα 42: Διάγραμμα GZ

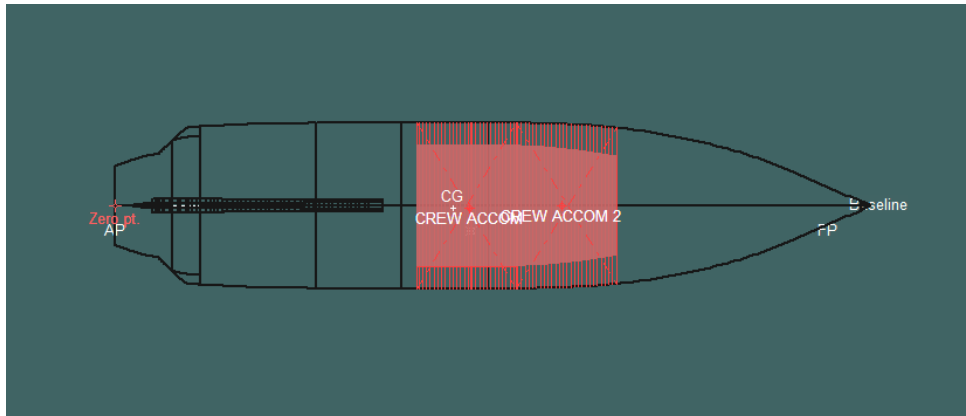
Damage Case 3 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	5,8077	Pass	+575,79
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,421	Pass	+952,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,421	Pass	+952,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,421	Pass	+952,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	0,914	Pass	+1728,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-4,2	Pass	+160,46
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-9,58	Pass	+109,58

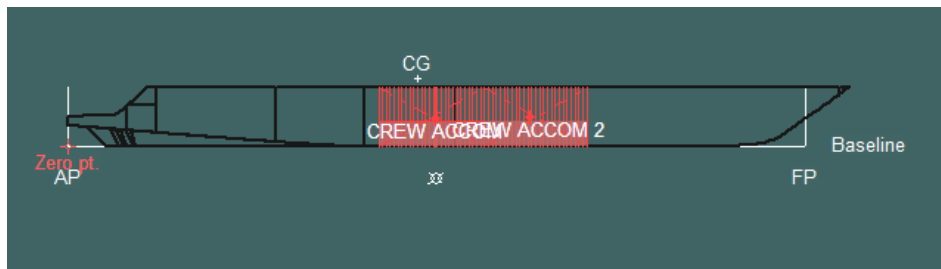


Εικόνα 43: Διάγραμμα GZ

Damage Case 4



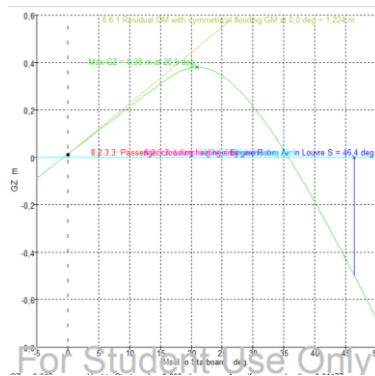
Εικόνα 44: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.4



Εικόνα 45: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.4

Damage Case 4 – 100%

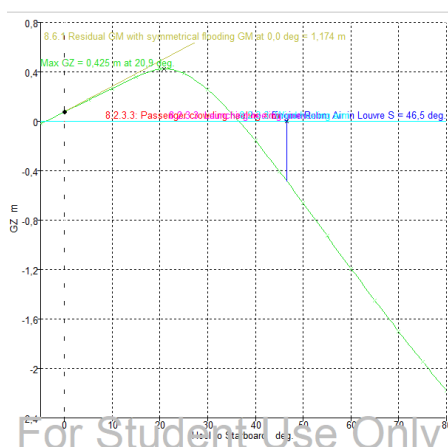
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	36,4	Pass	+142,77
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	4,9432	Pass	+475,19
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,380	Pass	+850,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,380	Pass	+850,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,380	Pass	+850,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,224	Pass	+2348,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-0,6	Pass	+109,21
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-1,39	Pass	+101,39



Εικόνα 46: Διάγραμμα GZ

Damage Case 4 – 50%

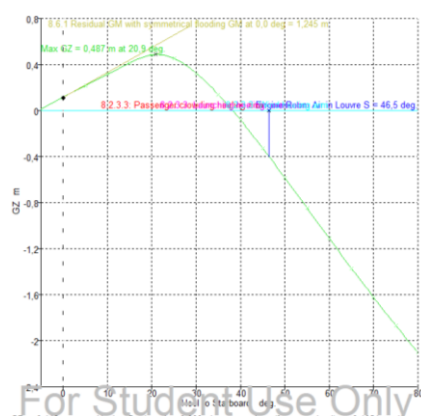
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	40,5	Pass	+169,98
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	6,2458	Pass	+626,76
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,425	Pass	+962,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,425	Pass	+962,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,425	Pass	+962,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,174	Pass	+2248,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-3,9	Pass	+156,38
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-6,48	Pass	+108,48



Εικόνα 47: Διάγραμμα GZ

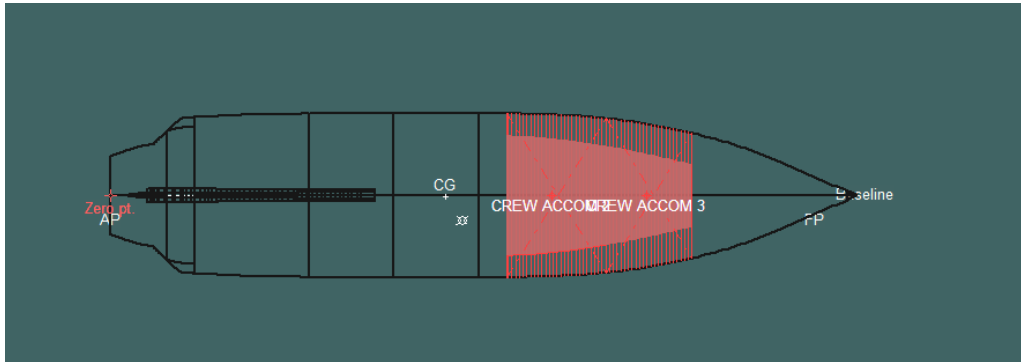
Damage Case 4 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	43,9	Pass	+192,90
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	7,5672	Pass	+780,52
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,487	Pass	+1117,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,487	Pass	+1117,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,487	Pass	+1117,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,245	Pass	+2390,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	-5,7	Pass	+181,76
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	-12,32	Pass	+112,32

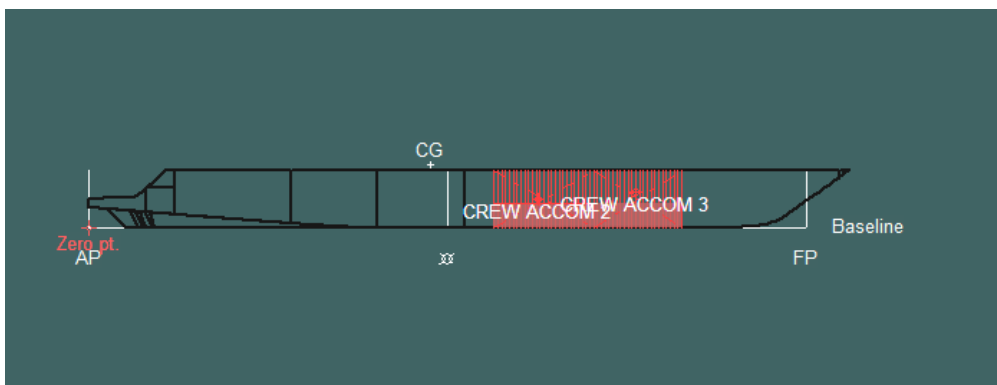


Εικόνα 48: Διάγραμμα GZ

Damage Case 5



Εικόνα 49: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.5



Εικόνα 50: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.5

Damage Case 5 – 100%

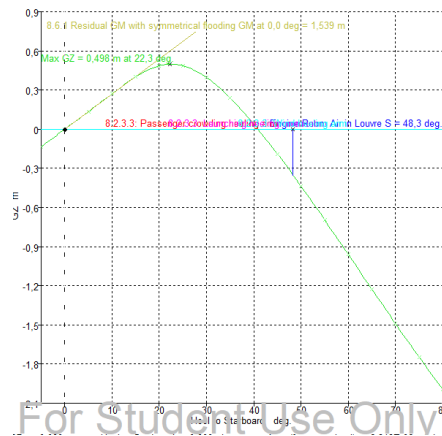
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	42,0	Pass	+180,09
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	6,8026	Pass	+691,55
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,535	Pass	+1237,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,535	Pass	+1237,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,535	Pass	+1237,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,711	Pass	+3322,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,1	Pass	+98,50
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,22	Pass	+99,78



Εικόνα 51: Διάγραμμα GZ

Damage Case 5 – 50%

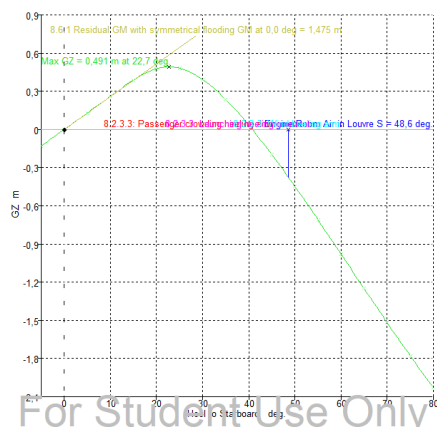
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	40,9	Pass	+172,61
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	6,2713	Pass	+629,73
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,498	Pass	+1145,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,498	Pass	+1145,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,498	Pass	+1145,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,539	Pass	+2978,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,00
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00



Εικόνα 52: Διάγραμμα GZ

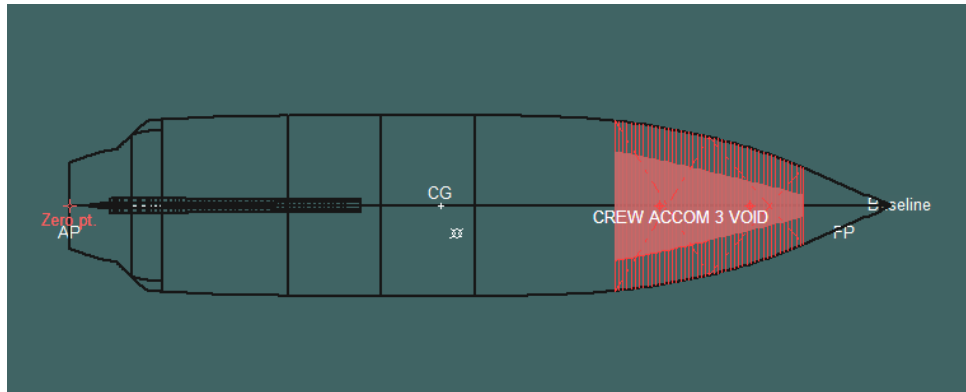
Damage Case 5 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	40,8	Pass	+171,87
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	6,0812	Pass	+607,61
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,491	Pass	+1127,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,491	Pass	+1127,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,491	Pass	+1127,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,475	Pass	+2850,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,00
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00

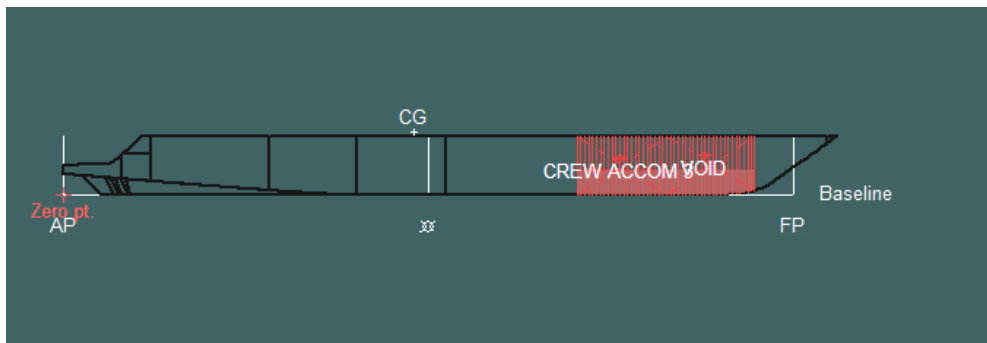


Εικόνα 53: Διάγραμμα GZ

Damage Case 6



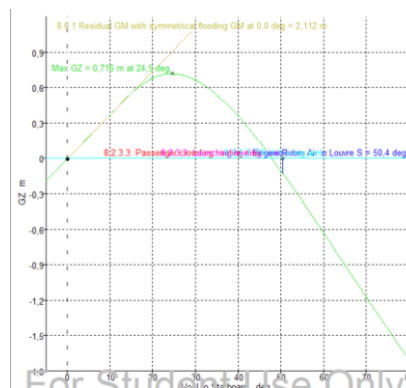
Εικόνα 54: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.6



Εικόνα 55: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης Νο.6

Damage Case 6 – 100%

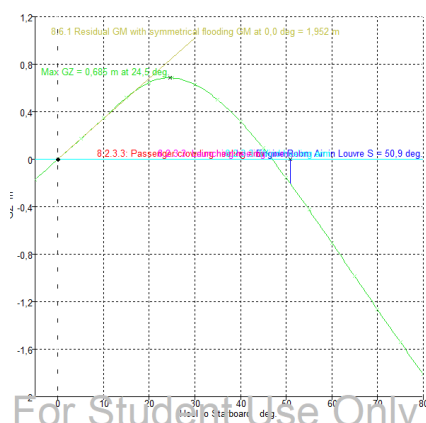
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	47,8	Pass	+218,97
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	8,6290	Pass	+904,07
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	2,112	Pass	+4124,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,1	Pass	+98,81
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,16	Pass	+99,84



Εικόνα 56: Διάγραμμα GZ

Damage Case 6 – 50 %

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	47,8	Pass	+218,97
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	8,6290	Pass	+904,07
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,716	Pass	+1690,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	2,112	Pass	+4124,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,1	Pass	+98,81
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,16	Pass	+99,84



Εικόνα 57: Διάγραμμα GZ

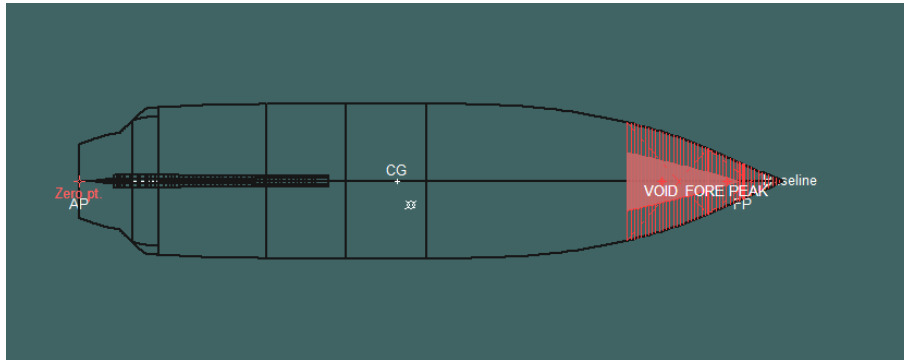
Damage Case 6 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	46,9	Pass	+212,65
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	8,1444	Pass	+847,69
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,685	Pass	+1612,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,685	Pass	+1612,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,685	Pass	+1612,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,952	Pass	+3804,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,00
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00

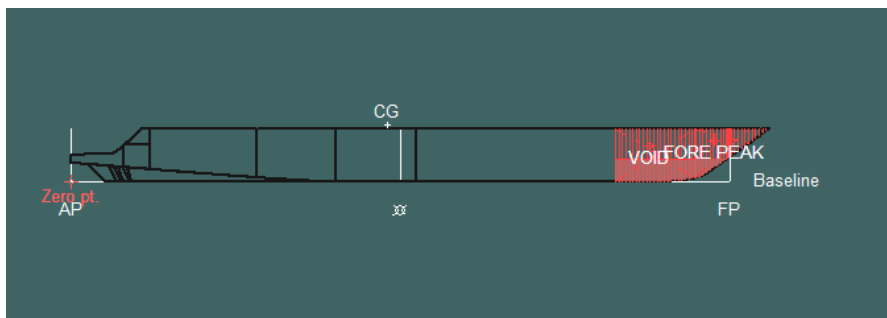


Εικόνα 58: Διάγραμμα GZ

Damage Case 7



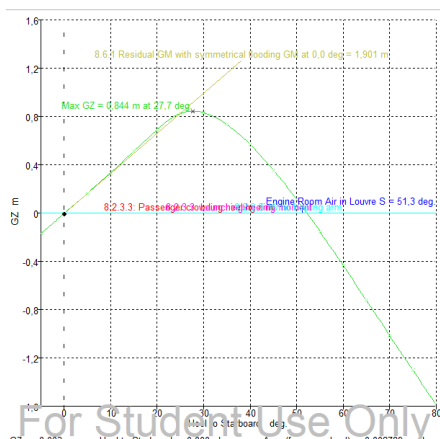
Εικόνα 59: Κάτοψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης No.7



Εικόνα 60: Πλάγια όψη πλοίου στην περίπτωση βλάβης No.7

Damage Case 7 – 100%

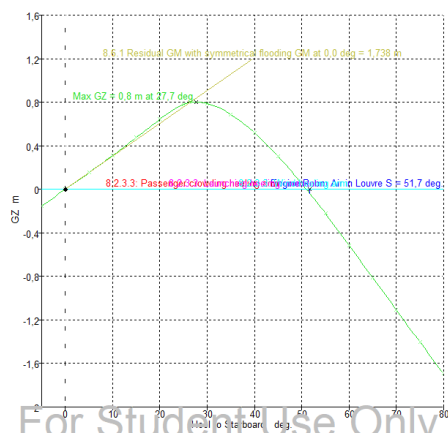
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	51,2	Pass	+241,22
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	8,2273	Pass	+857,33
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,844	Pass	+2010,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,844	Pass	+2010,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,844	Pass	+2010,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,901	Pass	+3702,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,1	Pass	+98,69
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,18	Pass	+99,82



Εικόνα 61: Διάγραμμα GZ

Damage Case 7 – 50%

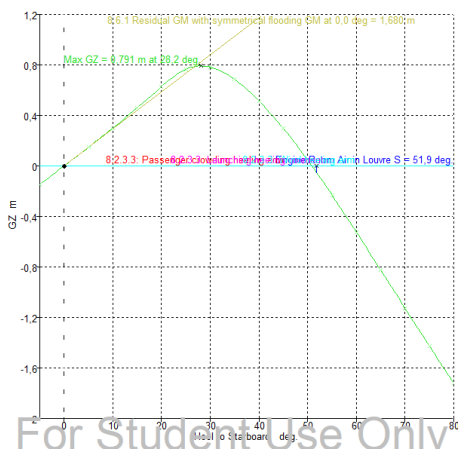
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	51,0	Pass	+239,90
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	7,6524	Pass	+790,44
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,800	Pass	+1900,00
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,800	Pass	+1900,00
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,800	Pass	+1900,00
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,738	Pass	+3376,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,00
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00



Εικόνα 62: Διάγραμμα

Damage Case 7 – 10%

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
SOLAS, II-1/8	8.2.3.1: Range of residual positive stability	15,0	deg	50,9	Pass	+239,16
SOLAS, II-1/8	8.2.3.2: Area under residual GZ curve	0,8594	m.deg	7,4233	Pass	+763,77
SOLAS, II-1/8	8.2.3.3: Maximum residual GZ (method 1)				Pass	
	8.2.3.3: Passenger crowding heeling arm	0,040	m	0,791	Pass	+1877,50
	8.2.3.3: Launching heeling moment	0,040	m	0,791	Pass	+1877,50
	8.2.3.3: Wind heeling arm	0,040	m	0,791	Pass	+1877,50
SOLAS, II-1/8	8.6.1 Residual GM with symmetrical flooding	0,050	m	1,680	Pass	+3260,00
SOLAS, II-1/8	8.6.2: Heel angle at equilibrium for unsymmetrical flooding - GZ based	7,0	deg	0,0	Pass	+100,00
SOLAS, II-1/8	8.6.3: Margin line immersion - GZ based (EquilAngle ratio)	100,00	%	0,00	Pass	+100,00



Εικόνα 63: Διάγραμμα GZ

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις για έρευνα

Το ερευνητικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση γάστρας επιβατηγού πλοίου, ο υπολογισμός της άθικτης ευστάθειας και της ευστάθειας μετά από βλάβη.

Ως σύνοψη, για την ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιούνται τα εξής σχέδια: σχέδιο γενικής διάταξης και σχέδιο γραμμών. Εισάγουμε το σχέδιο γραμμών στο σχεδιαστικό πρόγραμμα, *Rhinoceros 3d*, σε σωστή κλίμακα. Φτιάχνουμε την *baseline* με τις ισαποστάσεις των νομέων και τριμάρουμε τους νομείς στο ύψος του κύριου καταστρώματος. Στη συνέχεια, φτιάχνουμε με την βοήθεια του σχεδίου γενικής διάταξης το προφίλ του πλοίου. Μετακινούμε τον κάθε νομέα στη σωστή διαμήκη θέση του. Αφού όλοι οι νομείς είναι στη σωστή διαμήκη θέση, πρέπει να φτιάξουμε και την καθ' ύψος θέση την οποία μπορούμε να βρούμε από το *body plan*. Τέλος, περνάμε τις επιφάνειες του μοντέλου, οι οποίες πρέπει να είναι ομαλές, χωρίς «σπασίματα».

Στη συνέχεια, γίνεται εισαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα *Maxsurf* για να μελετήσουμε την ευστάθεια του. Πρώτα, το εισάγουμε στο *Modeller* για να ορίσουμε το *frame of reference* και μετά στο *stability* για να γίνει υπολογισμός της ευστάθειας του. Με τη βοήθεια του *capacity plan* φτιάχνουμε τις δεξαμενές. Επόμενο βασικό βήμα είναι η δημιουργία των καταστάσεων φόρτωσης. Φτιάχνουμε τρεις διαφορετικές καταστάσεις: 100%, 50%, 10%. Στην κάθε κατάσταση ορίζουμε πόσο γεμάτες θα είναι οι δεξαμενές του πλοίου όταν αυτό αποχωρεί από το λιμάνι, στη μέση του ταξιδιού και στην επιστροφή του. Ανάλογα με τον τύπο πλοίου που έχουμε, επιλέγουμε τα σωστά κριτήρια για την άθικτη ευστάθεια και τρέχουμε *large angle*. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που βγαίνουν από τα 3 runs για τις καταστάσεις φόρτωσης, καταλαβαίνουμε ότι το πλοίο μας πληροί όλους τους προβλεπόμενους κανονισμούς και περνά με επιτυχία τα κριτήρια.

Για τον υπολογισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη, πρέπει να δημιουργήσουμε σενάρια βλαβών σύμφωνα με τους κανονισμούς. Φτιάχνουμε, λοιπόν, καταστάσεις για τις οποίες «σπάμε» 2 διαμερίσματα και κάποιες δεξαμενές σύμφωνα με το κριτήριο μήκους ρήγματος. Το πλοίο, σύμφωνα με τους κανονισμούς της *SOLAS* που εφαρμόστηκαν, μπορεί να επιβιώσει σε όλες τις καταστάσεις μετά από βλάβη που προβλέπουν οι κανονισμοί για επιβατηγά πλοία.

Συμπεραίνουμε ότι η σχεδίαση της γάστρας και ο υπολογισμός της άθικτης ευστάθειας και της ευστάθειας μετά από βλάβη είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για την ασφάλεια των επιβατών, του πληρώματος και του περιβάλλοντος. Η ναυτιλία είναι ένας κλάδος που απαιτεί συνεχείς βελτιώσεις στους κανονισμούς έτσι ώστε να διασφαλίζεται συνεχώς η αξιοπιστία των πλοίων και η ασφαλής πλεύση τους. Έτσι, οι ναυπηγοί που εμπλέκονται στις παραπάνω μελέτες θα πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένοι για τους ισχύοντες κανονισμούς αλλά και για τις συνεχόμενες αλλαγές που πραγματοποιούνται σε αυτούς.

Κάποιες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση είναι οι παρακάτω:

- Πιθανοθεωρητικό μοντέλο για τον υπολογισμό ευστάθειας
- Μελέτη ευστάθειας σε πλοίο με τροποποιήσεις (αλλαγή στις δεξαμενές, αλλαγή στις φρακτές)

Βιβλιογραφία

1. Τζαμπίρας, Γ., 2015. Υδροστατική και ευστάθεια πλοίου. [Online] Available at: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/550> [Accessed 2 Σεπτεμβρίου 2022].
2. SOLAS, 2., 2009. SOLAS 2009. [Online] Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DamageStability.aspx> [Accessed 10 Ιουλίου 2022].
3. Editorial team, SAFETY4SEA, 2019, Insufficient stability leads to sinking with two fatalities [Online] Available at: <https://safety4sea.com/insufficient-stability-leads-to-sinking-with-two-fatalities/> [Accessed 2 Σεπτεμβρίου 2022].
4. Rebekah Riess and Melissa Gray, CNN, 2021, The Golden Ray cargo ship capsized because of inaccurate stability calculations, the NTSB finds. [Online] Available at: <https://edition.cnn.com/2021/09/14/us/golden-ray-cargo-ship-ntsb-report/index.html> [Accessed 2 Σεπτεμβρίου 2022].
5. Κώστας, Κ. (2014). 3D σχεδίαση & υπολογισμοί με το Rhino 3D. Αθήνα: DaVinci. [Accessed 15 Οκτωβρίου 2022].
6. Κανελοπούλου, Α., 2013. Έρευνα για ευστάθεια μετά από βλάβη σε επιβατηγό - οχηματαγωγό πλοίο με χρήση του ναυπηγικού προγράμματος NAPA, προπτυχιακή διπλωματική εργασία. [Online] Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/38330/kanellopoulou_ro_pax.pdf?sequence=1 [Accessed 15 Νοεμβρίου 2022].
7. Σπύρου, Κ., 2015. Δυναμική ευστάθεια πλοίου. [Online] Available at: <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5206/3/9694%20-%20Kostantinos%20Spyrou.pdf> [Accessed 20 Μαρτίου 2023].
8. Wärtsilä Encyclopedia of Marine Technology [Online] Available at: <https://www.wartsila.com/encyclopedia> [Accessed 20 Οκτωβρίου 2022].
9. Rhinoceros Features Manual. [Online] Available at: <https://www.rhino3d.com/features/nurbs/> [Accessed 20 Οκτωβρίου 2022].

10. IMO, 1993, RESOLUTION A.749(18) [Online] Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.749\(18\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.749(18).pdf) [Accessed 2 Σεπτεμβρίου 2022]
11. Maxsurf Manual, 2022. [Online] Available at: <https://maxsurf.net/stability> (Accessed 25 Οκτωβρίου 2022).
12. IACS, 2020, Computer Software for Onboard Stability Calculations. [Online] Available at: <https://iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-1/ur-15-rev4-cln/> (Accessed 15 Οκτωβρίου 2022)
13. N. Alujević, I. Čatipović, Š. Malenica, I. Senjanović¹, N. Vladimir, 2018, Ship roll control and energy harvesting using a U-tube anti-roll tank [Online] Available at: https://bib.irb.hr/datoteka/956353.Paper_685_R1.pdf [Accessed 10 Σεπτεμβρίου 2022]