



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

ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ ΣΕ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ –  
ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΥ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ NARA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΝΟΥΦΡΗΣ ΧΑΤΖΗΧΑΡΙΤΟΥ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

Η παρούσα διπλωματική έχει ως σκοπό την μελέτη της ευστάθειας μετά από βλάβη σε οχηματαγωγό – επιβατηγό πλοίο, τύπου RoPax. Συγκεκριμένα έγινε εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών κανονισμών της SOLAS 2009 και της πρότασης της SLF 55.

Το βασικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη αυτή είναι ένα τυπικό, μεσαίου μεγέθους πλοίο RoPax, με εγκάρσια υποδιαίρεση και lower hold. Η σχεδιάσή του βασίστηκε σε ένα μοντέλο τύπου RoPax που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Μελέτης Πλοίου με σκοπό να υπηρετήσει σε δρομολόγια μεταξύ του λιμένα Πειραιά και νησιών του Αιγαίου.

Η διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε τον Οκτώβριο του 2014 και ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2015. Μέσω αυτής, μου δόθηκε η ευκαιρία να έρθω σε επαφή και να εφαρμόσω τους πιθανοθεωρητικούς κανονισμούς ευστάθειας μετά από βλάβη σε επιβατηγό – οχηματαγωγό πλοίο. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στο σχεδιασμό του αρχικού μοντέλου ώστε να αυξηθεί η επιβιωσιμότητα του πλοίου. Η όλη εργασία εκπονήθηκε μέσω του ναυπηγικού προγράμματος NAPA, η εκμάθηση του οποίου θα με βοηθήσει στην μετέπειτα καριέρα μου ως Ναυπηγός.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλεποντα καθηγητή μου, Καθηγητή κ. Απόστολο Παπανικολάου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη την πορεία της εργασίας μου. Η συνεισφορά και η καθοδήγηση του ήταν ζωτικής σημασίας για την ολοκλήρωση της διπλωματικής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Ζαραφωνίτη για τον χρόνο που αφιέρωσε για την εκμάθηση του προγράμματος NAPA, αλλά και για την όλη συμβολή του στο τελικό αποτέλεσμα. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την Αφροδίτη Κανελλοπούλου και τον Γιώργο Δαφέρμο, για την υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν, όσο καιρό βρισκόμουν στο Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Χαράλαμπο και Μαρία, για την όλη συνεισφορά τους σε αυτά τα 5 χρόνια των σπουδών μου. Η αμέριστη αγάπη και υπομονή τους μου έδιναν δύναμη να υπερπηδήσω τα όποια εμπόδια εμφανίζονταν όλα αυτά τα χρόνια. Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τον αδελφό μου, Δημήτρη, ο οποίος αν και βρίσκεται στην άλλη άκρη του Ατλαντικού, ήταν πάντα νοερά δίπλα μου, δίνοντας μου καύσιμο για περισσότερη επιμονή, δουλειά και αυτοπεποίθηση.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΑ ΠΛΟΙΑ

##### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

##### 1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ RO-RO PASSENGER (ROPAX) ΠΛΟΙΩΝ

##### 1.3 ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ROPAX ΠΛΟΙΩΝ

##### 1.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

##### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

##### 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

##### 2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

##### 2.3.1 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΕΣ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

##### 2.3.1.1 SOLAS 90

##### 2.3.1.2 ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΣΤΟΚΧΟΛΜΗΣ

##### 2.3.2 ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: RISK MANAGEMENT – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (ΡΙΣΚΟΥ)

##### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

##### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

##### 3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ROPAX ΠΛΟΙΟΥ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ ΣΕ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟ (ROPAX) ΠΛΟΙΟ

##### 4.1 ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟ ΠΛΟΙΟ ΗΛΚΥΟΝ 135

##### 4.2 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΡΑ

##### 4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

##### 4.3.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

##### 4.3.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΑΣΤΡΑΣ

##### 4.3.3 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

##### 4.3.4 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΛΟΙΟΥ

##### 4.3.5 ΣΤΕΓΑΝΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

##### 4.3.6 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ (OPENINGS)

##### 4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (SURVIVABILITY) ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

##### 4.4.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

##### 4.4.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ SOLAS 2009

##### 4.4.3 ΠΡΟΤΑΣΗ SLF55

##### 4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ/ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΡΙΣΚΟΥ (RISK CONTROL OPTIONS)

##### 4.5.1 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ $\Delta B=+0.2$ ΜΕΤΡΑ

##### 4.5.2 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ $\Delta B=+0.4$ ΜΕΤΡΑ

##### 4.5.3 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ $\Delta D=+0.2$ ΜΕΤΡΑ

##### 4.5.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ $\Delta D=+0.4$ ΜΕΤΡΑ

##### 4.5.5 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ $\Delta B=+0.2$ ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ $\Delta D=+0.2$ ΜΕΤΡΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SOLAS 2009

5.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SLF55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ (GROUNDING RISK MODEL)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασφάλεια των πλοίων ενάντια στη βύθιση – ανατροπή, σε περίπτωση απώλειας της στεγανότητάς τους, παρουσιάζει πρωταρχικό ενδιαφέρον για την κοινωνία και κατά συνέπεια, για τους εθνικούς και διεθνείς ναυτιλιακούς ρυθμιστικούς οργανισμούς, τη θαλάσσια βιομηχανία και την επιστημονική κοινότητα.

Τον Ιανουάριο του 2009, οι νέοι εναρμονισμένοι πιθανοθεωρητικοί κανονισμοί για τη στεγανή υποδιαίρεση έγιναν υποχρεωτικοί, ξεπερνώντας τις προηγούμενες προσδιοριστικές μεθόδους εκτίμησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Άρχισε επομένως, μία νέα εποχή στη ναυτιλιακή βιομηχανία, σύμφωνα με τις σύγχρονες εξελίξεις. Αυτό ήταν το αποκορύφωμα περισσότερων από 50 ετών εργασίας, μία από τις μεγαλύτερες περιόδους κήσης οποιουδήποτε άλλου κανονισμού για την ασφάλεια και αντιπροσώπευε ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στην επίτευξη βελτιωμένων προτύπων ασφαλείας, μέσω του εξ ορθολογισμού και της εναρμόνισης των απαιτήσεων μετά από βλάβη.

Υπάρχουν, εντούτοις, σοβαρές ανησυχίες σχετικά με την υιοθετημένη διατύπωση για τον υπολογισμό της πιθανότητας επιβίωσης των επιβατηγών πλοίων, ιδιαίτερα για RoPax και μεγάλα κρουαζιερόπλοια, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα πλοία RoPax πρέπει να πληρούν τη «Συνθήκη της Στοκχόλμης», ενώ δεν γίνεται σχετική αναφορά στους νέους κανονισμούς.

Επιπλέον, οι τωρινοί κανονισμοί περιλαμβάνουν πιθανοθεωρητικό μοντέλο εκτίμησης ευστάθειας μετά από βλάβη λόγω σύγκρουσης. Στατιστικές μελέτες ατυχημάτων, ιδιαίτερα των επιβατηγών πλοίων, δείχνουν τη μεγάλη σημασία των ατυχημάτων προσάραξης. Η παρούσα SOLAS λαμβάνει υπόψη ατυχήματα προσάραξης διαμέσου ντετερμινιστικού κανονισμού, όπου καθορίζονται τα ελάχιστα ύψη και η έκταση των διπυθμένων. Δεν έχουμε όμως ακόμα ένα εγκεκριμένο πιθανοθεωρητικό μοντέλο προσέγγισης για τις προσάραξεις, ενώ κάτι τέτοιο αναπτύχθηκε πρόσφατα (με την συμμετοχή του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου) στα πλαίσια του ερευνητικού έργου EMSA 3.

### ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών κανονισμών SOLAS 2009 σε επιβατηγό – οχηματαγωγό πλοίου, τύπου RoPax. Αρχικά δίνεται το ιστορικό υπόβαθρο των κανονισμών ευστάθειας μετά από βλάβη και ακολούθως παρουσιάζεται το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009 που θα εφαρμοσθεί, αλλά και πρόταση της SLF55.

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται η θεωρία της διαχείρισης ρίσκου και πώς αυτή εφαρμόζεται στη σχεδίαση ενός RoPax.

Επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου μέσω του ναυπηγικού προγράμματος NAPA και η εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών μοντέλων ευστάθειας μετά από βλάβη.

Στο τέλος γίνεται μια ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τόσο σε τεχνικό όσο και οικονομικό επίπεδο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΑ ΠΛΟΙΑ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα πλοία Ro-Ro είναι από τους πιο επιτυχημένους τύπους πλοίων που λειτουργούν σήμερα. Η ευελιξία του, η δυνατότητα συνεργασίας με άλλα συστήματα μεταφορών και η ταχύτητα λειτουργίας τα έχει καταστήσει δημοφιλείς σε αρκετούς εμπορικούς δρόμους. Ειδικότερα, σε περιοχές κοντά στην θάλασσα της Μάγχης, στη Βαλτική, στη Μεσόγειο και στον κόλπο της Ιαπωνίας, όπου τα οχήματα μπορούν να φορτωθούν και να εκφορτωθούν από το πλοίο με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο, παρουσιάζεται άνθηση των Ro-Ro.

Ro-Ro είναι ακρωνύμιο της λέξης Roll-On/Roll-Off, η οποία περιγράφει ένα πλοίο κατασκευασμένο για μεταφορά οχημάτων. Τα οχήματα εισέρχονται και εξέρχονται από το πλοίο μέσω μίας ράμπας, η οποία συναντάται πιο συχνά στην πρύμνη αλλά υπάρχουν και διατάξεις με ράμπας στην πλώρη.

Η συντομογραφία RoPax (Roll-On/Roll-Off Passenger) περιγράφει ένα πλοίο Ro-Ro, το οποίο είναι κατασκευασμένο για τη μεταφορά οχημάτων, αλλά και με χώρους ενδιαίτησης των επιβατών. Θεωρητικά η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλα τα πλοία Roll-On/Roll-Off, με χώρους οχημάτων και μεταφοράς επιβατών.

Η μεγάλη άνθηση των εμπορικών συναλλαγών με πλοία Ro-Ro οδήγησε την ναυπηγική βιομηχανία στην δημιουργία και κατασκευή πλοίων με ικανότητα να μεταφέρουν επιβάτες, οχήματα και εμπορευματοκιβώτια. Τα σύγχρονα car carriers έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν μέχρι 6000 αυτοκίνητα, διαθέτοντας αρκετά καταστρώματα ως χώρους γκαράζ.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των πλοίων Ro-Ro σε σχέση με άλλου τύπου πλοίων είναι τα εξής:

- Για τον ναυλωτή, το πλεονέκτημα είναι η ταχύτητα. Δεδομένου ότι τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά μπορούν να οδηγηθούν κατευθείαν στο πλοίο και στη συνέχεια εκφορτωθούν στο λιμάνι προορισμού μέσα σε λίγα λεπτά από τον ελλιμενισμό του πλοίου, αυτό εξοικονομεί πολύ χρόνο από τον ναυλωτή.
- Τα πλοία αυτά μπορούν να ενσωματωθούν και με άλλα συστήματα μεταφορών, όπως τα συστήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Η χρήση των σφραγισμένων από τα τελωνεία εμπορευμάτων επέτρεψε στη διακίνηση τους ανάμεσα στα σύνορα με την ελάχιστη καθυστέρηση.
- Το πλοίο έχει επίσης αποδειχθεί εξαιρετικά δημοφιλής για τους παραθεριστές και τους ιδιώτες ιδιοκτήτες αυτοκινήτων. Έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη του τουρισμού.

## 1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ RO-RO PASSENGER (ROPAX) ΠΛΟΙΩΝ

Αρχικά, η μεταφορά οχημάτων σε ένα πλοίο τύχανε της ίδιας αντιμετώπισης σαν όλα τα υπόλοιπα είδη φορτίου. Τα οχήματα προς φόρτωση είχαν άδαιο το ρεζερβουάρ και αποσυνδεδεμένη την μπαταρία προτού εισέλθουν στον χώρο του αμπαριού. Αυτή η χρονοβόρα διαδικασία οδηγούσε σε ζημιές και βλάβες στα οχήματα.

Μια πρώιμη γραμμή Ro-Ro μεταφοράς τρένων λειτουργούσε το 1833 στην Σκωτία. Τα πλοία ήταν ειδικά σχεδιασμένα για να μεταφέρουν τρένα σε ποτάμια που ήταν πάρα πολύ μεγάλα και πλατιά για γέφυρες. Ήταν εξοπλισμένα με ράγες και το τρένο μπορούσε να κυλά κατευθείαν στο πλοίο, το οποίο έπλεε κατά μήκος του ποταμού σε μια άλλη σιδηροδρομική αποβάθρα, όπου το τρένο θα κυλούσε μακριά και πάλι.

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η φορτοεκφόρτωση των πλοίων ήταν ο πρωτεύων σκοπός κατασκευής ποντοπόρων πλοίων, επιτρέποντας στα οχήματα να φορτώνονται και να εκφορτώνονται άμεσα. Οι Σύμμαχοι χρειάζονταν μεγάλα, ποντοπόρα πλοία, ικανά στην μεταφορά και παράδοση τεθωρακισμένων οχημάτων σε όλη την Ευρώπη.

Το «HMS Boxer» ήταν μια απλοποιημένη σχεδίαση, προερχόμενη από τον ίδιο τον Τσόρτσιλ. Το πλοίο είχε την ικανότητα να μεταφέρει 13 τεθωρακισμένα οχήματα, 27 οχήματα μεταφοράς προσωπικού και περίπου 200 άνδρες με ταχύτητα 18 κόμβων.

Μέχρι τη δεκαετία του 1950, όποιος θέλει να μεταφέρει ένα μηχανοκίνητο όχημα μέσω θαλάσσης έπρεπε να το φορτώσει και να το εκφορτώσει με γερανό - μια χρονοβόρα, δαπανηρή και κάπως επικίνδυνη διαδικασία. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη των μεταφορών με μηχανοκίνητα οχήματα κατέστησε επιτακτική ανάγκη ότι πρέπει να βρεθούν τρόποι επίσπευσης της διαδικασίας.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, στο λιμάνι του Ντόβερ άνοιξαν οι πρώτες προβλήτες υποδοχής Ro-Ro το 1953. Μέχρι τότε η το λιμάνι μπορούσε να χειριστεί 10.000 αυτοκίνητα μέσω γερανών κάθε χρόνο και οι προβλέψεις έλεγαν πως μέσω των προβλητών το λιμάνι θα μπορούσε να χειριστεί δέκα φορές περισσότερα οχήματα. Κατά το πρώτο έτος ο αριθμός 100.000 ξεπεράστηκε και μέχρι το 1985 Ντόβερ ασχολείτο με πάνω από 2.500.000 οχημάτων και των εμπορευμάτων.

Η κυκλοφορία των οχημάτων από τη θάλασσα ξεκίνησε με τη μεταφορά του μικρού αριθμού των οχημάτων μέσα σε πλοία γενικού φορτίου, πολλά από τα οποία ήταν σύγχρονα πλοία liner. Τα πλοία αυτά ήταν ενδιάμεσων καταστρωμάτων, όπου τα κύτη και το ανώτερο κατάστρωμα διαχωρίζονταν με ένα ή δύο ενδιάμεσα. Τα οχήματα ανυψώνονταν από και προς τα ενδιάμεσα καταστρώματα από ανυψωτικό μηχάνημα της ακτής ή του πλοίου. Ο αριθμός των οχημάτων που θα μπορούσε να μεταφερθεί στο πλοίο ήταν περιορισμένος και οι λιμένες φορτοεκφόρτωσης απαιτούσαν εκτεταμένες χερσαίες μεταφορές στα οχήματα, λόγος που οδήγησε αρκετά οχήματα σε φθορές και βλάβες.

Ο αυξανόμενος όγκος οχημάτων που κινούνται από τη θάλασσα και τα αιτήματα των ναυλωτών για την υψηλή ποιότητα των υπηρεσιών οδήγησε στο σχεδιασμό και την



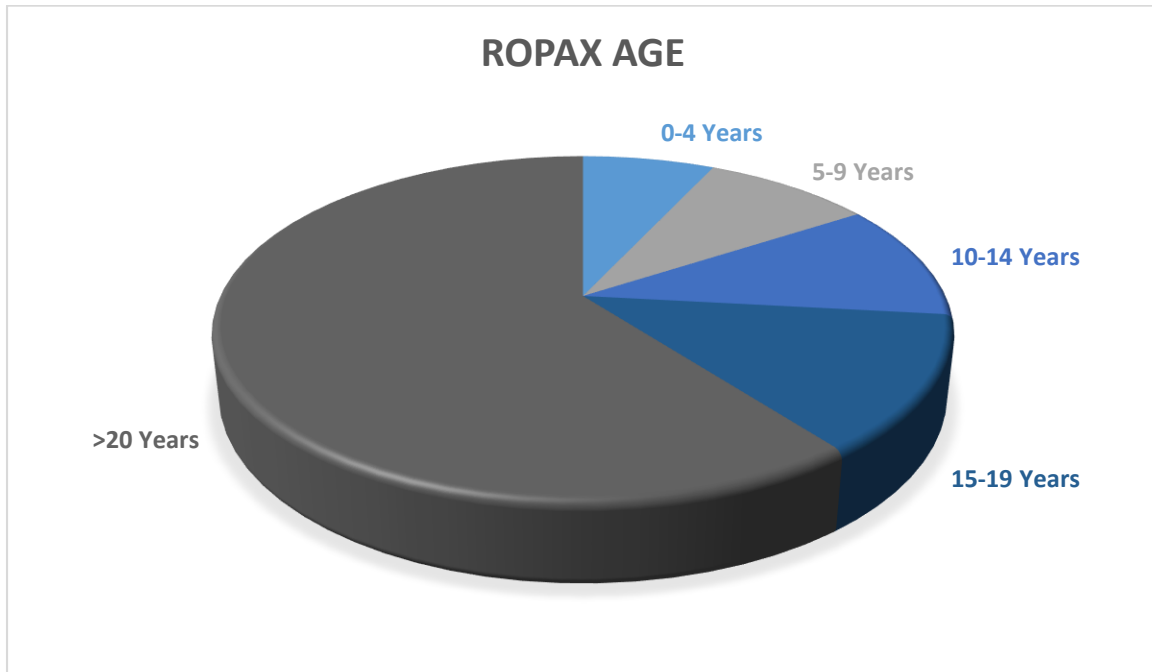
κατασκευή του ΡCC, πλοία αποκλειστικά για τη μεταφορά αυτοκινήτων και βελτιστοποιημένα για το σκοπό αυτό. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του ΡCC ήταν ο roll-on/roll-off χαρακτήρας του. Μια σειρά από εξωτερικές και εσωτερικές ράμπες επέτρεψαν να φορτώνονται τα αυτοκίνητα πάνω στο πλοίο και να οδηγούνται στη θέση στοιβασίας τους και να εκφορτώνονται με την ίδια μέθοδο. Αυτό το σύστημα φόρτωσης και εκφόρτωσης είχε ως αποτέλεσμα την μείωση παραμονής του πλοίου στο λιμένα και σε μείωση των ζημιών στα αυτοκίνητα κατά τον χειρισμό τους. Επιπλέον, δεδομένου ότι το ΡCC έχει βελτιστοποιηθεί για τη μεταφορά των αυτοκινήτων, ένα σχετικά ελαφρύ φορτίο, ο σχεδιασμός τους θα μπορούσε να ενσωματώσει μια πολύ λεπτότερη γάστρα που θα επιτρέπει υψηλότερες ταχύτητες και λιγότερη κατανάλωση καυσίμου.

Σύμφωνα με στατιστικά ο αριθμός των RoPax πλοίων για το 2009 ήταν στα 2819 ανάμεσα στα 105822 πλοία που κυκλοφορούν στον κόσμο, αριθμός που αναλογεί στο 2.66% του παγκόσμιου στόλου.

Ship Type	Total	
Containers	4264	4.03%
Dry Bulkers	7588	7.17%
General Cargo Carriers	20843	19.70%
Crude Oil Tankers	2021	1.91%
Fishing Vessels	26182	24.74%
RoPax	2819	2.66%
Work Boats	19846	18.75%
Product Tankers	5626	5.32%
Chemical Tankers	3523	3.33%
LPG/LNG/Other	1665	1.57%
Vehicle Carriers	711	0.67%
Offshore	5265	4.98%
Cruise	502	0.47%
Passenger	3298	3.12%
RoRo	1669	1.58%
<b>Total</b>	<b>105822</b>	<b>100%</b>

Πίνακας 1.1 Παγκόσμιος Στόλος κατά το έτος 2009

Η Wärtsilä δίνει και πληροφορίες σχετικά με την ηλικία του στόλου των RoPax, σύμφωνα με την οποία τα πλοία μέχρι 4 ετών αποτελούν το 7% όλου του παγκόσμιου στόλου των Ro-Ro, τα πλοία από 5-9 ετών το 9%, τα πλοία από 10-14 ετών το 11%, 15-19 ετών το 13% και τα πλοία άνω των 20 ετών το 61% .



Διάγραμμα 1.1 Ηλικία παγκόσμιου στόλου RoPax, πηγή Wärtsilä

Η μέση ταχύτητα των επιβατηγών – οχηματαγωγών έχει αυξηθεί μέσω των ετών, αλλά όχι για όλα τα μεγέθη. Τα μικρότερα επιβατηγά – οχηματαγωγά, κάτω από 100 μέτρα στο μήκος, έχουν κρατήσει την ταχύτητά τους για τα τελευταία 40 έτη, ενώ τα μεγαλύτερα επιβατηγά – οχηματαγωγά, πάνω από 180 μέτρα στο μήκος, έχουν βελτιώσει την ταχύτητά τους από 21 κόμβους μέχρι 26 μέσα σε 30 έτη.

Η εικόνα, εντούτοις, γίνεται ενδιαφέρουσα όταν μελετάται η ταχύτητα σε μία αδιαστατικοποιημένη μορφή, δηλαδή σύμφωνα με τον αριθμό Froude:

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{gL}}$$

όπου

$V_s$ : ταχύτητα υπηρεσίας σε m/s

$g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81 m/s<sup>2</sup>

$L$ : μήκος μεταξύ καθέτων

Ο μέσος αριθμός Froude επιβατηγών – οχηματαγωγών έχει μειωθεί πραγματικά μέσω των ετών. Ο αριθμός Froude για τα μακρύτερα πλοία έχει αυξηθεί σαφώς, από 0.27 μέχρι 0.32 κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών.

Προς το τέλος της δεκαετίας του '60 και της δεκαετίας του '70 πολλά επιβατηγά – οχηματαγωγά χτίστηκαν με σχετικά υψηλό αριθμό Froude, ουσιαστικά στο ίδιο επίπεδο με σήμερα. Η αποδοτικότητα καυσίμων των σύγχρονων RoPax είναι τουλάχιστον καλύτερη από πριν 30 χρόνια και οι μορφές γάστρας είναι σαφώς διαφορετικές και προφανώς αποδοτικότερες.

### 1.3 ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΡΟΡΑΧ ΠΛΟΙΩΝ

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) έχει υποδείξει 7 παράγοντες οι οποίοι είναι κρίσιμοι για την ασφάλεια ενός Ro-Ro πλοίου.

Αρχικά, η έλλειψη εσωτερικών φρακτών για λόγους εύκολης μετακίνησης των οχημάτων στους χώρους φορτίου. Μία πιθανή εισροή νερού σε αυτούς τους χώρους θα έχει ως συνέπεια την γρήγορη βύθιση του πλοίου.

Επίσης οι θύρες πρόσβασης του φορτίου, μετά από χρήση και την πάροδο των ετών, φθείρονται και επιτρέπουν την εισροή νερού. Επιπλέον, οι θύρες φορτοεκφόρτωσης βρίσκονται στο ύψος της ισάλου πλεύσης και σε περίπτωση μικρής εγκάρσιας κλίσης, η πιθανότητα διαβροχής του καταστρώματος είναι μεγάλη.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ως προς την ασφάλεια του πλοίου είναι η υψηλή κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους του πλοίου λόγω των ενδαιτήσεων που βρίσκονται πάνω από το κατάστρωμα οχημάτων. Αυτό δημιουργεί προβλήματα ευστάθειας στο πλοίο, λόγω αυξημένου KG και μικρού μετακεντρικού ύψους GM.

Η στοιβασία και η φύλαξη του φορτίου παίζουν σημαντικό ρόλο γιατί σε περίπτωση διασποράς του φορτίου, το πλοίο θα αποκτήσει σημαντική κλίση.

Οι σωστικές λέμβοι βρίσκονται συνήθως στα υψηλά καταστρώματα, γεγονός που δυσχεραίνει την κατάσταση σε περίπτωση εκκένωσης του πλοίου, ειδικά όταν το πλοίο αρχίζει και αποκτά μεγάλες εγκάρσιες κλίσεις.

Τελευταίος παράγοντας είναι το προσωπικό του πλοίου. Τα Ro-Ro χρειάζονται εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό στο χειρισμό τους, παράγοντας που τα καθιστά ευάλωτα στο ανθρώπινο λάθος.

Το M/V Sewol το οποίο βυθίστηκε τον Απρίλιο του 2014 στην Κορέα είχε όλα τα παραπάνω προβλήματα, συμπαράσύροντας μαζί του 304 ζωές.

Ship Name	Year	Fatalities
MV Princess Victoria	1953	133
SS Heraklion	1966	200
TEV Wahine	1968	52
MS Herald of Free Enterprise	1987	193
MS Jan Heweliusz	1993	55
MS Estonia	1994	852
MS Express Samina	2000	82
MS al-Salam Boccaccio 98	2006	1000
MV Queen of the North	2006	2
MV Cougar Ace	2006	1
MV Baltic Ace	2012	11
MV Sewol	2014	304

Πίνακας 1.2 Σημαντικά ατυχήματα σε Ro-Ro πλοία

Η ανατροπή του επιβατηγού – οχηματαγωγού «Herald of Free Enterprise», τον Μάρτιο του 1987 και ο ακόμα πιο τραγικός χαμός του «Estonia», το Σεπτέμβριο του 1994 κινητοποίησαν την διεθνή ναυτιλιακή κοινότητα. Σε απάντηση αυτών των περιστατικών, ο ΙΜΟ υιοθέτησε μια σειρά τροποποιήσεων της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), οι οποίες είχαν ως στόχο να εξασφαλίσουν ότι περιστατικά αυτού του είδους δεν θα επαναληφθούν.

Ο τυπικός μηχανισμός ανατροπής των επιβατηγών – οχηματαγωγών πλοίων αποδίδεται στο χαμηλό ύψος εξάλων. Το κατάστρωμα των αυτοκινήτων σταδιακά γεμίζει με νερό, λόγω των κινήσεων των κυμάτων, έως ότου, είτε να ισορροπήσει, αν η εισροή του νερού είναι ίση με την εκροή, είτε να ανατραπεί, λόγω της μεγάλης εγκάρσιας κλίσης.

Period	Barge	Bulk	Cargo	Chemical/ Product	Container	Dredger	Fishery	LPG/LNG	Other	Passenger	Ro-Ro	Supply/ Offshore	Tanker	Tug	Unknown	Total
2005	5	6	61	6	2	4	34	1	3	12	7	3		5		149
2006	5	8	61	11	4	3	23		3	12	10	3	2	7	1	154
2007	6	12	70	6	3	2	33		7	8	5	5	1	11	1	170
2008	3	8	58	7	2	5	36	1	5	4	8	1	3	7	1	149
2009		10	51	8	4		29		5	5	6	3	2	5		128
2010	1	11	60	5	5	2	21		3	3	1	2	3	7		124
2011		13	36	2	3	2	14	1	5	7	3	1	2	2		91
2012		8	61	8	5	2	12	1	3	6	5	3	1	6		121
2013	3	15	40	10	4		13		6	8	2	2		7		110
2014	1	3	25	2	4	1	14		3	7	5	2	1	7		75
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>94</b>	<b>523</b>	<b>65</b>	<b>36</b>	<b>21</b>	<b>229</b>	<b>4</b>	<b>43</b>	<b>72</b>	<b>52</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>64</b>	<b>3</b>	<b>1271</b>

Πίνακας 1.3 Αριθμός απολεσθέντων πλοίων 2005-2014, πηγή Lloyd's

Μελέτη του Det Norske Veritas (DNV) για την περίοδο 1965 – 1982 έδειξε ότι οι πιο κοινές αιτίες των σοβαρών απωλειών ήταν συγκρούσεις (24%), ζημιά μηχανημάτων (17%), προσάραξη (17%), μετατόπιση του φορτίου και λειτουργικά ελαττώματα (16%) , πυρκαγιά και έκρηξη (14%). Οι αριθμοί άλλαξαν σημαντικά όταν μελετήθηκαν οι συνολικές απώλειες. Εδώ η πιο κοινή αιτία ήταν η μετατόπιση του φορτίου, τα λειτουργικά ελαττώματα (43%) , η σύγκρουση (25%) και η πυρκαγιά και έκρηξη (18%).

Επιπλέον, η έρευνα έχει δείξει ότι το 70% των πλοίων Ro-Ro που ανατράπηκαν λόγω σύγκρουσης είχαν απώλειες ζώων και το 60% των πλοίων που ανατράπηκαν λόγω σύγκρουσης, βυθίστηκαν σε λιγότερο από 10 λεπτά. Ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα ήταν πως όλα τα πλοία που χάθηκαν ήταν σχεδόν όλα κάτω των 110 μέτρων σε μήκος. Η μελέτη επίσης έδειξε ότι το συνολικό ποσοστό απώλειας για τα Ro-Ro ήταν σημαντικά χαμηλότερο από το μέσο όρο για τον παγκόσμιο στόλο (κάτω από 0.25% κατά τη διάρκεια της 13-ετούς περιόδου έναντι περίπου 0.55% για τον παγκόσμιο στόλο).

Cause Contributions	Consequence Contributions
Poor visibility	Flooding
Rough weather	Heeling
Navigational confusion	List
Navigational error	Grounding
Unauthorized route	Cargo shift
Failure to use radar	Flammable cargo
Radar failure	Fire
Excessive speed	Engine failure
Steering failure	Power failure
Engine failure	Low stability
Power failure	Open watertight doors
Poor bridge layout	Lifeboat failure
Inexistence of redundant systems	Inaccurate/Delayed mayday
Low manning levels	Rough weather
Poor crew training	Poor visibility
Poor level of maintenance	Low temperature
Inexistence of vessel traffic systems	Stabilising tank control failure
Traffic densities	Inadequate structural design
	Emergency drainage failure
	Capsize
	Inadequate structural arrangement

Πίνακας 1.4 Αίτια/Συνέπειες, πηγή Unit of Marine Technology and Engineering, Technical University of Lisbon

Από τον πιο πάνω πίνακα παρατηρούμε πως οι συνηθέστερες αιτίες για την σύγκρουση πλοίων οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, στην πηδαλιουχία - πλοήγηση και σε βλάβες στα συστήματα του πλοίου.

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται ατυχήματα επιβατηγών πλοίων που συνέβησαν σε ελληνικές θάλασσες τα τελευταία 70 χρόνια.

Όνομα πλοίου	Έτος	Νεκροί	Αιτία
«Χειμάρα»	1947	400	Πρόσκρουση
«Ηράκλειο»	1966	223	Εισροή νερού
«Χρυσή Αυγή»	1983	26	Έκρηξη και Ανατροπή
«City of Poros»	1988	34	Πειρατεία
«Superfast III»	1999	14	Πυρκαγιά στο Κατάστρωμα Οχημάτων
«Εξπρές Σάμινα»	2000	82	Πρόσκρουση
«Sea Diamond»	2007	2	Πρόσκρουση

Πίνακας 1.5 Ατυχήματα επιβατηγών πλοίων σε ελληνικές θάλασσες

#### 1.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΕΙΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Τα ατυχήματα των τελευταίων δεκαετιών και ειδικότερα τα ατυχήματα των «Herald of Free Enterprise» και «Estonia» κινητοποίησαν τον IMO ώστε να προτείνει περαιτέρω μέτρα ασφάλειας για τα Ro-Ro πλοία. Η έκδοση κανονισμών όμως δεν σημαίνει ότι η ασφάλεια είναι εφαρμοσμένη και πιστοποιημένη σε κάθε πλοίο.

Η έρευνα των ατυχημάτων στα επιβατηγά – οχηματαγωγά μας έχει υποδείξει ότι στην πλειονότητα τους τα ατυχήματα έχουν γίνει λόγω μη εφαρμογής των κανονισμών ή λόγω ανθρώπινου λάθους. Αυτό ισχύει φυσικά και για άλλους τύπους πλοίων, αλλά τα επιβατηγά – οχηματαγωγά είναι ίσως πιο σύνθετα από τα περισσότερα πλοία και οποιαδήποτε λάθη που γίνονται μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφικές συνέπειες, λόγω του μεγάλου αριθμού επιβαίνοντων σε αυτά.

Πολλά από τα μέτρα που εγκρίθηκαν από τον IMO στο παρελθόν έχουν ως σκοπό να ελαχιστοποιήσουν τις συνέπειες των ατυχημάτων. Η έμφαση τώρα είναι στην προσπάθεια να αποτραπούν τα ατυχήματα. Με αυτό το σκεπτικό συνεχίζεται μέχρι και σήμερα η προσπάθεια συνεχούς ανανέωσης και βελτίωσης των κανονισμών περί ασφάλειας του πλοίου μετά από βλάβη. Σε αυτόν τον σκοπό, που θα σώσει ανθρώπινες ζωές, αποσκοπούν οι νέοι εναρμονισμένοι κανονισμοί SOLAS 2009.

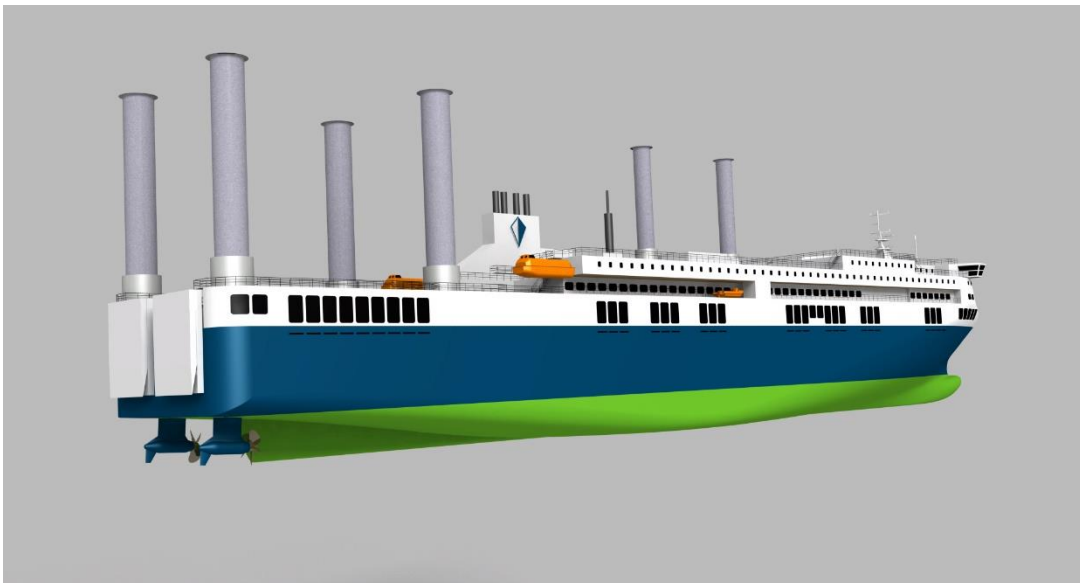
Σύμφωνα με την SOLAS και την Marine Safety Committee (MSC), από 1 Ιουλίου 2010, τα νεότευκτα επιβατηγά πλοία πρέπει να πληρούν τα παρακάτω:

- Αντιπυρικές Ζώνες (Fire Zones)
- Κατάλληλα κλιμακοστάσια στις υπερκατασκευές για χρήση ως εξόδου διαφυγής

- Αντιπυρικές Θύρες (Fire doors) στα κλιμακοστάσια, στους δημόσιους χώρους, στους χώρους διαφυγής και στις καμπίνες
- 2 έξοδοι διαφυγής στους χώρους του μηχανοστασίου
- Σε όλα τα συστήματα εξαερισμού (Ventilation systems) να υπάρχουν ανοίγματα για καθαρισμό και επιθεώρηση
- Στο κεντρικό δωμάτιο (atrium) (χώρος που εκτείνεται πέρα των 3 καταστρωμάτων) πρέπει να εγκατασταθούν 2 έξοδοι διαφυγής σε κάθε επίπεδο, σύστημα ανίχνευσης καπνού και πυρασφάλειας και σύστημα εξαερισμού και εξαγωγής καπνού
- Απαγόρευση των διαδρόμων χωρίς έξοδο (Dead-end corridors)
- Σύστημα φωτισμού των διαδρόμων σε απόσταση το πολύ 300 mm από το δάπεδο, για καθοδήγηση των επιβαινόντων στους χώρους διαφυγής
- Σύστημα συναγερμού και αναγγελιών (General alarm and Public address system)

Όσο για το πώς θα μοιάζει το επιβατηγό του μέλλοντος, εταιρεία Deltamarin έχει παρουσιάσει τον Ιούνιο 2015 το project «DeltaChallenger» που δείχνει πόσο αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον μπορούν να γίνουν τα νέα Ro-Ro και RoPax.

Για μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στο πλοίο υπάρχουν εγκατεστημένοι 6 rotor sails, οι οποίοι λόγω του φαινομένου Magnus παράγουν ώση σε διεύθυνση κάθετη ως προς τον άνεμο. Με αυτόν τον τρόπο, το πλοίο παράγει 10% της συνολικής προωστήριας ισχύς. Επιπλέον το πλοίο διαθέτει 4 εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για καλύτερη οικονομία καυσίμου και ελικτικότητα. Είναι πολύ αποδοτικό κατά την φορτοεκφόρτωση λόγω της ταυτόχρονης φορτοεκφόρτωσης των δύο επιπέδων στο lower hold. Διαθέτει 2720 μέτρα trailer lanes στο κύριο και ανώτερο κατάστρωμα και μπορεί να μεταφέρει μέχρι 950 αυτοκίνητα.



Εικόνα 1.1 DeltaChallenger, πηγή Deltamarin

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο άνθρωπος κατάφερε να δαμάσει, σε ένα βαθμό, τις θάλασσες και τους ωκεανούς και να διασχίζει τον πλανήτη πριν από χιλιάδες χρόνια, χωρίς ωστόσο να ξέρει και να γνωρίζει πως αυτό είναι εφικτό. Παρόλο που η Αρχή του Αρχιμήδη είναι γνωστή από το 300 π.Χ., διατυπώνοντας τον νόμο της Άνωσης, χρειάστηκε να περάσουν εκατοντάδες χρόνια μέχρι να φθάσουμε στην διατύπωση των βασικών μεγεθών που διέπουν την ευστάθεια και πλευστότητα ενός πλοίου.

Το τραγικό γεγονός της βύθισης του Τιτανικού στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, κινητοποίησε την διεθνή ναυτιλιακή κοινότητα ώστε να διοργανωθεί το πρώτο συνέδριο της SOLAS το 1914. Οι πρώτοι κανονισμοί που αφορούσαν την ευστάθεια και την διαμερισματοποίηση του πλοίου έλαβαν χώρα μετά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, στο συνέδριο της SOLAS το 1948. Στο συνέδριο αυτό έγινε και η ίδρυση του IMO, ο οποίος βρίσκεται κάτω από την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών και ασχολείται με θέματα που άπτον την ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα και στην ρύπανση των πλοίων.

### 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Η βύθιση των πλοίων λόγω ανεπαρκούς άντωσης και η ανατροπή τους λόγω ανεπαρκούς ευστάθειας είναι οι δύο βασικές απειλές προς την επιβιωσιμότητα του πλοίου. Η άντωση και η ευστάθεια του πλοίου έχουν ρίζες από την εποχή που έζησε ο Αρχιμήδης αλλά η ερμηνεία και η επιστημονική κατανόηση τους έγινε τον 18<sup>ο</sup> αιώνα μέσω της διατύπωσης του Μετάκεντρου και του Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς.

Ιστορικά, η εσωτερική υδατοστεγής υποδιαίρεση εξετάζεται για πρώτη φορά με την εμφάνιση χαλύβδινων πλοίων, στο τέλος της δεκαετίας του 1830, εφ' όσον πριν στα ξύλινα σκάφη, η ικανοποιητική στεγανοποίηση των χώρων ήταν πρακτικά δύσκολο να επιτευχθεί λόγω του υλικού κατασκευής. Τα πρώτα χαλύβδινα ατμοκίνητα πλοία ήταν μικρού μεγέθους και είχαν μία φρακτή σύγκρουσης στο πρωραίο τμήμα του πλοίου και μία στο πρυμναίο για τη στεγανοποίηση διαρροών από το σύστημα πηδαλιουχίας. Η Βρετανική συνθήκη «Merchant Shipping Act», το 1854, επέβαλε δύο επιπλέον στεγανά διαφράγματα πρώραθεν και πρύμνηθεν του μηχανοστασίου. Η απαίτηση αυτή, γνωστή και ως «διάταξη των τεσσάρων διαφραγμάτων», ουσιαστικά υποδιαιρούσε το πλοίο σε τρία υδατοστεγή τμήματα και θεωρήθηκε αρκετά ικανοποιητική για τα σχετικά μικρά πλοία της εποχής. Ένα χρόνο αργότερα, ο Βρετανικός Νηογνώμονας Lloyd's εισήγαγε στις απαιτήσεις του τη «διάταξη των τεσσάρων διαφραγμάτων», καθορίζοντας πρόσθετες προδιαγραφές για το ύψος και την αντοχή τους. Το 1857, μία νέα απαίτηση επέτρεψε την ταύτιση της πρυμναίας φρακτής ζυγοστάθμισης με την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου στην περίπτωση της ύπαρξης μηχανοστασίου πρύμνηθεν του πλοίου. Σημειώνεται ότι το 1859 καθελκύστηκε το μεγαλύτερο χαλύβδινο ατμοκίνητο επιβατηγό πλοίο της εποχής «Great



Eastern», μήκους 211 μέτρων και μεταφορικής ικανότητας έως 4.000 επιβάτες. Από ιστορικές πηγές προκύπτει ότι η γάστρα του συγκεκριμένου πλοίου ήταν υποδιαιρεμένη σε δέκα υδατοστεγή διαμερίσματα με διπλά τοιχώματα, καθ' όλο το μήκος του πλοίου.

Με την πάροδο των χρόνων, η αύξηση του μεγέθους των πλοίων συνδυάστηκε με βελτιωμένα συστήματα πρόωσης, γεγονός που οδήγησε σε σχεδιάσεις με μικρότερα μήκη μηχανοστασίου και προσαυξημένους χώρους κυτών. Η επανεξέταση της «διάταξης των τεσσάρων στεγανών διαφραγμάτων», είχε σαν αποτέλεσμα να κριθεί μη ασφαλής και να αποσυρθεί με τη συνθήκη «Merchant Shipping Act» του 1862.

Την ίδια περίοδο, απώλειες αρκετών πλοίων οδήγησαν στην ίδρυση του INA (Institution of Naval Architects) με σκοπό την προώθηση θεμάτων σχετικών με την ασφάλεια των εμπορικών πλοίων. Ο INA παρουσίασε μία ολοκληρωμένη πρόταση για την ενδυνάμωση της ασφάλειας, σύμφωνα με την οποία διατυπώθηκε για πρώτη φορά ο όρος «έξαλα» και η πλευστότητα κατόπιν βλάβης ενός, ή δύο παρακείμενων διαμερισμάτων.

Μία νέα σειρά ατυχημάτων (120 χαλύβδινα ατμόπλοια την περίοδο 1881-1883) καθώς και οι πιέσεις των σχεδιαστών για τη θέσπιση κανόνων ασφαλείας, οδήγησαν στους πρώτους κανόνες για «επιτρεπόμενο ύψος εξάλων» και κατά συνέπεια στην πρώτη εκδοχή του κανονισμού «Γραμμή Φόρτωσης», με σημαντικότερο σημείο, τον καθορισμό του αριθμού των στεγανών διαφραγμάτων ως συνάρτηση του μήκους πλοίου.

Οι απαιτήσεις της στεγανής υποδιαίρεσης, δηλαδή της «διάταξης των τεσσάρων διαφραγμάτων» και οι κανόνες «Γραμμής Φόρτωσης» ήταν τα πρώτα σχεδιαστικά μέτρα για την ασφάλεια έναντι βύθισης και αφορούσαν όλους τους τύπους εμπορικών πλοίων εκείνης της εποχής. Οι πρώτοι κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης εμφανίζονται στα επιβατηγά πλοία με αφορμή ατυχήματα που είχαν μεγάλο κοινωνικό αντίκτυπο, λόγω του υψηλού αριθμού απώλειας ανθρωπίνων ζωών.

Μια σειρά ατυχημάτων, κυρίως όμως η τραγωδία του «Τιτανικού», το 1912, έδωσε αφορμή για τη σύγκλιση στο Λονδίνο της πρώτης Διεθνούς Διάσκεψης για την ασφάλεια της ανθρωπίνης ζωής στη θάλασσα. Στη Διάσκεψη αυτή, μεταξύ άλλων, καθορίστηκε μια εμπειρική μέθοδος για την οριοθέτηση των στεγανών διαφραγμάτων, με βάση τον τύπο και το μήκος του πλοίου, μέσω ενός συντελεστή στεγανής υποδιαίρεσης F. Επιπρόσθετα, εισήχθη η έννοια της «γραμμής ορίου βύθισης», η οποία καθορίστηκε στις τρεις ίντσες (76 mm) κάτω από το κατάστρωμα στεγανών διαφραγμάτων. Εν συνεχεία, η ανατροπή του επιβατηγού πλοίου «Empress of Ireland» το 1914, ανέδειξε την αναγκαιότητα της αναθεώρησης των μέχρι τότε ισχυόντων κανονισμών σχεδίασης. Οι εναλλακτικές προτάσεις που μελετήθηκαν εκείνη την περίοδο, δεν τέθηκαν ποτέ σε εφαρμογή, αφού η εργασία διακόπηκε με την έναρξη του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου. Ολοκληρώθηκαν το 1929, οπότε και υπογράφηκε η Διεθνής Σύμβαση SOLAS 1929.

Το 1939, ο Jaakko Rahola παρουσίασε μια σειρά στατιστικών αναλύσεων που αφορούσαν την ευστάθεια του πλοίου. Το συμπέρασμα της έρευνας του ήταν πως αρκετά πλοία που ανατράπηκαν, είχαν μοχλοβραχίονες επαναφοράς κάτω από τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές που συνιστούσαν οι ειδικοί της εποχής. Αυτό το συμπέρασμα, τον ώθησε στην διατύπωση του «κανονικού» (normal) μοχλοβραχίονα επαναφοράς, η οποίος έχει

ελάχιστες τιμές στις 20 και 30 μοίρες κλίσης και μέγιστη τιμή στις 35 μοίρες. Η γωνία εγκάρσιας κλίσης όπου το πλοίο έχει μηδενική ευστάθεια ορίστηκε στις 60 μοίρες. Η έρευνα του Raahola αποτέλεσε τη βάση των ελάχιστων κριτηρίων ευστάθειας των μετέπειτα χρόνων. Ο αντίκτυπος των συμπερασμάτων του Raahola φθάνει μέχρι σήμερα, αφού πάνω σε αυτά βασίζονται τα κριτήρια άθικτης ευστάθειας του κανονισμού MSC. 267.

Το 1960, ήταν η πρώτη φορά όπου η SOLAS θα διεξήγαγε έρευνες σχετικά με το πώς διαφοροποιείται η άθικτη ευστάθεια σε σχέση με τον τύπο πλοίου. Ως αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία του κανονισμού A.167 ο οποίος συσχέτιζε το αρχικό μετακεντρικό ύψος και τους μοχλοβραχίονες επαναφοράς με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές μελέτες και εμπειρικούς τύπους.

Το 1974 απαιτούμενο ήταν η βελτίωση των κανονισμών ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι εξωτερικές επιβαλλόμενες δυνάμεις στο πλοίο κατά τον πλου, οι οποίες δύναται να ανατρέψουν το πλοίο ή να του προκαλέσουν μεγάλες εγκάρσιες κλίσεις. Με βάση αυτό, το 1985 παρουσιάζεται το «κριτήριο καιρού» (Weather Criterion), το οποίο επιβεβαιώνει αν ένα πλοίο είναι ικανό να ανθίσταται στις ροπές κλίσης που επιβάλλουν οι κυματισμοί και ο άνεμος. Επίσης εισήχθησαν κανονισμοί που χρησιμοποιούν μία πιθανοθεωρητική προσέγγιση της εκτίμησης της ευστάθειας πλοίων κατόπιν βλάβης, οι οποίοι ισχύουν μέχρι και σήμερα.

Τα θεσπισθέντα νέα αυστηρότερα κριτήρια περιλαμβάνονται στις τροποποιήσεις του 1990 (SOLAS 1990). Επιγραμματικά, καθορίζονται ελάχιστες τιμές του εύρους του μοχλοβραχίονα ευστάθειας GZ και της μέγιστης τιμής του, της γωνίας ισορροπίας κατόπιν βλάβης ενός, ή δύο διαμερισμάτων και της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη του μοχλοβραχίονα ευστάθειας. Επιπλέον, εισάγονται απαιτήσεις για τον έλεγχο των ενδιάμεσων σταδίων κατάκλυσης και τη μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία κλίσης μετά την κατάκλυση και πριν την εξισορρόπηση του πλοίου. Τα κριτήρια αυτά θεωρήθηκαν ικανοποιητικά από τον IMO, με το σκεπτικό ότι αποτρέπουν την ανατροπή ενός πλοίου μετά από βλάβη σε μέτριες καταστάσεις θάλασσας. Οι διατάξεις αυτές συμπεριέλαβαν και τα υπάρχοντα πλοία, μεγάλο ποσοστό των οποίων δεν ικανοποιούσε τα κριτήρια. Η αναγκαιότητα ενός χρονικού περιθωρίου για τη συμμόρφωση των συγκεκριμένων πλοίων οδήγησε σε νέα τροποποίηση της το 1992 (SOLAS 1992). Ορίστηκε μία απλοποιημένη πιθανοθεωρητική μέθοδος υπολογισμού χαρακτηριστικών της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, βασισμένη στους «Ισοδύναμους κανονισμούς υποδιαίρεσης και ευστάθειας» και η οποία καθόρισε το χρονοδιάγραμμα συμμόρφωσης των υφιστάμενων επιβατηγών – οχηματαγωγών πλοίων με τις απαιτήσεις της SOLAS 1990.

Στη SOLAS 1995, 7 βορειοδυτικές χώρες της Ευρώπης σύναψαν μια συμφωνία, την λεγόμενη «Συμφωνία της Στοκχόλμης» (Stockholm Agreement). Το συμφωνητικό αυτό ενδυναμώνει τις απαιτήσεις ευστάθειας των πλοίων, πέραν της SOLAS 1990, στους λιμένες των πιο πάνω χωρών.

Οι υποεπιτροπές του IMO, που ασχολούνταν με την αναθεώρηση της SOLAS, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, εφ' όσον τα πιθανοθεωρητικά πρότυπα εκτιμούν πιο ορθολογικά την ευστάθεια κατόπιν βλάβης, η αναθεώρηση των μελλοντικών σχετικών κανονισμών θα

πρέπει να βασίζεται σ' αυτού του είδους τα πρότυπα. Το συμπέρασμα αυτό, μαζί με την επιτακτική ανάγκη αναθεώρησης των μηκών υποδιαίρεσης και της προδιαγραφής υποδιαίρεσης στα επιβατηγά πλοία, έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω εργασίες, με σκοπό τη διατύπωση ενός ενιαίου γενικευμένου πιθανοθεωρητικού μοντέλου, το οποίο θα εναρμονίζει τους σημερινούς κανονισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης των νεότευκτων επιβατηγών πλοίων.

Πιο πρόσφατα, η διατύπωση ενός νέου κανονισμού ευστάθειας μετά από βλάβη, με βάση την πιθανοθεωρητική διαδικασία, που με κατάλληλο τρόπο θα «εναρμονίζει» τις απαιτήσεις φορτηγών και επιβατηγών πλοίων, αποτέλεσε το αντικείμενο ενός μεγάλου ερευνητικού προγράμματος σε ευρωπαϊκή κλίμακα (HARDER – Harmonization of Rules and Design Rational, 1999-2003). Το HARDER είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα, το οποίο είχαν αναλάβει μια ευρωπαϊκή κοινοπραξία βιομηχανικών, ερευνητικών και ακαδημαϊκών ινστιτούτων, ώστε να μελετηθεί η πιθανοθεωρητική προσέγγιση στην μελέτη της ευστάθειας μετά από βλάβης ενός πλοίου και τη δημιουργία νέων κριτηρίων στην υποδιαίρεση του πλοίου βασισμένη στην πιθανότητα επιβίωσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν επιδράσεις από κυματισμούς, γωνίες κλίσης. Οι τρεις βασικές αιτίες ενεργοποίησης του προγράμματος HARDER ήταν οι εξής:

- Ο κύριος στόχος του προγράμματος ήταν να βοηθήσει τον IMO στην επικύρωση της μεθόδου αυτής.
- Η δυνατότητα υπολογισμού μεγάλου και αντιπροσωπευτικού αριθμού δειγμάτων από τον υπάρχοντα στόλο με ένα σταθερό και ελεγχόμενο τρόπο και με σκοπό την εδραίωση του ισοδύναμου επιπέδου ασφαλείας που παρέχεται από τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης.
- Η μελέτη της επίδρασης της νέας μεθόδου στην εξέλιξη του σχεδιασμού νέων πλοίων. Κρίθηκε πολύ σημαντικό να δοθεί χρόνος για τη μελέτη της επιρροής των νέων σχεδιάσεων πριν επηρεαστεί αμετάκλητα η όλη διαδικασία.

Μετά από στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων από συγκρούσεις πλοίων διατυπώθηκαν κατάλληλες συναρτήσεις πυκνότητας για τη θέση και έκταση μιας ενδεχόμενης βλάβης, καθώς και για την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου με βάση τα χαρακτηριστικά πλευστότητας και ευστάθειας μετά από βλάβη. Επειδή είναι βασισμένο σε στατιστικές αποδείξεις που αφορούν το τι συμβαίνει στην πραγματικότητα όταν ένα πλοίο συγκρούεται το πιθανοθεωρητικό μοντέλο πιστεύεται ότι είναι κατά πολύ περισσότερο ρεαλιστικό από την προηγούμενη ντετερμινιστική μέθοδο.

Η SOLAS 2009 εισήγαγε τους νέους πιθανοθεωρητικούς κανονισμούς για την ευστάθεια μετά από βλάβη, οι οποίοι έχουν σαν βάση την εργασία που έκανε ο Wendel τη δεκαετία του '60. Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση δίνει στον σχεδιαστή μηχανικό περισσότερη ελευθερία αλλά χρησιμοποιεί πολύπλοκες μεθόδους υπολογισμού. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι η δημιουργία ζημιών σε χώρους του πλοίου, ο προσδιορισμός των πιθανοτήτων πραγματοποίησης αυτών των ζημιών με βάση στατιστικά δεδομένα του IMO, υπολογισμός των πιθανοτήτων επιβίωσης του πλοίου κάτω υπό αυτές τις ζημιές και η εύρεση ενός δείκτη υποδιαίρεσης A.

## 2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

Η εμπειρία δείχνει ότι κατά πλειονότητα τα ναυτικά ατυχήματα που προκάλεσαν αστάθεια στο πλοίο ήταν αποτέλεσμα μίας αλυσιδωτής σειράς ατυχών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένων κατασκευαστικών και λειτουργικών λαθών. Στις διαδικασίες αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης εκτιμάται η δυνατότητα επιβίωσης του πλοίου σε συγκεκριμένες συνθήκες και αξιολογείται συναρτήσει ενός προκαθορισμένου επιπέδου επιβιωσιμότητας, το οποίο πρέπει να ικανοποιείται. Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο επιβιωσιμότητας, που θεωρείται ικανοποιητικό καθορίζεται με κριτήρια, τα οποία προδιαγράφουν συγκεκριμένες απαιτήσεις επί των βασικών χαρακτηριστικών της ευστάθειας του πλοίου. Τα κριτήρια αυτά εξελίσσονται βαθμιαία με την πάροδο του χρόνου, με σκοπό να βελτιώνεται, ορθολογικότερα κάθε φορά, η αξιολόγηση της επιβιωσιμότητας του πλοίου.

Ορθολογικά κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης ορίζονται ως τα κριτήρια που προκύπτουν από την ανάλυση του φυσικού μηχανισμού ανατροπής – βύθισης, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο πλοίο και παρέχουν πληροφορία για την πιθανότητα επιβίωσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο καθορισμός των κριτηρίων, καθώς και τα όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνονται, συνθέτουν ένα εξαιρετικά πολύπλοκο πρόβλημα, στο οποίο δεν μπορεί να υπάρξει μία και μόνο μεθοδολογία για την επίλυσή του. Όπως σε όλα τα προβλήματα αποφάσεων, οι μέθοδοι εκτίμησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, σύμφωνα με τη φιλοσοφία μοντελοποίησής τους:

- Ντετερμινιστικές Μέθοδοι (Deterministic Methods)
- Πιθανοθεωρητικές Μέθοδοι (Probabilistic Methods)

### 2.3.1 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 2.3.1.1 SOLAS 90

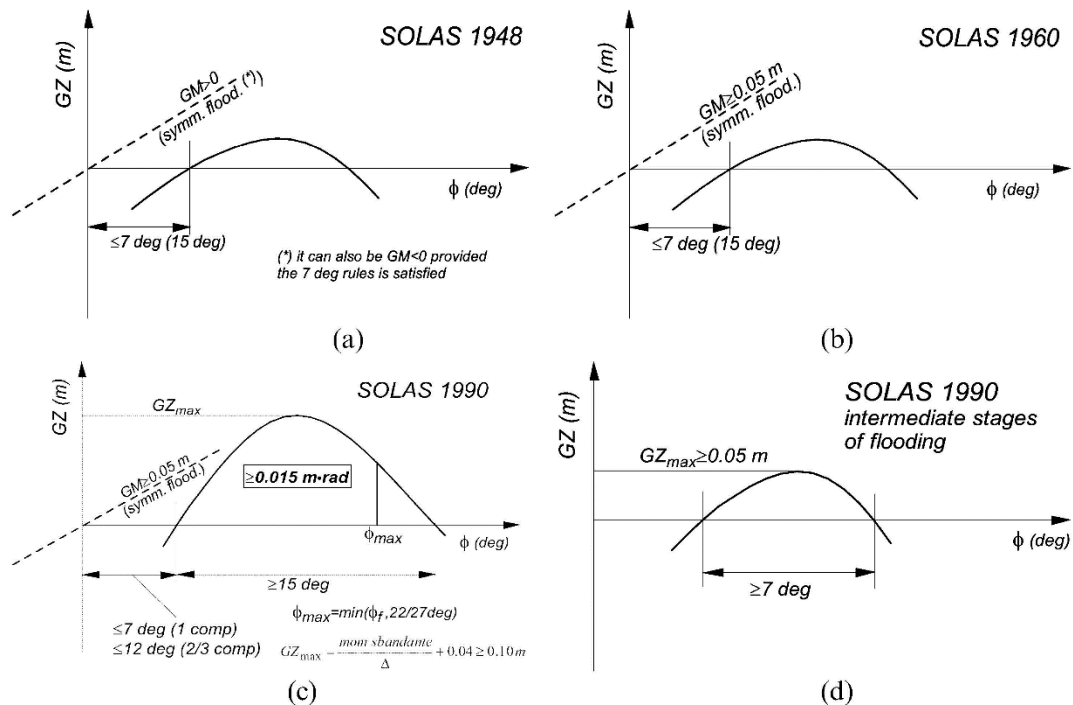
Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι εκτιμούν την ευστάθεια μετά από βλάβη μέσω της χρήσης ημι-εμπειρικών κανονισμών και σχέσεων, κριτηρίων που προέκυψαν από στατιστική ανάλυση ατυχημάτων και πρακτικής εμπειρίας. Για αυτόν τον λόγο η εφαρμογή αυτών των μεθόδων για την εκτίμηση της ευστάθειας σε πλοία νέας τεχνολογίας, δεν μπορεί να διαβεβαιώσει την επιβιωσιμότητα αυτών των πλοίων, λόγω έλλειψης προηγούμενης εμπειρίας και τεχνογνωσίας.

Για την εφαρμογή των ντετερμινιστικών μεθόδων χρειάζεται αρχικά να οριστούν τα παρακάτω μεγέθη:

- Μήκος υποδιαίρεσης (Subdivision Length)
- Βύθισμα Υποδιαίρεσης (Subdivision Draught)
- Μέγιστο Πλάτος ή το Πλάτος στο Βύθισμα Υποδιαίρεσης (Max. Moulded Breadth)
- Κατάστρωμα Στεγανών Φρακτών (Bulkhead Deck)

- Φρακτή Σύγκρουσης (Collision Bulkhead)
- Γραμμή Ορίου Βύθισης (Margin Line)

Τα αρχικά κριτήρια των προσδιοριστικών μεθόδων εξέταζαν μόνο την τελική κατάσταση ισορροπίας του πλοίου μετά τη βλάβη. Εν συνεχεία, αξιολογούσαν και την εναπομένουσα ευστάθεια του πλοίου μετά τη βλάβη, καθώς και τη συμπεριφορά του πλοίου στα ενδιάμεσα στάδια κατάκλυσης πριν την εξισορρόπηση, με αποτέλεσμα το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο επιβιωσιμότητας να αυξάνει με την πάροδο των χρόνων.



Διάγραμμα 2.1 Εξέλιξη των κριτηρίων ευστάθειας μετά από βλάβη, πηγή Paper: «Buoyancy, stability, and subdivision: from Archimedes to SOLAS 2009 and the way ahead»

Η κατάκλυση του καταστρώματος οχημάτων στα επιβατηγά – οχηματαγωγά οδηγεί σε μία μη επιβιώσιμη κατάσταση το πλοίο, γεγονός που δεν καλύπτεται ικανοποιητικά από τους προσδιοριστικούς κανονισμούς. Η εισαγωγή μίας μεθοδολογίας αξιολόγησης της επίδοσης του πλοίου ως προς την επιβιωσιμότητα ήταν αναγκαία ώστε να προσδιορίζεται η ικανότητα του πλοίου να επιβιώνει σε συγκεκριμένες καταστάσεις κατάκλυσης. Ο προσδιορισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω πειραμάτων σε δεξαμενή προτύπων και υπολογισμών προσομοίωσης.

Το εκάστοτε πλοίο χρειάζεται να έχει την απαιτούμενη άθικτη ευστάθεια ώστε, σε περιπτώσεις βλάβης, να έχει την ικανότητα να επιβιώνει μετά από κατάκλυση ενός ή περισσότερων διαμερισμάτων. Ο αριθμός των διαμερισμάτων καθορίζεται μέσω του συντελεστή υποδιαίρεσης F, ο οποίος ορίζεται ως εξής:

- $0.5 \leq F \leq 1$ : Το πλοίο έχει την ικανότητα να επιβιώσει μετά από κατάκλυση ενός οποιουδήποτε υδατοστεγούς διαμερίσματος
- $0.33 \leq F \leq 0.5$ : Το πλοίο έχει την ικανότητα να επιβιώσει μετά από κατάκλυση δύο οποιουδήποτε παρακείμενων υδατοστεγών διαμερισμάτων

Ο συντελεστής υποδιαίρεσης εξαρτάται από το μήκος του πλοίου και για ένα δεδομένο μήκος πλοίου από το κριτήριο υπηρεσίας  $C_S$ .

Επιπλέον, οι διαχωρητότητες όγκου των χώρων που κατακλύσθηκαν είναι σταθερές και εξαρτώνται από το είδος των χώρων.

Χώρος	Διαχωρητότητα
Αποθήκες	0.60
Ενδιαιτήσεις	0.95
Μηχανοστάσιο	0.85
Κενά	0.95
Υγρά	0 ή 0.95

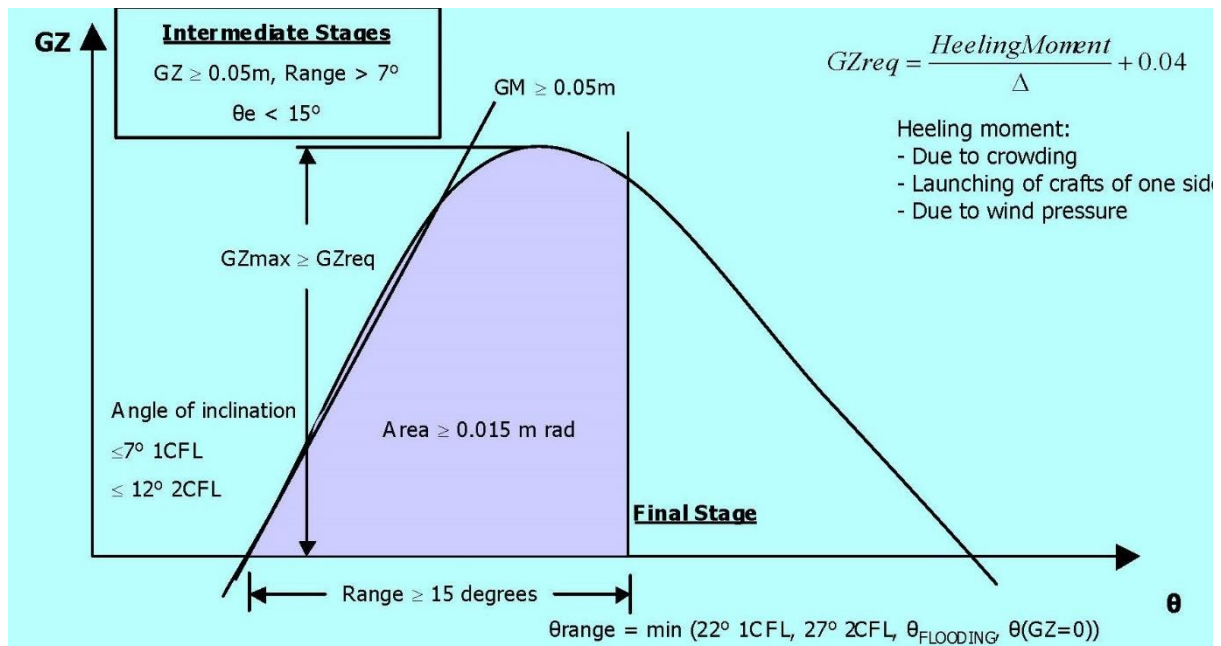
Πίνακας 2.1 Διαχωρητότητες

Επίπεδο Αναφοράς	Έκταση Βλάβης	
	0.3L από την πρωραία κάθετο	Σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου
Διαμήκης έκταση	$1/3L^{2/3}$ ή 14.5 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές	$1/3L^{2/3}$ ή 14.5 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές
Εγκάρσια έκταση	B/6 ή 10 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές	B/6 ή 5 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές
Κατακόρυφη έκταση	B/20 ή 2 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές	B/20 ή 2 m, η μικρότερη από τις δύο τιμές

Πίνακας 2.2 Έκταση βλάβης, πηγή Bureau Veritas

Το μέγεθος της υποθετικής βλάβης ορίζεται στον πιο πάνω πίνακα. Στην περίπτωση, όμως, που μία βλάβη με μικρότερη έκταση εντός των προκαθορισμένων ορίων, προκαλεί δυσμενέστερες συνθήκες από την άποψη εγκάρσιας κλίσης ή μείωσης μετακεντρικού ύψους, λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς η μικρότερης έκτασης βλάβη.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές για την έκταση βλάβης, το πλοίο πρέπει να ικανοποιεί προκαθορισμένα κριτήρια ευστάθειας σε κάθε εξεταζόμενη κατάσταση κατάκλυσης. Τα κριτήρια αυτά ορίζουν πεπερασμένες μέγιστες ή ελάχιστες τιμές των χαρακτηριστικών της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς GZ. Στο διάγραμμα 2.2 δίνονται τα κριτήρια ευστάθειας κατόπιν βλάβης των σημερινών κανονισμών, τα οποία αναφέρονται στη SOLAS 90.



Διάγραμμα 2.2 Κριτήρια ευστάθειας επιβατηγών πλοίων σύμφωνα με SOLAS 90, πηγή διαφάνειες μαθήματος «Μελέτη Πλοίου II»

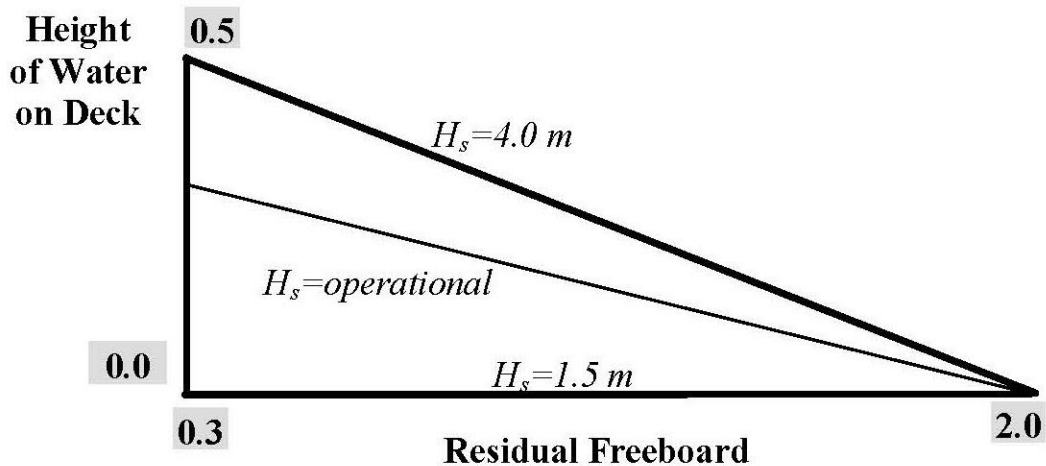
Τέλος, σύμφωνα με την SOLAS 95, τα επιβατηγά με μεταφορική ικανότητα άνω των 400 επιβατών πρέπει να συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές κατάκλυσης δύο διαμερισμάτων.

### 2.3.1.2 ΣΥΝΘΗΚΗ ΤΗΣ ΣΤΟΚΧΟΛΜΗΣ

Η πιο δυσμενής περίπτωση κατάκλυσης σε ένα Ro-Ro είναι η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού στο κατάστρωμα οχημάτων. Οι ενέργειες για να εξεταστεί το πρόβλημα «νερό στο κατάστρωμα» («water on deck») επιταχύνθηκαν, αμέσως μετά την τραγωδία του «Estonia». Η πολυπλοκότητα του προβλήματος και η ανάγκη καθυσύχασης του κοινού για την μη επανάληψη τέτοιων ατυχημάτων, επηρέασαν την τελική πρόταση του Panel of Experts.

Μετά από συσκέψεις και συζητήσεις, τα βορειοδυτικά κράτη της Ευρώπης συμφώνησαν στο τελικό κείμενο για τις νέες απαιτήσεις για ευστάθεια μετά από βλάβη στα Ro-Ro πλοία, συμφωνία γνωστή ως Συνθήκη της Στοκχόλμης.

Η συμφωνία ορίζει πως τα επιβατηγά – οχηματαγωγά πλοία χρειάζεται να πληρούν τα κριτήρια της SOLAS 90 και μίας ποσότητας νερού στο κατάστρωμα οχημάτων, η οποία είναι συνάρτηση του σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$ .



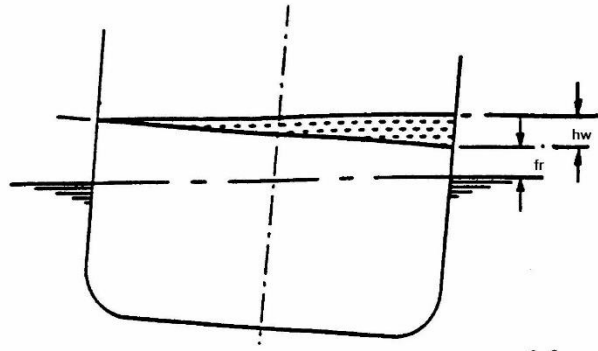
Διάγραμμα 2.3 Ύψος νερού στο κατάστρωμα

Για την δημιουργία των νέων απαιτήσεων λήφθηκαν υπόψιν τα παρακάτω στοιχεία:

- Σύμφωνα με την MSC, 99% όλων των καταγεγραμμένων συγκρούσεων έγιναν σε καταστάσεις θάλασσας με σημαντικό ύψος κύματος άνω των 4 m.
- Η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της SOLAS 90 ερμηνεύεται ως επιβίωση του πλοίου μετά από βλάβη σε καταστάσεις θάλασσας με σημαντικό ύψος κύματος 1.5 m, όπου σύμφωνα με στοιχεία της MSC αντιστοιχεί στο 89% των καταγεγραμμένων συγκρούσεων.
- Οι καταστάσεις θάλασσας με σημαντικό ύψος κύματος από 1.5 m μέχρι 4 m, θα καλύπτονται από τις επιπλέον απαιτήσεις για ευστάθεια μετά από βλάβη μέσω του «water on deck».
- Οι γενικές απαιτήσεις καλύπτουν όλες τις καταστάσεις θάλασσας, όπου σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα μπορούν να προκύψουν συγκρούσεις. Μείωση των απαιτήσεων δύναται να δοθεί σε πλοία που πλέουν σε ορισμένες γεωγραφικά περιοχές.

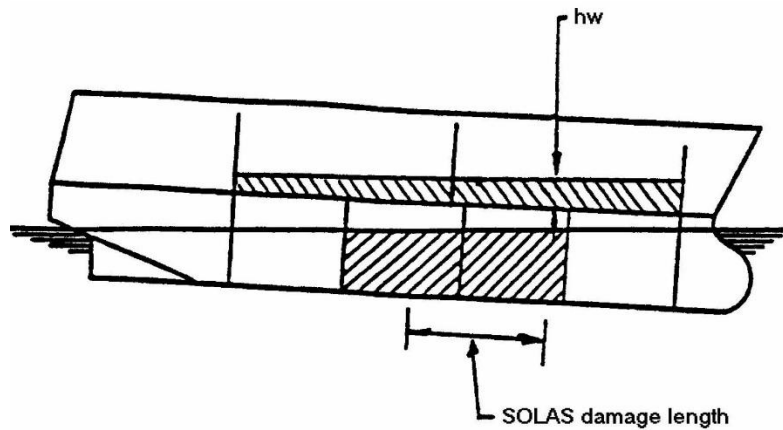
Το εναπομένον ύψος εξάλων παίζει καθοριστικό παράγοντα ως προς το καθορισμό της ποσότητας νερού στο κατάστρωμα. Το μέγιστο εναπομένον ύψος εξάλων έχει συμφωνηθεί στα 2.0 m βάση του Institute for Marine Dynamics και της SNAME. Το εναπομένον ύψος εξάλων ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση μεταξύ του καταστρώματος οχημάτων και της ισάλου στο σημείο της βλάβης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του νερού στο κατάστρωμα οχημάτων.



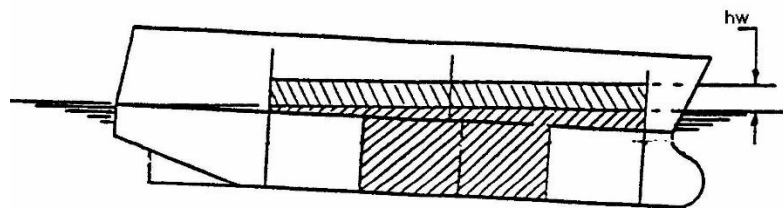


1. If  $f_r \geq 2.0$  metres, height of water on deck ( $h_w$ ) = 0.0 metres
2. If  $f_r \leq 0.3$  metres, height of water on deck ( $h_w$ ) = 0.5 metres

Σχήμα 2.1 Εναπομένον Ύψος εξάλων



Deck edge not immersed



Deck edge immersed

Σχήμα 2.2 Ύψος νερού στο κατάστρωμα

Για να συμμορφωθούν με τη Συνθήκη της Στοκχόλμης τα περισσότερα από τα υπάρχοντα πλοία πρέπει να υποστούν μετασκευές με κάποιο τρόπο. Ένας τρόπος είναι να μειωθεί το ποσό συσσωρευμένου ύδατος στο κατάστρωμα οχημάτων με την εγκατάσταση ενός ή περισσότερων κινητών εγκάρσιων φρακτών μέσα σε αυτό, ή αλλιώς να μειωθεί η πιθανή περιοχή του καταστρώματος, που πλημμυρίζει με νερό. Μία άλλη προσέγγιση είναι να προστεθούν πτερύγια στη γάστρα, ώστε να είναι σε θέση να έχει επαρκή ευστάθεια με το καθορισμένο ύψος νερού στο κατάστρωμα Ro-Ro. Μερικά πλοία έχουν επίσης καταστήσει τους χώρους δίπλα στο κατάστρωμα αυτοκινήτων υδατοστεγείς με την αλλαγή των κατασκευών στις πόρτες. Κάποια άλλα έχουν εγκριθεί επίσης, έχοντας τη δυνατότητα να γεμίσουν μία, ή περισσότερες δεξαμενές σε ειδικές περιπτώσεις ζημίας.

## 2.3.2 ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση της ευστάθειας μετά από βλάβη παρουσιάστηκε από τον Γερμανό καθηγητή Kurt Wendel στα τέλη του 1950. Ο Wendel είχε ως σκοπό να εισαγάγει μία πιο ορθολογιστική μέθοδο στην πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου σε περίπτωση βλάβης (σύγκρουση ή προσάραξη). Η νέα μέθοδος προσδιόριζε έναν συντελεστή ασφαλείας (safety factor), ο οποίος μπορούσε να ποσοτικοποιήσει τα διάφορα χαρακτηριστικά πλοίων διαφορετικού μεγέθους και τύπου. Το βασικό στοιχείο της πιθανοθεωρητικής μεθόδου είναι ο ολοκλήρωση πολλών διαφορετικών βλαβών στο πλοίο μέσα σε ένα πλαίσιο εκτίμησης ασφάλειας και ρίσκου.

Οι πιθανοθεωρητικές μέθοδοι καθορίζουν χαρακτηριστικούς δείκτες για το κάθε υπό μελέτη πλοίο. Ο πρώτος δείκτης ορίζεται ως Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης (Attained Subdivision Index) A, ο οποίος δίνει την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου μετά από βλάβη. Ο δεύτερος δείκτης καλείται Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης (Required Subdivision Index) R, ο οποίος ισούται την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του δείκτη A και παρουσιάζει ένα γενικά αποδεκτό επίπεδο επιβιωσιμότητας του υπό μελέτη πλοίου.

### 2.3.2.2 ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η πιθανοθεωρητική ανάλυση της επιβιωσιμότητας του πλοίου μετά τη βλάβη, στη γενική ολοκληρωτική της μορφή, βασίζεται στον καθορισμό τριών κύριων πιθανοτήτων:

$p_1$ , πιθανότητα του πλοίου να εμπλακεί σε ατύχημα

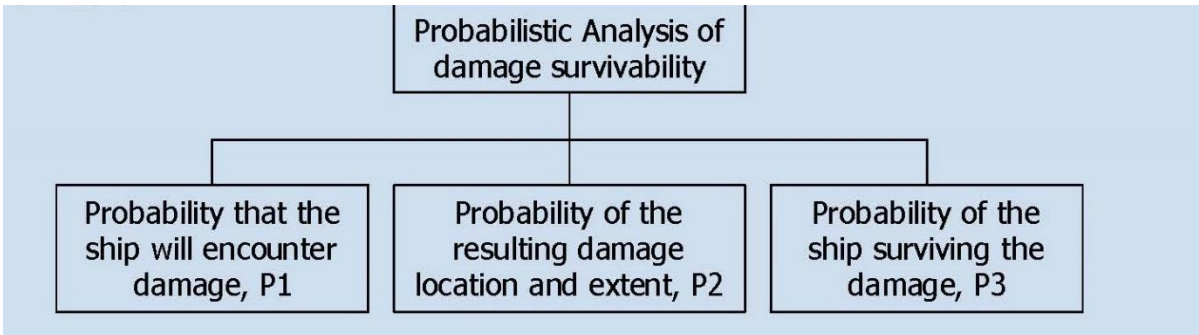
$p_2$ , πιθανότητα του ρήγματος να εκτείνεται σε μία περιοχή του πλοίου

$p_3$ , πιθανότητα του πλοίου να επιβιώσει με το συγκεκριμένο ρήγμα

Η πιθανότητα  $p_1$  σχετίζεται με το βαθμό ικανότητας του πλοίου, ως σύστημα λειτουργίας, να εμπλακεί σε οποιοδήποτε γεγονός που μπορεί να το οδηγήσει σε μία επικίνδυνη κατάσταση. Η αναγκαιότητα της αξιολόγησης της υποδιαίρεσης και κατ' επέκταση της επιβιωσιμότητας προέρχεται από τη γνώση ότι ο κίνδυνος είναι πάντα υπαρκτός και οδηγεί στη θεώρηση των πιθανοτήτων  $p_2$  και  $p_3$ .

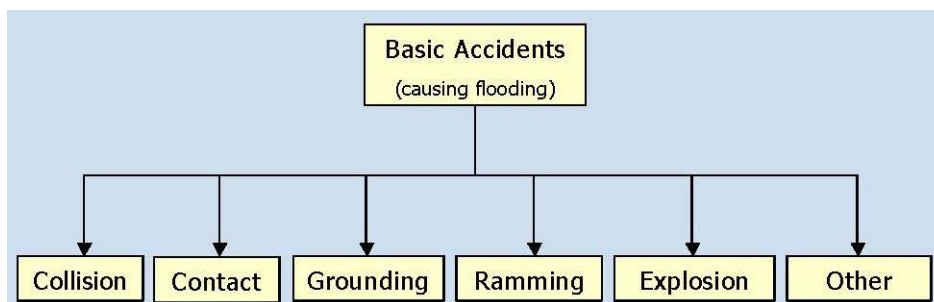
Η πιθανότητα  $p_2$  σχετίζεται με τη θέση και έκταση του επικείμενου ρήγματος στη γάστρα. Η πιθανότητα  $p_3$  εξαρτάται από την εναπομένουσα άντωση και ευστάθεια στην κατάσταση βλάβης και είναι συνάρτηση των ακόλουθων μεταβλητών παραμέτρων:

- Διάταξη υδατοστεγούς υποδιαίρεσης
- Διαπερατότητα – διαχωρητότητα των προς κατάκλυση χώρων
- Βύθισμα και ευστάθεια στην άθικτη κατάσταση πριν την κατάκλυση



Διάγραμμα 2.4 Πιθανοθεωρητική ανάλυση επιβιωσιμότητας, πηγή «Μελέτη Πλοίου II»

Τα βασικά ατυχήματα που οδηγούν σε κατάκλυση του πλοίου και συνεπώς πρέπει να εντάσσονται στο πιθανοθεωρητικό μοντέλο αξιολόγησης της ευστάθειας κατόπιν βλάβης, φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



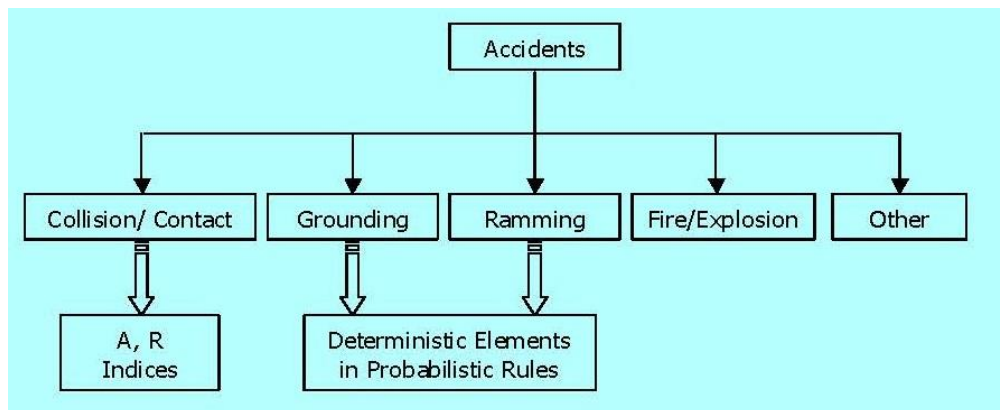
Διάγραμμα 2.5 Βασικά Ατυχήματα, πηγή «Μελέτη Πλοίου II»

### 2.3.2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Η μοντελοποίηση της πιθανοθεωρητικής μεθόδου εκτίμησης της επιβιωσιμότητας, όπως καθορίζεται στους κανονισμούς, αποκλίνει από τις βασικές αρχές ενός γενικευμένου μοντέλου.

Η πιθανότητα ενός πλοίου να εμπλακεί σε ατύχημα  $p_1$  δεν λαμβάνεται υπόψιν. Απλά εξετάζεται η πιθανότητα επιβίωσής του σε περίπτωση ατυχήματος, θεωρώντας μία πιθανοθεωρητική θέση και έκταση του επικείμενου ρήγματος, προερχόμενη από στατιστική ανάλυση ατυχημάτων.

Δεν εξετάζονται όλα τα δυνατά ενδεχόμενα που δυνητικά θέτουν το πλοίο σε κίνδυνο λόγω κατάκλυσης. Η επιβιωσιμότητα ισοδυναμεί με την επιβιωσιμότητα μετά από ρήγμα προερχόμενο από ατυχήματα συγκρούσεων, με την αιτιολογία ότι τα πλέον σοβαρά περιστατικά προέρχονται από το συγκεκριμένο είδος ατυχήματος. Δεδομένου ότι η λύση του προβλήματος μόνο μέσω της πιθανοθεωρητικής προσέγγισης καθιστά το πρόβλημα αρκετά περίπλοκο, εισάγονται μεμονωμένα προσδιοριστικά στοιχεία, ώστε να γίνει το μοντέλο πρακτικά εφαρμόσιμο.



Διάγραμμα 2.6 Διερεύνηση ατυχημάτων υπό την πιθανοθεωρητική μέθοδο, πηγή «Μελέτη Πλοίου II»

#### 2.3.2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η έκταση και η θέση της βλάβης θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές και μία βλάβη περιγράφεται από τη θέση του κέντρου της κατά το διάμηκες του πλοίου, την εισχώρηση της κατά το εγκάρσιο του πλοίου και την κατακόρυφη έκταση της. Τα χαρακτηριστικά της βλάβης συσχετίζονται με τους συντελεστές  $\rho$ ,  $r$ ,  $v$  που εμφανίζονται κατά τον υπολογισμό του δείκτη υποδιαίρεσης  $A$ .

Η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου, που εκφράζεται από το συντελεστή  $s_i$  είναι πιθανότητα το πλοίο να μην ανατραπεί και να μη βυθιστεί μετά από την αντίστοιχη κατάκλυση. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Το αρχικό βύθισμα και το μετακεντρικό ύψος GM
- Τη διαχωρητότητα των χώρων που κατακλύζονται
- Τις καιρικές συνθήκες τη στιγμή της βλάβης
- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πλοίου

Η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου μετά από βλάβη λόγω σύγκρουσης υποδηλώνεται με τον δείκτη  $A$ . Ο δείκτης  $A$  υπολογίζεται βάση διαφορετικών σεναρίων βλάβης, που καθορίζονται από την έκταση της βλάβης και τις καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου πριν την βλάβη. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο συντελεστής  $A$  είναι 1, ενώ δύο πλοία με τον ίδιο δείκτη  $A$  θεωρούνται το ίδιο ασφαλή. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο δείκτης  $A$

αναφέρεται μόνο σε βλάβες λόγω πλευρικής σύγκρουσης. Προστασία έναντι βλάβης στον πυθμένα του πλοίου, ή λόγω προσάραξης εξασφαλίζει το επαρκές ύψος διπυθμένου. Επίσης, προστασία έναντι βλάβης στο πρωραίο άκρο του πλοίου εξασφαλίζει η πρωραία φρακτή συγκρούσεως (collision bulkhead). Η θέση του διπυθμένου και της πρωραίας φρακτής καθορίζονται ντετερμινιστικά.

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

όπου  $s, p, l$  αντιπροσωπεύουν τις τρεις καταστάσεις φόρτωσης και 0.2, 0.4 οι συντελεστές βάρους κάθε κατάστασης φόρτωσης.

Οι τρεις καταστάσεις φόρτωσης αντιπροσωπεύονται από τα αντίστοιχα βυθίσματα  $d_s, d_p$  και  $d_l$  και από τα GM της κάθε μίας, όπου  
 $d_s$ : το βύθισμα στην subdivision condition  
 $d_p$ : το βύθισμα στην partial condition  
 $d_l$ : το βύθισμα στην lightest service condition

Το βύθισμα  $d_s$  αντιστοιχεί στο βύθισμα σχεδίασης, το βύθισμα  $d_l$  το ελάχιστο βύθισμα του πλοίου για το απαιτούμενο ελάχιστο GM. Στα επιβατηγά πλοία, είναι το βύθισμα στην arrival condition με 10% αναλώσιμα, το σύνολο των επιβατών και του πληρώματος και το αναγκαίο έρμα για μείωση της διαγωγής και καλύτερης ευστάθειας. Το βύθισμα  $d_p$  ορίζεται ως το βύθισμα στην lightest service condition συν το 60% της διαφοράς του βυθίσματος της subdivision από την lightest service condition, δηλαδή

$$d_p = d_l + 0.6 (d_s - d_l)$$

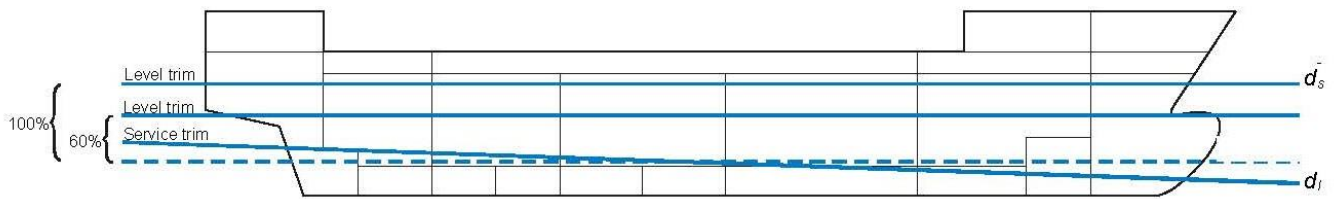
Για κάθε κατάσταση φόρτωσης ισχύει ότι

$$A_c = \sum_{i=1}^{i=t} p_i v_i s_i$$

όπου

- $c$ : μία από τις τρεις καταστάσεις φόρτωσης
- $i$ : η υπό εξέταση βλάβη ή ομάδες βλαβών
- $t$ : το σύνολο των σεναρίων βλάβης
- $p_i$ : η πιθανότητα ότι μόνο ο χώρος ή χώροι στη συγκεκριμένη διαμήκη θέση θα κατακλυσθούν. Ο συντελεστής  $p_i$  εμπεριέχει και το συντελεστή  $r_i$ , που σε περίπτωση ύπαρξης διαμήκους φρακτής εκφράζει την πιθανότητα μη κατάκλυσης των εσωτερικών διαμερισμάτων.
- $v_i$ : η πιθανότητα ότι ο χώρος πάνω από την οριζόντια υποδιαίρεση δεν θα κατακλυσθεί
- $s_i$ : η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου στην υπό εξέταση βλάβη

Σημειώνεται πως ο συντελεστής  $p_i$  εξαρτάται αποκλειστικά από την γεωμετρία της υδατοστεγής υποδιαίρεσης του πλοίου.



Σχήμα 2.3 Βυθίσματα  $d_s$ ,  $d_p$ ,  $d_l$

Ο συντελεστής  $v_i$  εξαρτάται από την κάθετη στεγανή υποδιαίρεση του πλοίου με καταστρώματα και από το βύθισμα στην αρχική άθικτη κατάσταση φόρτωσης.

Ο συντελεστής  $s_i$  εξαρτάται από την ευστάθεια του πλοίου μετά από βλάβη για τη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. Εκφράζει την πιθανότητα να επιβιώσει το πλοίο, δηλαδή να μην ανατραπεί και να μη βυθιστεί μετά από βλάβη. Για  $s=0$  το πλοίο χάνεται, ενώ για  $s=1$  το πλοίο έχει 100% πιθανότητα να επιβιώσει. Για ενδιάμεσες τιμές του συντελεστή, υπάρχει  $s$  πιθανότητα να επιβιώσει το πλοίο.

Ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης  $A$  συγκρίνεται με τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης  $R$ , ο οποίος ορίζεται ως

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2.5N_p + 15225}$$

όπου

$L_s$ : το μήκος υποδιαίρεσης

$N_p = N_1 + 2N_2$

$N_1$ : ο αριθμός των επιβαινόντων που διαθέτουν θέση στις σωστικές λέμβους

$N_2$ : ο αριθμός των επιβαινόντων που δεν έχουν θέση στις σωστικές λέμβους

Πρέπει να ισχύει

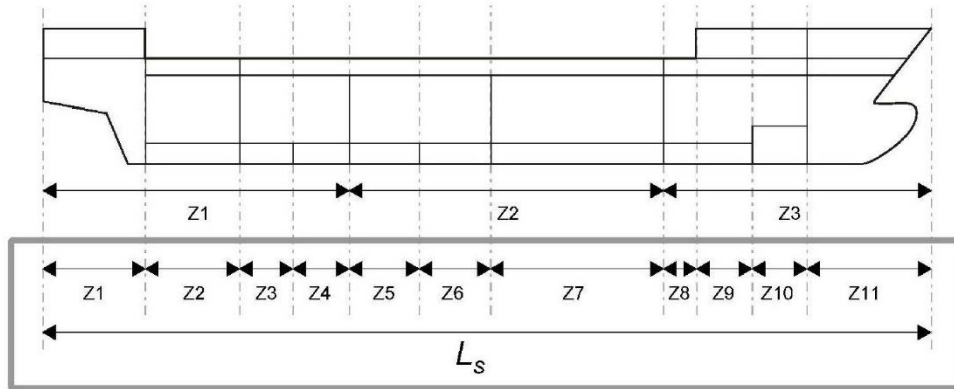
$$A \geq R$$

Για τον υπολογισμό των συντελεστών  $p_i$ ,  $v_i$ ,  $r_i$ ,  $b_i$  λαμβάνεται υπόψιν μόνο η ζημιά και για τον υπολογισμό του  $s_i$  λαμβάνεται υπόψιν ο κατακλυσμένος χώρος.

### Εγκάρσια Υποδιαίρεση

Για τον υπολογισμό του δείκτη  $A$  απαιτείται υποδιαίρεση του μήκους υποδιαίρεσης (subdivision length) του πλοίου σε διακριτές ζώνες ζημιάς (damage zones). Δεν υπάρχουν κανονισμοί για τον τρόπο υποδιαίρεσης του πλοίου και ούτε είναι αναγκαίο τα όρια των ζωνών να συμπίπτουν με τα φυσικά όρια της στεγανής υποδιαίρεσης. Γενικά, όσο πιο πολλές είναι οι ζώνες υποδιαίρεσης τόσο πιο μεγάλος θα είναι ο δείκτης  $A$ .

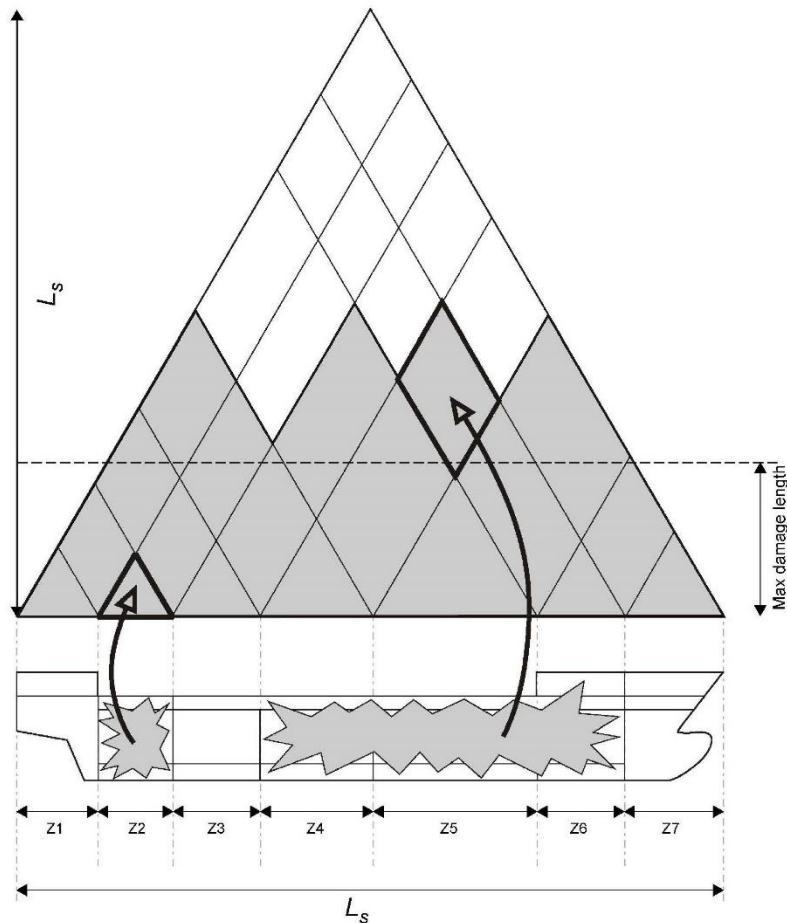
Για παράδειγμα, η υποδιαίρεση ενός πλοίου σε τρεις ζώνες πιθανώς θα έχει ως αποτέλεσμα σε μία ζώνη να υπάρχει χαμηλή πιθανότητα επιβίωσης (χαμηλός συντελεστής  $s_i$  ή ίσος με μηδέν). Στην περίπτωση όπου η δημιουργία των ζωνών γίνει με βάση την υδατοστεγή υποδιαίρεση και το διψύθμενο, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι δείκτες  $s_i$  να έχουν υψηλές τιμές.



Σχήμα 2.4 Δημιουργία Ζωνών

Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζονται οι πιθανές ζημιές ενός ή συνδυασμού ζωνών σε ένα πλοίο με υδατοστεγή υποδιαίρεση κατάλληλη για δημιουργία 7 ζωνών.

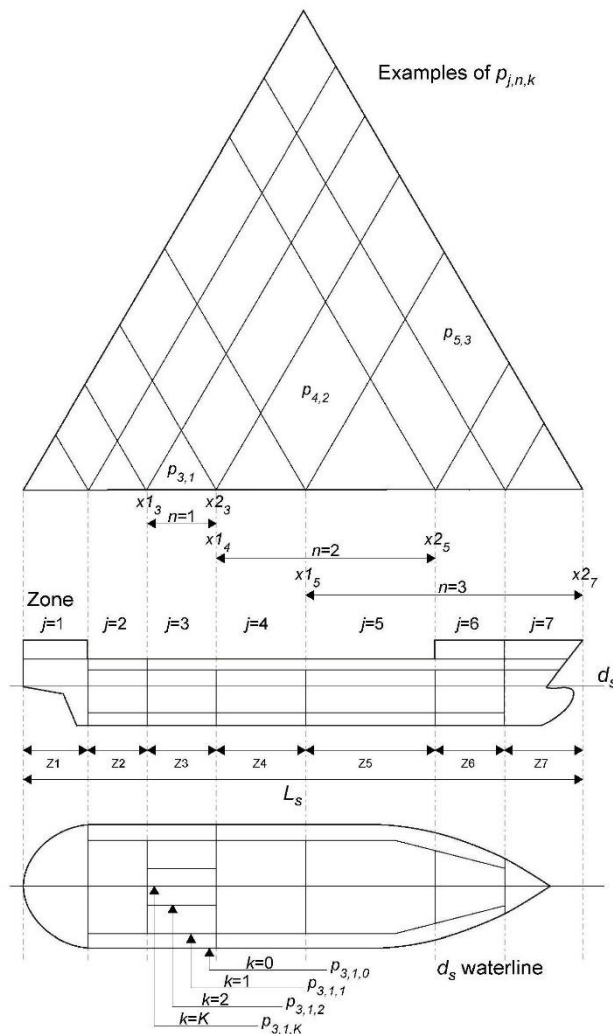
Τα τρίγωνα που βρίσκονται στον πυθμένα (bottom line) αναπαριστούν ζημιές μίας ζώνης και τα παραλληλόγραμμα ζημιές σε πάνω από μία παρακείμενες ζώνες. Για παράδειγμα, το τρίγωνο πάνω από την ζώνη 2 αναπαριστά τις ζημιές των χώρων μέσα σε αυτήν την ζώνη και το παραλληλόγραμμο πάνω από τις ζώνες 4, 5, 6 ότι οι χώροι μέσα σε αυτές τις ζώνες κατακλύσθηκαν ταυτόχρονα.



Σχήμα 2.5 Ζημιές σε μία ζώνη και σε συνδυασμό ζωνών

Καθώς ο συντελεστής  $p_i$  σχετίζεται με την υδατοστεγή υποδιαίρεση από τα διαμήκη όρια των ζωνών και κατά την εγκάρσια απόσταση του πλοίου με τις διαμήκους φρακτές μέσα στις ζώνες, τότε χρειάζεται να εισαχθούν οι ακόλουθοι δείκτες:

- $j$ : ο αριθμός της ζημίας στην κάθε ζώνη, ξεκινώντας από το 1 στην πρύμνη
- $n$ : ο αριθμός παρακείμενων ζωνών ζημίας που εξετάζονται, όπου το  $j$  είναι η πρυμναία ζώνη
- $k$ : ο αριθμός μιας διαμήκους φρακτής ως εμπόδιο στην εγκάρσια διείσδυση σε μία ζώνη ζημίας μετρημένη από το εξωτερικό περίβλημα προς την center line. Η το εξωτερικό περίβλημα είναι το 0.
- $K$ : ο συνολικός αριθμός των εγκάρσιων ορίων διείσδυσης
- $p_{j,n,k}$ : ο συντελεστής  $p$  για ζημιά στην ζώνη  $j$  και οι επόμενες πλώραθεν  $n-1$  ζώνες έχουν υποστεί ζημιά μέχρι το όριο  $k$



Σχήμα 2.6 Σχηματική απεικόνιση δεικτών  $j$ ,  $n$ ,  $k$ ,  $K$ ,  $p$



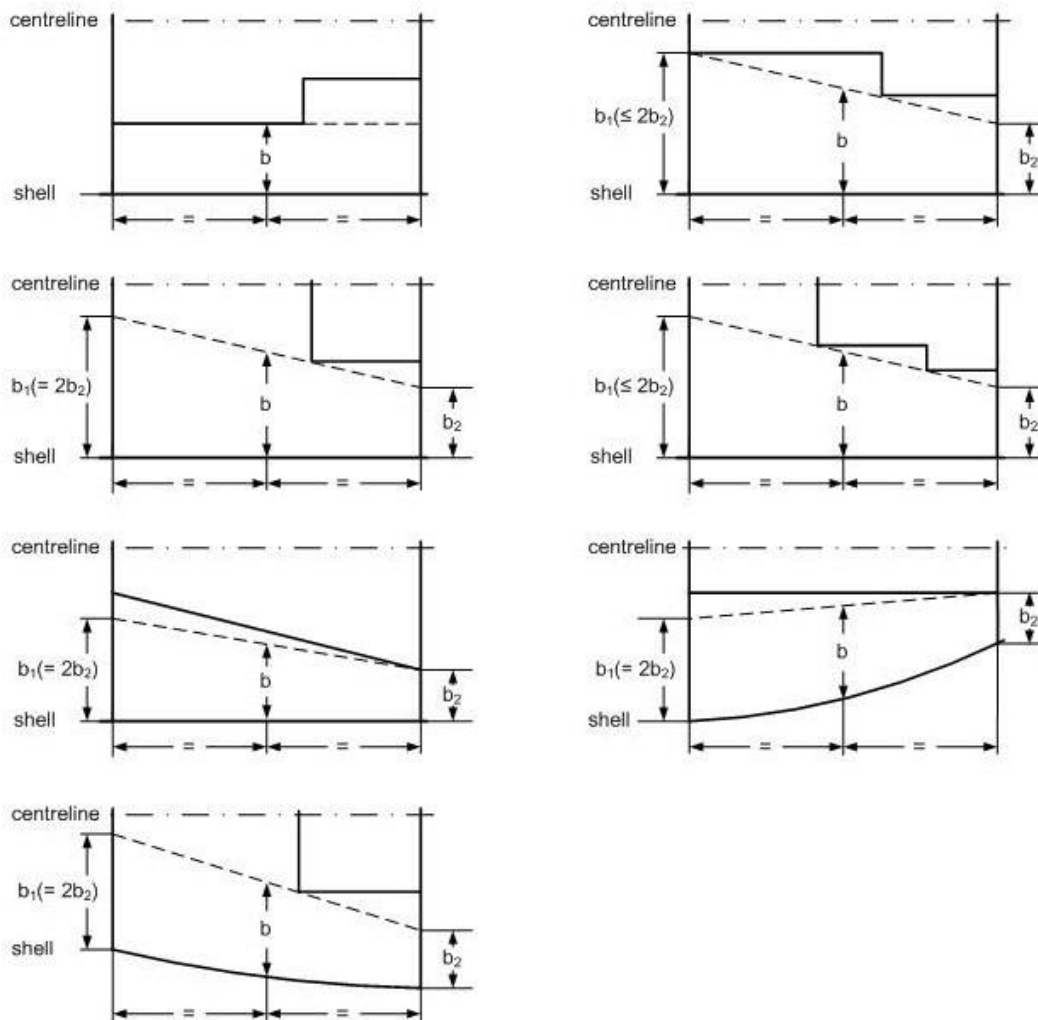
Υποδιαίρεση με διαμήκεις φρακτές

Μία βλάβη μπορεί να εκτείνεται κατά τη διεύθυνση του πλάτους του πλοίου από το εξωτερικό κέλυφος μέχρι τη centerline. Σε περίπτωση ύπαρξης διαμήκουσ φρακτής υπολογίζουμε το συντελεστή  $r$ , ο οποίος εκφράζει την πιθανότητα κατάκλισης μόνο των εξωτερικών διαμερισμάτων (wing compartments), ή ισοδύναμα εκφράζει την πιθανότητα μη κατάκλισης των εσωτερικών διαμερισμάτων (in board rooms).

Ο συντελεστής  $r$  εξαρτάται από την απόσταση  $b$  της διαμήκουσ φρακτής από το εξωτερικό κέλυφος. Η απόσταση αυτή μετριέται στο μέγιστο βύθισμα υπολογισμού  $d_s$  ως οριζόντια εγκάρσια απόσταση. Ο συντελεστής  $r$  παίρνει την τιμή 1, όταν η βλάβη εκτείνεται μέχρι τη centerline ( $b = B/2$ ) και γίνεται ίσος με μηδέν όταν  $b = 0$ , όπου  $B$  το μέγιστο πλάτος του πλοίου στο μέγιστο βύθισμα υπολογισμού.

Όπου η πραγματική υδατοστεγής φρακτή δεν είναι επίπεδο παράλληλο στο εξωτερικό κέλυφος, το  $b$  πρέπει να καθοριστεί με τη βοήθεια μιας υποτιθέμενης γραμμής, που διαιρεί τη ζώνη έως το εξωτερικό κέλυφος σε μία σχέση  $b_1/b_2$ , όπου  $1/2 \leq b_1/b_2 \leq 2$ .

Παραδείγματα τέτοιων υποτιθέμενων γραμμών παρουσιάζονται στην εικόνα 2.7. Κάθε στίκσο αντιπροσωπεύει μία ενιαία ζώνη ζημίας στο επίπεδο της ισάλου γραμμής  $d_s$  και η διαμήκουσ φρακτή αντιπροσωπεύει την πιο εξωτερική φρακτή κάτω από τα  $d_s+12.5$  m.



Σχήμα 2.7 Σχηματική απεικόνιση της διεϊσδυσης  $b$

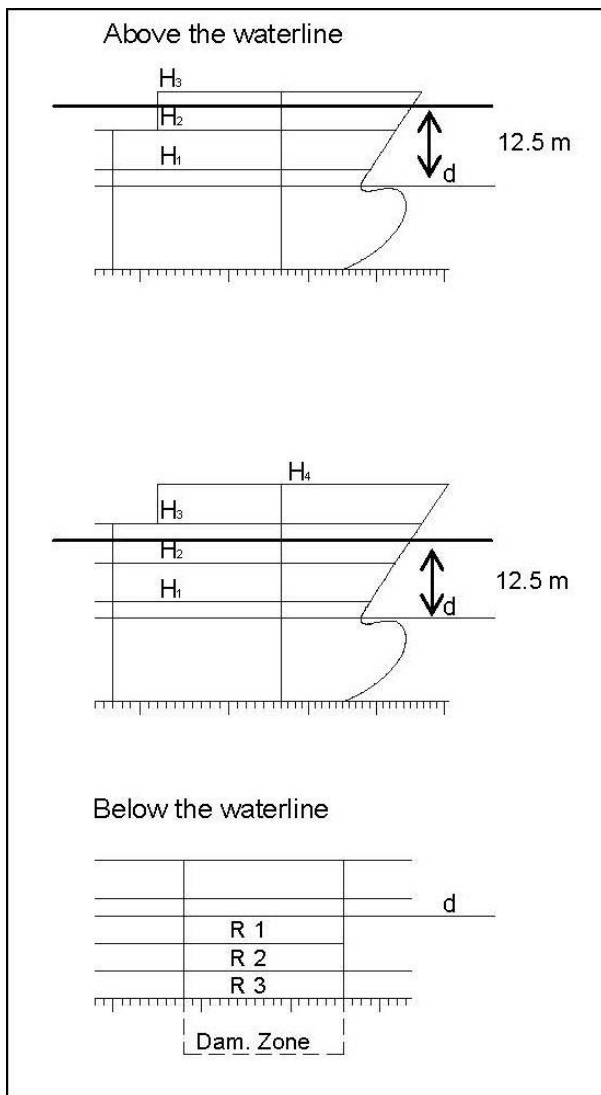
Υποδιαίρεση του πλοίου με στεγανά καταστρώματα

Στους κανονισμούς έχει συμπεριληφθεί ο συντελεστής  $v_i$ , ώστε να λαμβάνεται υπόψιν και η υποδιαίρεση του πλοίου με καταστρώματα.

Το ενδεχόμενο να μην κατακλυστεί ο χώρος πάνω από την κάθετη υποδιαίρεση εκφράζεται με την πιθανότητα  $v$  και αν  $s > 0$ , προκύπτει θετική συνεισφορά στο ηδείκτη υποδιαίρεση  $A$ , που σημαίνει ότι υπολογίζεται η προσαυξημένη ασφάλεια του πλοίου έναντι κατάκλυσης.

Στον κανονισμό λαμβάνονται ως όρια για τον καθορισμό του συντελεστή  $v$  μόνο όσα καταστρώματα βρίσκονται πάνω από την ίσαλο. Ωστόσο, τα καταστρώματα που βρίσκονται κάτω από την ίσαλο λαμβάνονται υπόψιν στον καθορισμό των πιθανών σεναρίων κατάκλυσης, από τα οποία προκύπτει το χειρότερο  $s$ , δηλαδή η μικρότερη τιμή για την πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου.

Το σχήμα 2.8 επεξηγεί τη σύνδεση μεταξύ της θέσης των υδατοστεγών καταστρωμάτων στην περιοχή εφεδρικής πλευστότητας και της χρήσης του παράγοντα  $\eta$  για τις ζημίες κάτω από αυτά τα καταστρώματα.



Το παράδειγμα δείχνει ότι η μέγιστη δυνατή κάθετη έκταση της ζημίας  $d+12.5\text{ m}$  τοποθετείται μεταξύ  $H_2$  και  $H_3$ .

$H_1$  με συντελεστή  $v_1$ ,  $H_2$  με συντελεστή  $v_2 > v_1$ , αλλά  $v_2 < 1$  και  $H_3$  με συντελεστή  $v_3 = 1$ .

Οι συντελεστές  $v_1$  και  $v_2$  είναι οι ίδιοι με ανωτέρω. Η εφεδρική πλευστότητα επάνω από  $H_3$  πρέπει να ληφθεί ως άθικτη σε όλα τα σενάρια ζημίας.

Ο συνδυασμός ζημιών στα δωμάτια R1, R2 και R3 σε θέση κάτω από την αρχική ίσαλο γραμμή πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε η ζημία με το χαμηλότερο  $s$  να λαμβάνεται υπόψιν. Εάν το κατάστρωμα που λαμβάνεται ως χαμηλότερο όριο της ζημίας δεν είναι υδατοστεγές, πρέπει να θεωρηθεί προοδευτική κατάκλυση.

Σχήμα 2.8 Σχέση στεγανών καταστρωμάτων με την εφεδρική πλευστότητα

### Ανοίγματα (Openings)

Τα ανοίγματα συνδέουν ένα ή δύο διαμερίσματα με το εξωτερικό περιβάλλον (θάλασσα, αέρας). Ένα άνοιγμα δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν εάν δύο συνδεδεμένα διαμερίσματα έχουν κατακλυσθεί ή όταν κανένα από τα δύο διαμερίσματα δεν κατακλύσθηκε. Επιπλέον, ένα άνοιγμα δεν λαμβάνεται υπόψιν εάν το συνδεδεμένο διαμέρισμα έχει κατακλυσθεί.

## 2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

Οι νέοι κανονισμοί και οι απαιτήσεις τους, επιδρούν σημαντικά στον σχεδιασμό και στα επιχειρησιακά χαρακτηριστικά των πλοίων, ιδιαίτερα των επιβατηγών – οχηματαγωγών.

Αναλύοντας τις δύο μεθόδους εκτίμησης ευστάθειας μετά από βλάβη, θα γίνει μία σύγκριση των βασικών τους χαρακτηριστικών.

- Η πιθανοθεωρητική προσέγγιση θεωρείται πιο επιστημονικά διατυπωμένη, αφού λαμβάνει υπόψιν δεδομένα από στατιστική ανάλυση ατυχημάτων, τα χαρακτηριστικά για διάφορες καταστάσεις θάλασσας, τη γεωγραφική θέση των δρομολογίων του υπό μελέτη πλοίου, την θέση και την έκταση της ζημιάς. Αντιθέτως, η ντετερμινιστική προσέγγιση βασίζεται σε ημι-εμπειρικές σχέσεις και σε παραδοχές που προέκυψαν από εμπειρία.
- Στην SOLAS 2009 η εγκάρσια διείσδυση της ζημιάς φθάνει το B/2 (μέσο του πλοίου), σε αντίθεση με την SOLAS 90 όπου η διείσδυση εκτείνεται μέχρι τα B/5.
- Στο ντετερμινιστικό μοντέλο, προσδιορίζεται αν το πλοίο πληροί τα κριτήρια στην δυσμενέστερη περίπτωση βλάβης, η οποία βρίσκεται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Για εκτενέστερες βλάβες, ο κανονισμός δεν κάνει κάποια περαιτέρω διερεύνηση. Το πιθανοθεωρητικό μοντέλο διερευνάει μεγαλύτερες εκτάσεις βλαβών.
- Με τους νέους κανονισμούς, υπάρχει η περίπτωση όπου ένας συνδυασμός βλάβης και αρχικής κατάστασης να δίνει μηδενική επιβιωσιμότητα, αλλά το πλοίο να πληροί τα κριτήρια λόγω τις άθροισης όλων των πιθανών καταστάσεων βλάβης που δίνουν τον δείκτη A. Στο ντετερμινιστικό μοντέλο, το πλοίο συμμορφώνεται με τους κανονισμούς όταν ικανοποιεί τις απαιτήσεις για συγκεκριμένη κατάσταση βλάβης και αρχικής κατάστασης.
- Σε περίπτωση ικανοποίησης των κριτηρίων της SOLAS 90, ο μελετητής πιθανώς να μην προβεί σε αλλαγές στην διαμερισματοποίηση του πλοίου που θα οδηγούσαν σε αυξημένο επίπεδο ασφάλειας. Από την άλλη μεριά, ο μελετητής μεταβάλλοντας την στεγανή υποδιαίρεση του πλοίου και λαμβάνοντας διαφορετικούς δείκτες A, θα μπορεί να επιλέξει το κατάλληλο επίπεδο ασφάλειας.

## 2.5 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Αδιαμφισβήτητα, οι απαιτήσεις των κανονισμών επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την σχεδίαση και λειτουργία των πλοίων. Λαμβάνοντας το υπόψιν, η εκτίμηση της ευστάθειας μετά από βλάβη θα είναι εύλογο να πραγματοποιείται στο αρχικό στάδιο της σχεδίασης. Η αναγκαιότητα της χρήσης ορθολογιστικής και ολοκληρωμένης πρότασης για την εκτίμηση ευστάθειας του πλοίου οδήγησε στην πιθανοθεωρητική προσέγγιση, η οποία βοήθησε τους μελετητές στην καλύτερη κατανόηση των διάφορων παραμέτρων που επιδρούν στην ευστάθεια του πλοίου.

Η εισαγωγή των νέων κανονισμών SOLAS 2009, θεωρείται από την επιστημονική κοινότητα ως βήμα προόδου για θέματα ασφάλειας στο πλοίο. Παρόλο αυτά, υπάρχουν ανησυχίες και προβληματισμός ως προς τον υπολογισμό της επιβιωσιμότητας των πλοίων, ειδικότερα των RoPax και των μεγάλων κρουαζιερόπλοιων. Επιπλέον, οι κανονισμοί εφαρμόζονται μόνο σε περίπτωση σύγκρουσης (collision), αγνοώντας ατυχήματα λόγω προσάραξης (grounding).

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα GOALDS, το οποίο αποτελείται από μέλη της ναυτιλιακής κοινότητας, ερευνητές, ακαδημαϊκούς και οργανισμούς ασχολείται με την διερεύνηση κρίσιμων ζητημάτων που αφορούν την ασφάλεια του πλοίου. Μερικά από αυτά τα θέματα είναι

- Βελτίωση της φόρμουλας υπολογισμού της πιθανότητας επιβίωσης των RoPax και των κρουαζιερόπλοιων μετά από βλάβη μέσω της χρήσης αριθμητικών προσομοιώσεων.
- Διενέργεια εκτενών πειραμάτων σε μοντέλα για διερεύνηση της αλλοίωσης της ευστάθειας του πλοίου μετά από βλάβη.
- Επεξεργασία στατιστικών δεδομένων και πιθανοθεωρητικών σχέσεων για τη θέση, το μήκος, το ύψος και την διείδυση της βλάβης.
- Δημιουργία ενός νέου πιθανοθεωρητικού μοντέλου εκτίμησης ευστάθειας μετά από βλάβη, λαμβάνοντας υπόψη βλάβες τόσο από σύγκρουση όσο και από προσάραξη.
- Εγκαθίδρυση ενός μοντέλου εκτίμησης ευστάθειας με βάση το ρίσκο.
- Διερεύνηση του αντίκτυπου της νέας προτεινόμενης φόρμουλας εκτίμησης ευστάθειας μετά από βλάβη στον σχεδιασμό και στις λειτουργίες των RoPax και των κρουαζιερόπλοιων (Case Studies).
- Υποβολή των νέων προτάσεων στον IMO

Τέλος το 2010 αναπτύχθηκε το ερευνητικό έργο EMSA, το οποίο είχε ως στόχο την ανάπτυξη και παροχή των απαραίτητων τεχνικών στοιχείων για τη σύνταξη προτάσεων και οδηγιών από την επιτροπή ασφαλείας της ναυσιπλοΐας της ΕΕ για την προσαρμογή των απαιτήσεων της συνθήκης της Στοκχόλμης στον κανονισμό της SOLAS 2009 για τη ευστάθεια κατόπιν βλάβης επιβατηγών – οχηματαγωγών πλοίων.

Συνοψίζοντας για την παρούσα κατάσταση, παρατηρείται πως κερδίζει ολοένα έδαφος η άποψη ότι τα διεθνή σώματα που δημιουργήθηκαν για να επιβάλλουν βιομηχανικά πρότυπα και κανονισμούς ασφάλειας –όπως ο IMO και ο ILO- δεν πέτυχαν αρκετά στο να ικανοποιήσουν αυτούς τους στόχους. Αυτό δεν πρέπει να μας εκπλήσσει καθόσον οι

κανονισμοί δεν μπορούν να θέσουν τη βάση ποιότητας χωρίς υδατοστεγή επιβολή τη στιγμή που είναι δυνατόν να αποκτώνται οικονομικά πλεονεκτήματα από τη μη συμμόρφωση. Η αποτελεσματική επιβολή δεν επιτεύχθηκε για δεκαετίες εξαιτίας των αντικρουόμενων συμφερόντων των κρατών μελών. Παρόλο ότι τα μέτρα διασφάλισαν σε μεγάλο βαθμό μια περαιτέρω πτώση της ποιότητας του στόλου, η παρούσα κατάσταση ασφάλειας της ναυτιλιακής βιομηχανίας παραμένει προβληματική. Το κυριότερο πρόβλημα της υποβαθμισμένης ναυτιλίας δεν βρίσκεται στο ότι κάποια πλοία δεν συμμορφώνονται με τους κανονισμούς ασφάλειας, αλλά περισσότερο εντοπίζεται στη διαθεσιμότητα οικονομικών πλεονεκτημάτων που αποκτώνται από τη μη-συμμόρφωση. Οι κανόνες του IMO και του ILO δεν κατευθύνονται προς αυτές τις οικονομικές ρίζες του προβλήματος, αλλά απλά κατευθύνονται στα αποτελέσματα που πηγάζουν από το περιβάλλον και τα συμπτώματά τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΙΣΚΟΥ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διαχείριση ρίσκου (Risk Management) έπαιζε πάντα πρωτεύοντα ρόλο στον σχεδιασμό ενός πλοίου. Όρος ρίσκο προέρχεται από την λατινική λέξη «resesum», η οποία σε ελεύθερη μετάφραση ερμηνεύεται ως «κίνδυνος στην θάλασσα». Οι μελετητές δουλεύουν για να μειώσουν το ρίσκο στην θάλασσα εδώ και χιλιάδες χρόνια, προτείνοντας διάφορους επαναστατικούς και καινοτόμους σχεδιασμούς κάθε φορά. Παρόλο αυτά, η πρόβλεψη των κινδύνων στη θάλασσα παραμένει μία ενδιαφέρον πρόκληση.

Η εξέλιξη του σχεδιασμού των πλοίων θα μπορούσε να περιγραφεί ως συνδυασμός της σταδιακής βελτίωσης και της απότομης αλλαγής. Αρχικά, το ξύλο είχε κυριαρχήσει ως πρωτεύον υλικό κατασκευής πάνω στο πλοίο. Έπειτα, εισήχθη ο χάλυβας στην κατασκευή. Καθώς η πρόωση με χρήση πανιών έφθασε στο απόγειο της, ήρθε η εναλλακτική λύση της χρήσης ατμού. Κάθε μία από αυτές τις αλλαγές έφερε στο προσκήνιο νέους κινδύνους προς αντιμετώπιση και μία εξ ολοκλήρου νέα μεθοδολογία σχεδιασμού.

Διαχείριση ρίσκου σημαίνει σημαντικά έξοδα στο σήμερα, για μία αβέβαιη ανταπόδοση στο αύριο. Μέτρα διαχείρισης ρίσκου πιθανώς να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση του πλοίου, όπως αύξηση του βάρους, μειωμένη προσβασιμότητα, αυξημένα βάρη για το πλήρωμα. Τα μέτρα αυτά είναι δύσκολο να αναλυθούν, να δικαιολογηθούν και να βελτιστοποιηθούν με βάση τη σχέση κόστους – οφέλους (cost – benefit basis). Το μόνο βέβαιο στη διαχείριση ρίσκου είναι ότι δεν είναι οικονομικά αποδοτικό να κατασκευαστεί ένα πλοίο με συστατικά μέρη που διαφέρουν σε επίπεδο σε κινδύνου, γιατί το αποτέλεσμα θα είναι ένα πλοίο τόσο ισχυρό όσο ο πιο αδύναμος κρίκος του. Οι μελετητές - σχεδιαστές χρειάζονται ένα εργαλείο για την εξισορρόπηση και τη διαχείριση των κινδύνων.

### 3.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΡΙΣΚΟΥ

Τα πλοία, ιδιαίτερα τα πολεμικά πλοία, αντιμετωπίζουν πολλούς αναπόφευκτους κινδύνους, ακόμη και στην καλύτερη συνθήκη λειτουργίας τους. Η ανθεκτικότητα είναι ενσωματωμένη σε κάθε αξιόπλοο σχεδιασμό, η οποία στις περισσότερες των περιπτώσεων προήλθε από χρόνια εμπειρίας και ναυτοσύνης. Οι μελετητές – σχεδιαστές γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά του πλοίου που άντεξαν στην δοκιμασία του χρόνου και το ρίσκο προσδιορίστηκε μέσα από την παρατήρηση της υπηρεσίας του πλοίου.

Μέχρι σήμερα η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα αντιμετώπισε τον θαλάσσιο κίνδυνο μέσω της συμμόρφωσης των πλοίων με τους εκάστοτε υφιστάμενους κανονισμούς. Βάση επιστημονικής ανάλυσης και εμπειρίας, τα κανονιστικά πρότυπα θεωρούνται ως αποδεκτό επίπεδο ρίσκου για τα πλοία. Υπάρχουν όμως τρεις κύριοι προβληματισμοί σε σχέση με αυτά τα κανονιστικά πρότυπα. Αρχικά, οδηγούν σε μία πολιτική συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, εξισώνοντας την συμμόρφωση με την ασφάλεια του πλοίου, χωρίς να απαντούν άμεσα αν το πλοίο είναι στα αλήθεια ασφαλές. Δεύτερον, κάθε κανονισμός έχει

ενσωματωμένο ένα αποδεκτά επίπεδο ρίσκου που πιθανώς να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση ή υποδιαστασιολόγηση στοιχείων μέσα στο περίπλοκο σύστημα του πλοίου. Τρίτον, τα κανονιστικά πρότυπα συνήθως εμποδίζουν την καινοτομία και αυξάνουν αδικαιολόγητα το κόστος σχεδιασμού και κατασκευής.

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ

Ως ρίσκο εννοείται η πιθανότητα και οι συνέπειες ανεπιθύμητων γεγονότων που επηρεάζουν την επιχειρησιακή ικανότητα του πλοίου και μπορούν να αντιμετωπιστούν με κατάλληλο σχεδιασμό. Ο στόχος της διαχείρισης ρίσκου δεν είναι η πλήρης εξάλειψη του ρίσκου, πράγμα αδύνατο για κάθε πλοίο, ούτε σε όλες τις περιπτώσεις η ελαχιστοποίηση του. Στόχος της διαχείρισης ρίσκου είναι η μέτρηση, ο έλεγχος και εγκαθίδρυση αποδεκτών επιπέδων ρίσκου.

Η διαχείριση ρίσκου πολύπλοκων συστημάτων είναι μία εξελισσόμενο πεδίο με αρκετές επιτυχίες σε διάφορες εφαρμογές. Με την ευρύτερη έννοια, υπάρχουν δύο μέθοδοι προσέγγισης της διαχείρισης ρίσκου: η bottom-up (διαδικασία που ξεκινά από το κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας και ανεβαίνει προς ανώτερα επίπεδα) και η top-down (σειρά από ενέργειες που ξεκινούν από τα υψηλότερα ιεραρχικά επίπεδα). Ένα παράδειγμα προσέγγισης bottom-up είναι η ανάλυση του ρίσκου μέσω δέντρου αιτιών (fault tree analysis). Η ανάλυση αρχίζει με το απλούστερο συστατικό του συστήματος, αναλύει τους τρόπους αστοχίας και τις πιθανότητες πραγματοποίησής τους. Στη συνέχεια, η διαδικασία περνάει στο επόμενο επίπεδο και γίνεται ξανά η ανάλυση όπως πιο πάνω. Όταν αναλυθεί ένα ολόκληρο σύστημα, η πιθανότητα ύπαρξης μίας συγκεκριμένης αστοχίας μπορεί να προσδιοριστεί. Με αυτόν τον τρόπο, οποιοδήποτε σύστημα μπορεί να αναλυθεί και να μοντελοποιηθεί πλήρως, τουλάχιστον στην θεωρία.

Η χρήση της μεθόδου bottom-up έχει περιοριστικά όρια στην εφαρμογή της στα πλοία, λόγω της πολυπλοκότητας και της αλληλεπίδρασης των συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση είναι ίσως ο καλύτερος τρόπος εξέτασης μικρών συστημάτων, με περιορισμένες μεταβλητές, αλλά χάνει την αποτελεσματικότητά του όταν εφαρμόζεται σε μεγάλο και πολύπλοκο σύστημα.

Η top-down προσέγγιση, από την άλλη, είναι κατάλληλη στο συνολικό σχεδιασμό του συστήματος του πλοίου. Αρχικά, το σύστημα εξετάζεται ως σύνολο και στη συνέχεια διασπάται σε μικρότερα υποσυστήματα έως ότου προκύψει ρίσκο που χρειάζεται διαχείριση. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται συνεχώς οι κίνδυνοι και καταλήγουμε σε αποδεκτό επίπεδο ρίσκου. Αυτό το επίπεδο, θα βοηθήσει με τη σειρά του στην λήψη των κατάλληλων αποφάσεων κόστους-οφέλους, δεδομένου ότι έρευνες έδειξαν πως το κόστος και το ρίσκο συνδέονται στενά μεταξύ τους. Μία υπερσχεδιασμένη χαμηλού ρίσκου κατασκευή μπορεί να μην ωφελήσει το όλο σύστημα, αυξάνοντας αφετέρου το κόστος κτήσης της. Από την άλλη, μία κατασκευή υψηλού ρίσκου θα εκθέσει ένα ολόκληρο σύστημα σε πιθανούς κινδύνους. Για αυτόν τον λόγο, το ρίσκο πρέπει να «εξομαλυνθεί» σε όλο το σχεδιασμό του συστήματος του πλοίου.

Η εφαρμογή της μεθόδου top-down στον σχεδιασμό του πλοίου θα βοηθήσει στην παραγωγή πλοίων κατάλληλα σχεδιασμένων να αντιμετωπίσουν διάφορους κινδύνους κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας τους. Η μέθοδος χρειάζεται να είναι αποτελεσματική σε ένα περιβάλλον πολύπλοκων συστημάτων, με πολλές μεταβλητές και πολλαπλούς κινδύνους όπως το περιβάλλον που «ζουν» τα πλοία. Η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα έχει αναπτύξει ένα τέτοιο πρότυπο εκτίμησης ασφάλειας, το επονομαζόμενο FSA (Formal Safety Assessment). Χρησιμοποιώντας το FSA κατά την αξιολόγηση του αρχικού σχεδιασμού, θα διευκολυνθεί μετέπειτα η εφαρμογή των κατασκευαστικών προτύπων στον κύκλο σχεδιασμού.

### 3.4 FSA

Το FSA είναι μια ορθολογική και συστηματική διαδικασία για την εκτίμηση των θαλάσσιων κινδύνων και αξιολόγηση του κόστους και του οφέλους της μείωσης αυτών των κινδύνων. Η κινητοποίηση της ναυτιλιακής κοινότητας για την ανάπτυξη ενός μοντέλου ασφάλειας έναντι του ρίσκου έγινε δυστυχώς μετά από ένα τραγικό ατύχημα. Το 1988, στην πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου PIPER ALPHA, 167 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους. Οι έρευνες του ατυχήματος έδειξαν πως η ασφάλεια στην ναυτιλία δεν ήταν επαρκής ενσωματωμένη στον σχεδιασμό των κατασκευών και η συμμόρφωση με κανονιστικά πρότυπα δεν αντιμετώπιζε τους πραγματικούς κινδύνους. Το 1992, η Βουλή των Λόρδων στο Λονδίνο, ανέθεσε σε ειδικούς την εκπόνηση μελέτης για την ασφάλεια των πλοίων. Το συμπέρασμα της μελέτης ήταν πως οι σύγχρονες μεθοδολογίες εκτίμησης ασφάλειας δεν είχαν τεθεί σε εφαρμογή στην ναυτιλία. Επίσης, μέσα στην υποβληθείσα έκθεση (Carver report) περιγράφεται ένα καθεστώς ναυτιλιακής ασφάλειας που αποτελείται από γενικούς στόχους, η οποία επιτυγχάνεται μέσω μηχανικής ανάλυσης και ανάλυσης κόστους-οφέλους. Η βρετανική κυβέρνηση ισχυρίστηκε πως αυτή η μέθοδος πρέπει να γίνει γνωστή σε διεθνές επίπεδο μέσω του IMO. Τελικά, το 1999, οι Βρετανοί πρότειναν στον IMO το FSA ως η μεθοδολογία θέσπισης κανόνων για την εξέταση και εξισορρόπηση ρίσκου, κόστους και οφέλους.

Το FSA περιλαμβάνει τα εξής 5 βήματα:

- Προσδιορισμός Κινδύνων (Hazards Identification)
- Ανάλυση Ρίσκου (Risk Analysis)
- Επιλογές Ελέγχου Ρίσκου (Risk Control Options)
- Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis)
- Προτάσεις για Λήψη Αποφάσεων (Recommendations for Decision Making)

Τα 5 αυτά βήματα αντιπροσωπεύουν μία top-down διαδικασία διαχείρισης ρίσκου για εφαρμογή στην ναυτιλία. Το FSA έχει υιοθετηθεί από τους μεγαλύτερους Νηογνώμονες, οι οποίοι με την σειρά τους αναπτύσσουν κανόνες για την εφαρμογή του. Θα ακολουθήσει μία παρουσίαση αυτών των 5 βημάτων.



### 3.4.1 ΒΗΜΑ 1: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Το βήμα αυτό είναι γνωστό και ως HAZID (Hazard Identification). Στόχοι του βήματος είναι ο προσδιορισμός όλων των πιθανών επικίνδυνων σεναρίων που μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές συνέπειες και να ταξινομηθούν σε μία σειρά προτεραιότητα βάση με το επίπεδο ρίσκου.

Ο πρώτος στόχος θα μπορούσε να ικανοποιηθεί με ένα συνδυασμό αναλυτικών και δημιουργικών ασκήσεων που θα στόχευαν στον εντοπισμό όλων των πιθανών κινδύνων. Η διαδικασία πρέπει να είναι προληπτική και να μην λαμβάνει στα υπόψιν μόνο τους κινδύνους που υπήρξαν στο παρελθόν. Έχει παρατηρηθεί πως στις περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα ατυχημάτων μέσω βάσης δεδομένων. Σημαντικό μειονέκτημα, όπως το έχει αντιληφθεί και ο IMO, είναι πως αυτή η φιλοσοφία δεν είναι προληπτική και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε νέους σχεδιασμούς, ούτε μπορεί να μετρήσει την επίδραση των νέων RCOs (Risk Control Options).

Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε απλές μελέτες FSA, ιστορικά δεδομένα ως προς την έκταση των ατυχημάτων και στον ορθό προσδιορισμό των αιτιών των ατυχημάτων. Ως εναλλακτική λύση, συνιστάται η δημιουργία πιθανοθεωρητικής μοντελοποίησης των βλαβών και η ανάπτυξη σεναρίων ατυχημάτων. Η εν λόγω μοντελοποίηση προτείνεται από τον IMO σε διάφορες μεθοδολογίες, όπως δέντρα σφαλμάτων (fault trees), δέντρα αιτιών (cause trees), διαγράμματα επιρροής (influence diagrams), Ανάλυση Ανθρώπινης Αξιοπιστίας (Human Reliability Analysis) και Human Element Analyzing Process.

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η ταξινόμηση των κινδύνων μέσω ενός πίνακα ρίσκου. Κάθε κίνδυνος κατανέμεται σε μία κατηγορία συχνότητας και συνέπειας και ο πίνακας ρίσκου αξιολογεί το ρίσκο που σχετίζεται με τον συγκεκριμένο κίνδυνο.

FI	Frequency	Definition	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships	$10^{-3}$
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5,000 ships	$10^{-5}$

Πίνακας 3.1 Ορισμός Συχνοτήτων

SI	Severity	Effects on Human Safety	Effects on Ship	S (eq. fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Πίνακας 3.2 Ορισμός Σοβαρότητας Ατυχήματος

Αναλυτικότερα, ο IMO εισήγαγε έναν 7x4 πίνακα ρίσκου. Για την διευκόλυνση της κατάταξης και της επικύρωσης της κατάταξης, οι δείκτες συνέπειας και συχνότητας ορίζονται σε λογαριθμική κλίμακα, όπως δείχνει ο πίνακας 3.1. Ο δείκτης του ρίσκου υπολογίζεται αθροίζοντας τους δείκτες της συνέπειας και της συχνότητας.

$$Risk = Probability \times Consequence$$

$$Log(Risk) = Log(Probability) + Log(Consequence)$$

Ο τελικός δείκτης ρίσκου υπολογίζεται ως

$$Risk Index = Frequency Index + Severity Index$$

Συνδυάζοντας όλους τους δείκτες συχνότητας και σοβαρότητας, κατασκευάζεται ο πίνακας ρίσκου.

FI	Frequency	Severity			
		1 Minor	2 Significant	3 Severe	4 Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably Probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely Remote	2	3	4	5

Πίνακας 3.3 Πίνακας Ρίσκου

### 3.4.2 ΒΗΜΑ 2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΙΣΚΟΥ

Σκοπός αυτού του βήματος είναι λεπτομερής διερεύνηση των αιτιών και συνεπειών των πιο σημαντικών σεναρίων, τα οποία εντοπίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, προκειμένου να επικεντρωθούμε στις περιοχές υψηλού ρίσκου. Η εκτίμηση του ρίσκου αρχίζει με την εκτίμηση της συχνότητας του κινδύνου. Αυτή η συχνότητα ορίζεται ως

$$F = \frac{\text{No. of Casualties}}{\text{Shipyears}}$$

Επιπλέον, οι περισσότερες FSA που υποβάλλονται στον IMO, για σκοπούς ποσοτικοποίησης χρησιμοποιούν τον όρο Πιθανή Απώλεια Ζωής (Potential Loss of Life-PLL), ο οποίος σύμφωνα με τις οδηγίες είναι

$$PLL = \frac{\text{No. of Fatalities}}{\text{Shipyears}}$$

Όπως φαίνεται από τις πιο πάνω σχέσεις, υπάρχει ουσιαστική σχέση αυτού του βήματος με το προηγούμενο βήμα. Η πιθανή πηγή όλων των λαθών σε αυτό το βήμα είναι πως οι περισσότερες μελέτες αποφεύγουν τα πιθανοθεωρητικά μοντέλα και χρησιμοποιούν δεδομένα βάση ιστορικών στοιχείων. Επιπλέον, οι συνέπειες μπορεί να ποικίλουν από απώλεια πλοίου σε απώλεια ανθρώπινων ζώων ή επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον.

### 3.4.3 ΒΗΜΑ 3: RISK CONTROL OPTIONS

Σύμφωνα με τις οδηγίες του FSA, αυτό το βήμα έχει ως στόχο να προτείνει αποτελεσματικά και πρακτικά RCOs, συμπεριλαμβάνοντας τα ακόλουθα 4 στάδια:

- Εστίαση σε περιοχές ρίσκου που χρειάζονται διαχείριση
- Προσδιορισμός πιθανών μέτρων ελέγχου ρίσκου (Potential Risk Control Measures - RCMs)
- Αξιολόγηση της αποδοτικότητας των RCMs στην μείωση του ρίσκου, μέσω της επαναξιολόγησης του βήματος 2
- Ομαδοποίηση των RCMs σε πρακτικές κανονιστικές επιλογές

Τα RCMs συνδυάζονται σε RCOs. Τα κριτήρια ομαδοποίησης μπορεί να διαφέρουν, όπως μπορεί να είναι απόφαση εμπειρογνομώνων ή από το γεγονός ότι συγκεκριμένο RCM αποτρέπει την αστοχία ενός μηχανήματος ή συστήματος.

Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι ένας κατάλογος RCOs ο οποίος αναλύεται στο επόμενο βήμα ως προς το κόστος και το όφελος της αποτελεσματικότητάς τους. Τα RCOs που αναλύονται είναι αυτά που είτε θα μειώσουν το ρίσκο σε αποδεκτά επίπεδα είτε θα δώσουν ένα υψηλό ποσοστό μείωσης του ρίσκου. Για αυτόν τον λόγο, στο επόμενο βήμα εκτιμάται η μείωση ρίσκου (Risk Reduction – ΔR) για κάθε RCO.

#### 3.4.4 ΒΗΜΑ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ-ΟΦΕΛΟΥΣ

Το βήμα αυτό είναι σημαντικό γιατί όλες οι αρχικές ποιοτικές εκτιμήσεις καταλήγουν σε αυτό το βήμα. Περιλαμβάνει αρκετές υποθέσεις σε ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο εξαγωγής λανθασμένων ή χειραγωγημένων συμπερασμάτων, σε περίπτωση μη δικαιολογημένων υποθέσεων. Σκοπός του βήματος είναι να εντοπισθούν και να συγκριθούν το κόστος και τα οφέλη που συνδέονται σε κάθε RCO. Γίνεται μία ποσοτική προσέγγιση για την εκτίμηση και σύγκριση της αποτελεσματικότητας του κόστους κάθε επιλογής RCO σε όρους κόστους ανά μονάδες μείωσης κινδύνου.

Γενικά, το κόστος αποτελείται από την αρχική επένδυση και τα έξοδα λειτουργίας ενός RCO. Το όφελος είναι πιο σύνθετος όρος, καθώς περιλαμβάνει μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων, οφέλη προς το περιβάλλον ή οικονομικά οφέλη λόγω μη απώλειας του πλοίου. Το κόστος συνήθως εκφράζεται σε νομισματικές μονάδες. Για λόγους χρήσης κοινού παρονομαστή, το όφελος εκφράζεται και αυτό σε νομισματικές μονάδες.

Μετά τις εκτιμήσεις κόστους και οφέλους, αυτές οι τιμές συνδυάζονται με τον όρο  $\Delta R$ . Υπάρχουν αρκετοί δείκτες που εκφράζουν την αποδοτικότητα ενός RCO, αλλά ένας δείκτης χρησιμοποιείται ευρύτατα σε διάφορες εφαρμογές. Αυτός ο δείκτης ονομάζεται Κόστος Αποτροπής Θανατηφόρου Ατυχήματος (Cost of Averting a Fatality) και έχει δύο τρόπους έκφρασης, μεικτό και καθαρό κόστος (Gross and Net).

$$GCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

$$NCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

όπου

$\Delta C$ : το κόστος του RCO για το υπό μελέτη πλοίο

$\Delta B$ : το οικονομικό όφελος εξαιτίας της εφαρμογής RCO στο υπό μελέτη πλοίο

$\Delta R$ : η μείωση του ρίσκου για κάθε πλοίο λόγω RCO

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι σε αυτό το στάδιο η μείωση του ρίσκου  $\Delta R$  δεν μετρείται όπως και πριν, ως το γινόμενο πιθανότητας και συνέπειας, αλλά σε μονάδες μείωσης του αριθμού των θανατηφόρων ατυχημάτων όταν ένα RCO έχει τεθεί σε εφαρμογή. Αυτό υποδηλώνει μια μάλλον περιορισμένη αντίληψη, με την έννοια ότι μόνο οι συνέπειες που προκαλούν θανατηφόρα ατυχήματα λαμβάνονται στα υπόψιν. Ωστόσο, γίνονται προσπάθειες να επεκταθεί η προσέγγιση αυτή και σε επιπτώσεις προς το περιβάλλον.

Το κυρίαρχο κριτήριο σε όλες τις μελέτες FSA που υποβάλλονται στον IMO είναι το κριτήριο των τριών εκατομμυρίων δολαρίων (\$3m Criterion). Σύμφωνα με αυτό, το προτεινόμενο RCO πρέπει να δίνει τιμή στο CAF μικρότερη των τριών εκατομμυρίων δολαρίων. Σε αντίθεση περίπτωση, το RCO απορρίπτεται.

$$NCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} < \$3m \Rightarrow \Delta C - \Delta B = \$3m \cdot \Delta R$$

Αυτό σημαίνει πως με την εφαρμογή του RCO, οι τρεις μεταβλητές  $\Delta C$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta R$  πρέπει να ικανοποιούν την παρακάτω ανισότητα

$$\Delta C < \$3m \cdot \Delta R + \Delta B$$

Για τον GCAF ισχύει ότι

$$\Delta C < \$3m \cdot \Delta R$$

Παρατηρείται πως όταν  $\Delta B > 0$  και  $\Delta C < \$3m \cdot \Delta R$ , τότε  $\Delta C < \$3m \cdot \Delta R + \Delta B$  (Το αντίστροφο δεν ισχύει απαραίτητα). Αυτό δείχνει την υπερίσχυση του κριτηρίου GCAF έναντι του NCAF.

Case	$\Delta R$	$\Delta C$ (\$m)	$\Delta B$ (\$m)	GCAF (\$m)	NCAF (\$m)
RCO A	0.500	1.0	0.5	2.0	1.0
RCO B	0.500	1.5	0.5	3.0	2.0
RCO A+B (1)	0.600	2.5	0.6	4.2	3.2
RCO A+B (2)	0.700	2.0	0.6	2.9	2.0
RCO A+B (3)	0.600	2.5	0.8	4.2	2.8

Πίνακας 3.4 Παραδείγματα συνδυασμού RCOs

Στον πιο πάνω πίνακα, αποδεκτές περιπτώσεις εφαρμογής RCO είναι η πρώτη και η τέταρτη, λόγω ικανοποίησης του κριτηρίου \$3m.

### 3.4.5 ΒΗΜΑ 5: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Το τελευταίο στάδιο της FSA έχει ως στόχο να δώσει προτάσεις βελτίωσης της ασφάλειας στους λήπτες αποφάσεων, έχοντας λάβει υπόψιν τα ευρήματα των προηγούμενων τεσσάρων βημάτων.

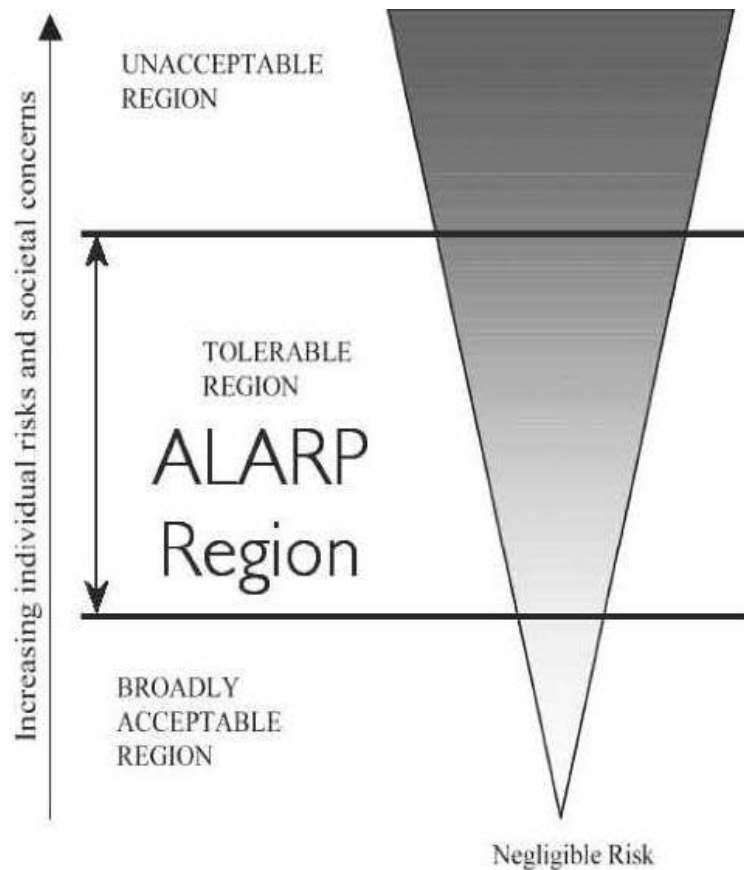
Τα προτεινόμενα RCOs πρέπει να:

- ελαχιστοποιούν το ρίσκο στα επιθυμητά επίπεδα
- είναι αποδοτικά σε σχέση με το κόστος εφαρμογής τους

Οι κατευθυντήριες οδηγίες του IMO προτείνουν πως πρέπει να εξεταστούν ατομικά και κοινωνικά ρίσκα όσον αφορά το πλήρωμα, τους επιβάτες και τρίτους. Ατομικό ρίσκο θεωρείται το ρίσκο για ένα μεμονωμένο άτομο και κοινωνικό ρίσκο το ρίσκο για μία ολόκληρη κοινωνία ή για μία ομάδα ατόμων. Για περαιτέρω ανάλυση αυτών των κατηγοριών ρίσκου, πρέπει να εξετάσουμε τα επίπεδα ρίσκου.

Σύμφωνα με την HSE (Health and Safety Executive's Framework, United Kingdom), υπάρχουν τρία επίπεδα ρίσκου. Περιοχή του Μη-Αποδεκτού Ρίσκου (Unacceptable Risk), η περιοχή ALARP και η περιοχή Αποδεκτού Ρίσκου (Acceptable Risk). Για περιπτώσεις όπου βρισκόμαστε στην πρώτη περιοχή, το ρίσκο πρέπει να μειώνεται ανεξαρτήτου κόστους. Αν βρισκόμαστε στην δεύτερη περιοχή, το ρίσκο πρέπει να μειωθεί ωστόσο να μην είναι πλέον

εύλογο. Αν βρισκόμαστε στην τρίτη περιοχή, δεν χρειάζεται να γίνουν περαιτέρω ενέργειες.

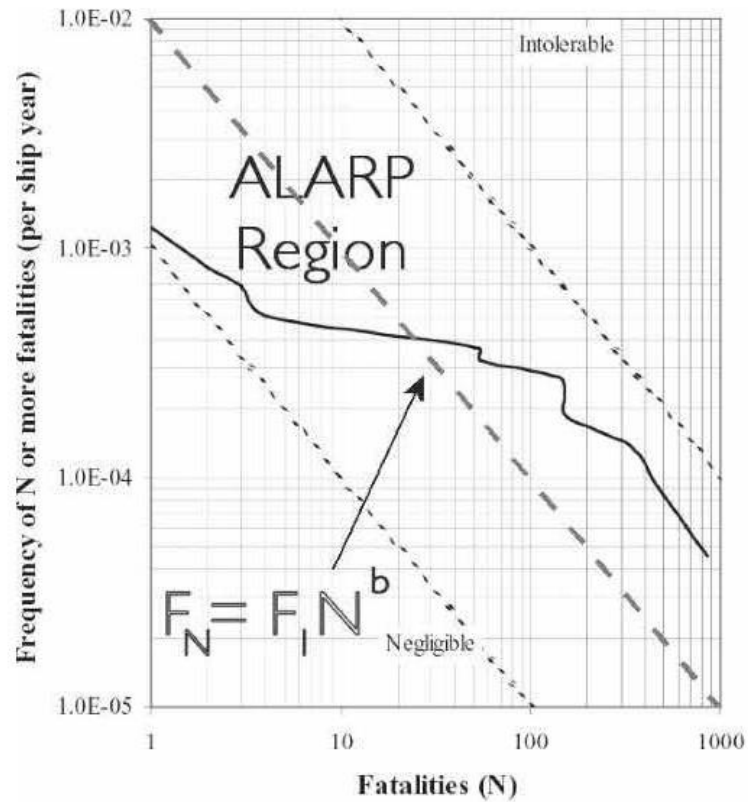


Διάγραμμα 3.1 Ανοχή στο ρίσκο, πηγή Marine Technology Vol.46

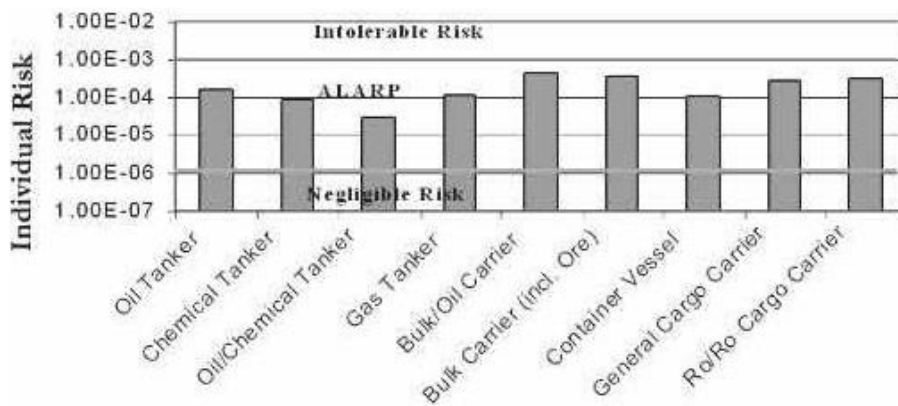
Οι οδηγίες του IMO δεν παρέχουν κάποια σαφή κριτήρια αποδοχής του ρίσκου. Επί του παρόντος, οι αποφάσεις λαμβάνονται βάσει της δημοσίευσης της HSE, το 1999. Τα κριτήρια ανεκτικότητας ρίσκου για ένα θανατηφόρο ατύχημα είναι τα εξής:

- Μέγιστο ανεχτό ρίσκο για μέλη του πληρώματος:  $10^{-3}$  το χρόνο
- Μέγιστο ανεχτό ρίσκο για επιβάτες:  $10^{-4}$  το χρόνο
- Μέγιστο ανεχτό ρίσκο για τρίτους:  $10^{-4}$  το χρόνο
- Αμελητέο ρίσκο:  $10^{-6}$  το χρόνο

Σκοπός των κοινωνικών κριτηρίων αποδοχής ρίσκου είναι ο περιορισμός του ρίσκου από τα πλοία έναντι της κοινωνίας. Ειδικότερα, τα κριτήρια αυτά χρησιμοποιούνται στον περιορισμό του ρίσκου από καταστροφές που επηρεάζουν ένα σύνολο ανθρώπων. Το κοινωνικό ρίσκο εκφράζεται μέσω των διαγραμμάτων F-N (Frequency-No. Of Fatalities).



Διάγραμμα 3.2 Τυπικό διάγραμμα F-N, πηγή Marine Technology Vol.46



Διάγραμμα 3.3 Διάγραμμα ατομικού ρίσκου σε συνάρτηση με τον τύπο πλοίου, πηγή Marine Technology Vol.46

Όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 3.3, σχεδόν όλοι οι τύπου πλοίων βρίσκονται στην ALARP περιοχή. Τα Bulk Carriers προσεγγίζουν την περιοχή Μη-Ανεκτού Ρίσκου, λόγος ο οποίος προκάλεσε την ευρεία μελέτη FSA σε αυτού τύπου πλοία.

### 3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ROPAX ΠΛΟΙΟΥ

Το 2009, δημοσιεύτηκε μία έρευνα των πανεπιστημίων Newcastle και Strathclyde για τα επίπεδα ασφάλειας και τον προσδιορισμό του ρίσκου σε ένα πλοίο RoPax μετά από βλάβη. Η ανάλυση του μοντέλου έγινε για τις εξής περιπτώσεις βλάβης:

- Σύγκρουσης (Collision)
- Προσάραξης (Grounding)
- Επαφής (Impact)
- Άλλες περιπτώσεις κατάκλυσης
- Πυρκαγιά/Έκρηξη

Το επόμενο στάδιο ήταν η ανάπτυξη δέντρων γεγονότων (event trees) ώστε να προσδιοριστούν οι πιθανές συνέπειες της κάθε βλάβης. Οι πιθανότητες πραγματοποίησης κάθε γεγονότος έγινε μέσω στατιστικών δεδομένων της περιόδου 1994-2004.

Ακολούθως επιλέγηκαν τα κατάλληλα RCOs. Αυξημένη ευστάθεια και επιβιωσιμότητα μετά από βλάβη σχετίζονται με την ικανότητα του πλοίου να επιπλέει και να είναι σε θέση να συνεχίσει το ταξίδι, να επιστρέψει ασφαλές προς ένα λιμένα ή να εγκαταλειφθεί ομαλά και με ασφάλεια. Για αυτόν τον λόγο η ευστάθεια του πλοίου είναι το βασικό στοιχείο που εξετάζει η νομοθεσία περί ασφάλειας των πλοίων.

Ο μηχανισμός ανατροπής πλοίων με μεγάλους εσωτερικούς χώρους χωρίς διαμερισματοποίηση (large un subdivided spaces) με βλάβη κοντά στην ίσαλο πλεύσης σχετίζεται με την εισροή νερού στο κατάστρωμα. Το ύψος του νερού αυξάνεται σημαντικά έως ότου το πλοίο αποκτήσει ανεπαρκή ευστάθεια και η ροπή κλίσεως να ανατρέψει το πλοίο. Μερικά μέτρα που πρέπει να παρθούν ώστε να αυξηθεί η ευστάθεια των RoPax συνοψίζονται πιο κάτω.

- Ύπαρξη υδατοστεγών χώρων στο κατάστρωμα οχημάτων ώστε να δημιουργείται πρόσθετη εφεδρική άντωση.
- Χρήση διατάξεων down-flooding που θα αντιδρούν στην συσσώρευση νερού στο κατάστρωμα οχημάτων, οι οποίες με τον κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να μειώσουν ή και να εξαλείψουν το φαινόμενο.
- Ύπαρξη σιμότητας στο κατάστρωμα ή διαγωγής στο πλοίο ώστε να περιοριστεί η κατάκλυση του καταστρώματος οχημάτων και να επιταχυνθεί η απομάκρυνση του νερού από αυτό.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ρίσκου προτείνουν πως η ταχεία ανατροπή είναι η κύρια αιτία απώλειας μεγάλου αριθμού πλοίων και πρόκλησης θανάτων. Έτσι, κατά τη φάση σχεδιασμού ενός νέου πλοίου, εκτός από τις «συμβατικές» (στατικής ευστάθειας) μεθόδους σχεδιασμού ποσοτικοποίησης της ευστάθειας σε περίπτωση βλάβης, το θέμα της



εξακρίβωσης του χρόνου επιβίωσης σε περιπτώσεις κατάκλυσης θα συμβάλει στη βελτίωση της επιβιωσιμότητας του πλοίου.

Για τον σκοπό της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής RCOs:

- RCO A: Λήφθηκαν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας μετά από βλάβη σύμφωνα με τους κανονισμούς. Η αυξημένη ευστάθεια εκφράζεται μέσω του επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A. Ο χρόνος επιβίωσης δεν συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του A.
- RCO B: Λήφθηκαν τα ίδια μέτρα με πιο πάνω με την διαφορά πως ο χρόνος επιβίωσης είναι σαφής ορισμένος μέσω δοκιμών σε μοντέλα ή αριθμητικών προσομοιώσεων. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται το πρόβλημα της ανατροπής του πλοίου σε όλες τις περιπτώσεις κατάκλυσης, όχι μόνο σε περίπτωση σύγκρουσης.

Στην πρώτη περίπτωση, ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης ισούται με  $R=0.735$  και ο επιτευχθείς δείκτης ίσος με  $A=0.78$ . Αυτό δηλώνει πως υπάρχει 78% πιθανότητα το πλοίο να έχει χρόνο επιβίωσης μετά από σύγκρουση άνω των 30 λεπτών και 22% πιθανότητα ο χρόνος αυτός να είναι κάτω των 30 λεπτών.

Στην δεύτερη περίπτωση, ο δείκτης A θα είναι μεγαλύτερος από ότι στην δεύτερη περίπτωση, λόγω των περισσότερων περιπτώσεων βλάβης όπου ο δείκτης επιβιωσιμότητας s θα είναι ίσος με μονάδα.

Το συμπέρασμα της έρευνας ήταν πως πλοία με δείκτη  $A=0.90$ , το 90% των περιπτώσεων σύγκρουσης θα δίνουν χρόνο επιβίωση ίσο ή μεγαλύτερο των 30 λεπτών. Πλοία με δείκτη A υψηλότερο από 0.90, τότε θα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός περιπτώσεων βλάβης όπου το s θα είναι μονάδα, υποδηλώνοντας θεωρητικά άπειρο χρόνο επιβίωσης του πλοίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ ΣΕ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟ ΠΛΟΙΟ

### 4.1 ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ – ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟ ΠΛΟΙΟ HALKYON 135

Το πλοίο HALKYON 135 αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Μελέτης Πλοίου μέσω του ερευνητικού προγράμματος «Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας σχεδίασης Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων και εφαρμογή στη σχεδίαση Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου τροφοδοτικών γραμμών για τις ανάγκες τις Ελληνικής Ακτοπλοΐας». Το μεγαλύτερο πλοίο που μελετήθηκε στο πρόγραμμα ήταν το HALKYON 135, με μήκος μεταξύ καθέτων 135 μέτρα, μέγιστο πλάτος 22.6 μέτρα, κοίλο 7.8 μέτρα και βύθισμα σχεδίασης 5.4 μέτρα. Το πλοίο έχει μεταφορική ικανότητα 1600 επιβατών και 314 Ι.Χ. αυτοκινήτων ή εναλλακτικά 40 φορτηγών των 16 μέτρων και 126 Ι.Χ. αυτοκινήτων. Η ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου ανέρχεται στους 23.5 κόμβους και δύναται να εξυπηρετήσει δρομολόγια μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων. Η προωστήρια εγκατάσταση περιλαμβάνει 4 Κύριες Μηχανές τύπου Wartsilla 12V38 ισχύος 8700 kW στις 600RPM και 2 έλικες μεταβλητού βήματος διαμέτρου 4m.

Οι γραμμές εξυπηρέτησης του πλοίου είναι τα εξής δρομολόγια:

#### Γραμμή Α

Λαύριο – Αγ. Ευστράτιος – Λήμνος – Καβάλα + επιστροφή

Συχνότητα δρομολογίου: μία φορά την εβδομάδα

Μήκος διαδρομής (με επιστροφή): 442 sm

#### Γραμμή Β

Λαύριο – Αγ. Ευστράτιος – Λήμνος – Σαμοθράκη – Καβάλα + επιστροφή

Συχνότητα δρομολογίου: μία φορά την εβδομάδα

Μήκος διαδρομής (με επιστροφή): 498 sm

#### Γραμμή Γ

Λαύριο – Ψαρά – Αγ. Ευστράτιος – Λήμνος – Καβάλα + επιστροφή

Συχνότητα δρομολογίου: μία φορά την εβδομάδα

Μήκος διαδρομής (με επιστροφή): 550 sm

## 4.2 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ NAPA

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η έρευνα για ευστάθεια μετά από βλάβη σε επιβατηγό – οχηματαγωγό πλοίο μέσω λογισμικού προγράμματος. Στην διάθεση του εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου είναι το πρόγραμμα NAPA και με χρήση αυτού έγιναν όλες οι απαραίτητες εργασίες.

Το λογισμικό NAPA είναι ένα ναυπηγικό πακέτο σχεδίασης και μελέτης ενός πλοίου μαζί με όλα τα συστήματα και υποσυστήματα του. Μέσω του λογισμικού γίνεται η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου ολόκληρου του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειών και των διαμερισμάτων. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης παραλλαγών του αρχικού σχεδιασμού, με στόχο να επιλεγεί η βέλτιστη λύση. Το πρόγραμμα περιέχει ενσωματωμένους τους κανονισμούς και διατάξεις διεθνών οργανισμών, συνεδρίων και συμβάσεων όπως του IMO, της SOLAS και της MARPOL. Τέλος, υπάρχει η ευελιξία της σχεδίασης οποιουδήποτε τύπου πλοίου ή πλωτής κατασκευής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του λογισμικού είναι τα ακόλουθα:

- Σχεδιασμός της γάστρας
- Διαμερισματοποίηση και εσωτερική διαρρύθμιση
- Υπολογισμός ταχύτητας και ισχύος
- Υδροστατική και Ευστάθεια πλοίου
- Καταστάσεις φόρτωσης
- Δυναμική πλοίου
- Έλεγχος κριτηρίων ευστάθειας
- Διαμήκης αντοχή
- Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής
- Υπολογισμός ναύλου
- Εργαλεία βελτιστοποίησης

Το λογισμικό NAPA υποδιαιρείται σε υποσυστήματα και βοηθητικά υποσυστήματα (subsystems and auxiliary subsystems). Τα υποσυστήματα εκτελούν εργασίες που σχετίζονται με το σχεδιασμό του πλοίου, όπως τα υδροστατικά, οι καταστάσεις φόρτωσης, η ευστάθεια μετά από βλάβη. Τα βοηθητικά υποσυστήματα είναι εσωτερικές συναρτήσεις του συστήματος όπως διαχείριση δεδομένων, γραφικά, υπολογισμοί. Τα περισσότερα από αυτά δεν είναι ορατά στον χρήστη.

Τα βασικά υποσυστήματα και οι λειτουργίες τους είναι οι εξής:

- Ship Model (SM): Υποδιαίρεση και Διαμερισματοποίηση του πλοίου
- Geometry (GM): Ορισμός και σχεδιασμός της γάστρας
- Hydrostatics (HYD): Παραγωγή υδροστατικών καμπυλών
- Capacities (CP): Υπολογισμός επιφανειών και όγκων στους χώρους φορτίου
- Loading Conditions (LD): Ορισμός καταστάσεων φόρτωσης
- Stability Criteria (CR): Υπολογισμός απαιτούμενης ευστάθειας
- Damage Stability (DAM): Εκτίμηση ευστάθειας μετά από βλάβη
- Launching (LN): Υπολογισμοί για την καθέλκυση του πλοίου
- Inclining (INC): Υπολογισμοί για το πείραμα ευστάθειας

- Weight Calculation (WG): Υπολογισμός βάρους μεταλλικής κατασκευής
- Grain Stability (GS): Εφαρμογή κριτηρίων ευστάθειας για μεταφορά σιτηρών
- Container Loading (CL): Διάταξη και φόρτωση πλοίου τύπου container
- Ship Hydrodynamics (SH): Βασικές αρχές υδροδυναμικής
- Seakeeping (SHS): Έλεγχος αξιοπλοΐας
- Maneuvering (SHM): Υπολογισμός ελικτικότητας πλοίου
- Information system (IS): Δημιουργία βάσεων δεδομένων
- NAPA Steel (ST): Μοντελοποίηση μεταλλικής κατασκευής

Για την εκπόνηση της διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκαν τα υποσυστήματα Ship Model, Geometry, Hydrostatics, Loading Conditions και Damage Stability. Το υποσύστημα Damage Stability θα χρησιμοποιηθεί στο έπακρο σε αυτή τη μελέτη λόγω της ικανότητας της να διαχειρίζεται πιθανοθεωρητικούς υπολογισμούς.

Επιπλέον, έγινε χρήση και μακροεντολών (macros), οι οποίες αναφέρονται σε πολυ – αλγόριθμους, που παρέχονται από το χρήστη, ώστε να δημιουργηθούν οι διαφορετικές διατάξεις και ρυθμίσεις που απαιτούνται, για να υπολογιστεί ο Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης (Attained Subdivision Index), που είναι και το βασικό ζητούμενο της έρευνας.

#### 4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

##### 4.3.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Μέσω της συνάρτησης Definition (DEF) του υποσυστήματος GM, έγινε εισαγωγή των κύριων χαρακτηριστικών του πλοίου, τα οποία φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

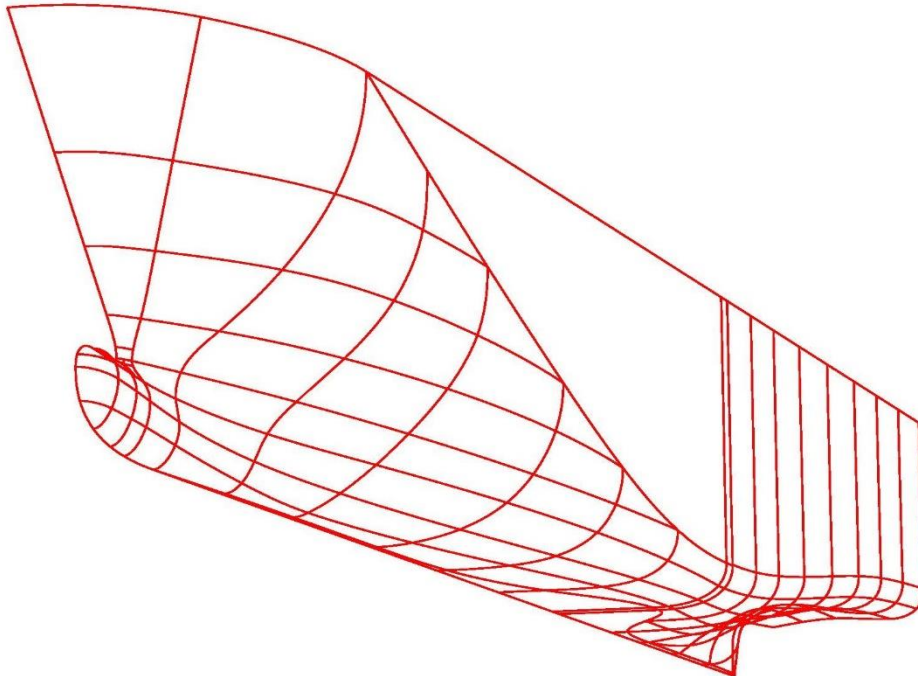
**Reference Dimensions**

<b>TDWL</b>	5.4	design draught	given	
<b>AP</b>	0	aft perpendicular	given	(HULL/TDWL ->-7)
<b>FP</b>	125	fore perpendicular	given	(HULL/TDWL ->129.026)
<b>LREF</b>	125	reference length	calculated	FP-AP
<b>XREF</b>	62.5	reference point	calculated	(FP+AP)/2
<b>XMID</b>	62.5	largest frame	given	
<b>XMIN</b>	-7	aft end	calculated	HULL
<b>XMAX</b>	139	fore end	calculated	HULL
<b>LOA</b>	146	length over all	calculated	XMAX-XMIN
<b>BREF</b>	22.6051	reference breadth	calculated	HULL/TDWL
<b>BMAX</b>	22.6252	maximum breadth	calculated	HULL
<b>TMAX</b>	0	maximum draught	undefined	
<b>HMD</b>	0	height of main deck	undefined	
<b>HSD</b>	5.4	subdivision draught	given	
<b>HMAX</b>	16	total height	given	
<b>SHEL</b>	0.01	shell thickness	initial	
<b>KEEL</b>	0.01	keel	initial	
<b>RHO</b>	1.025	seawater density	initial	
<b>FRAMES</b>	0, 0.6, 9,0.8, 150,0.6			

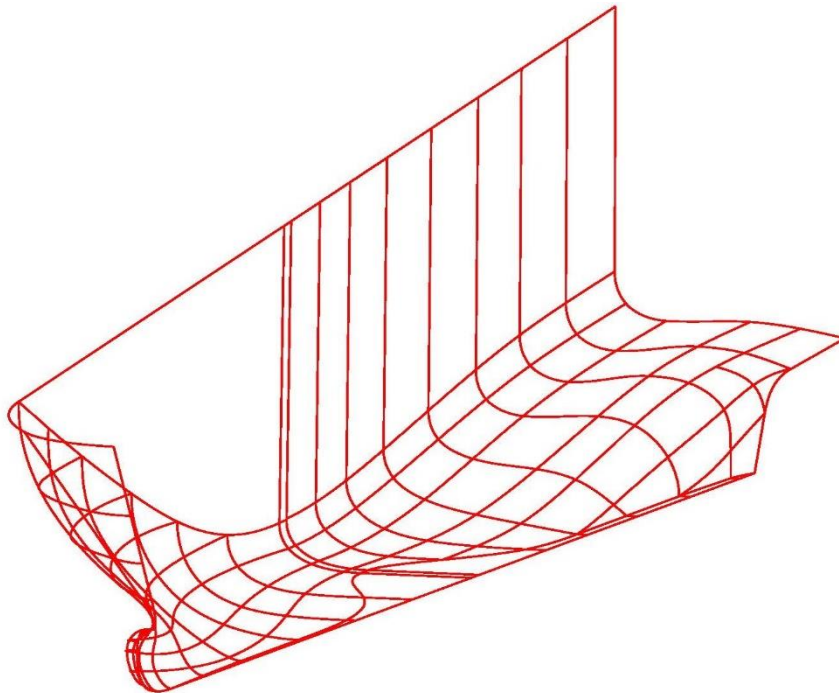
Πίνακας 4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά πλοίου αναφοράς

#### 4.3.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΑΣΤΡΑΣ

Αρχικά ορίστηκαν οι γραμμές και οι καμπύλες που συνθέτουν την γάστρα στο υποσύστημα GM. Βασικές καμπύλες σχεδίασης είναι η STERN, Center Line Middle (CLM), Main Frame Aft (FRA), Main Frame Fore (FRF), Flat of Side Aft (FSA), Flat of Side Fore (FSF), TRANSOM, Flat of Bottom (FB). Οι γραμμές της γάστρας φαίνονται πιο κάτω, όπως παρουσιάζονται στο γραφικό περιβάλλον του NAPA.

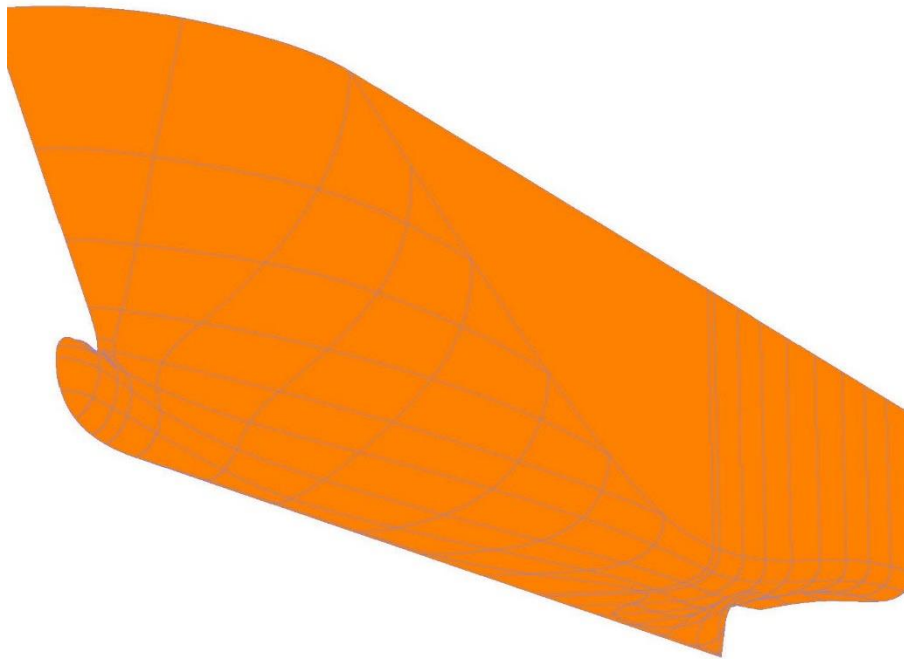


Σχήμα 4.1 Γραμμές γάστρας πλοίου αναφοράς «Fore End View»

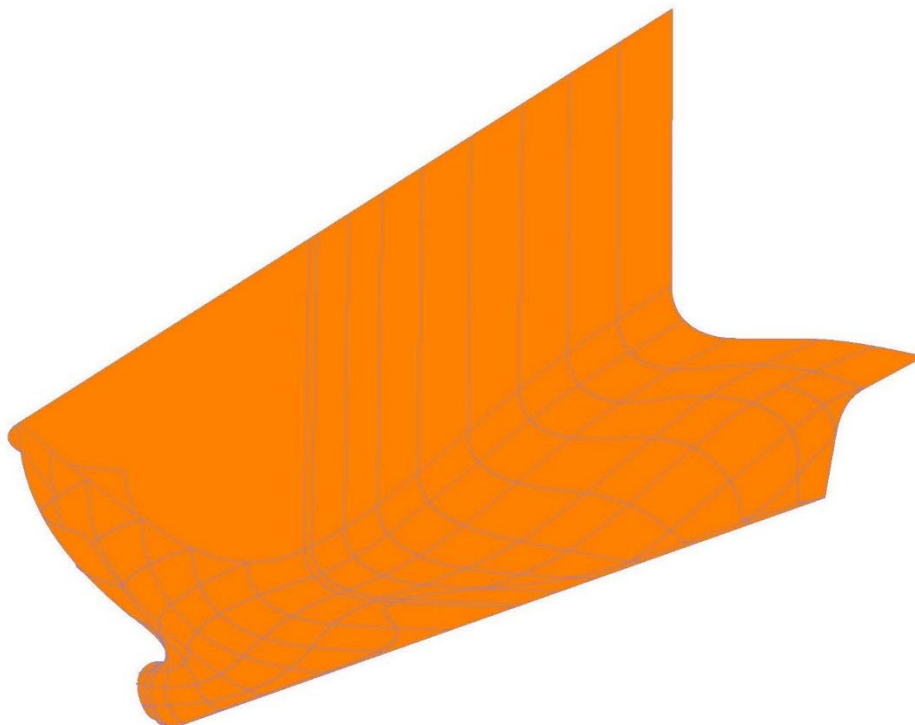


Σχήμα 4.2 Γραμμές γάστρας πλοίου αναφοράς «Aft End View»

Μέσω των βασικών γραμμών, δημιουργήθηκε η επιφάνεια της γάστρας (HULL). Το πρόγραμμα παράγει επιφάνειες μέσω της δημιουργίας patches ανάμεσα σε 3 ή 4 καμπύλες.

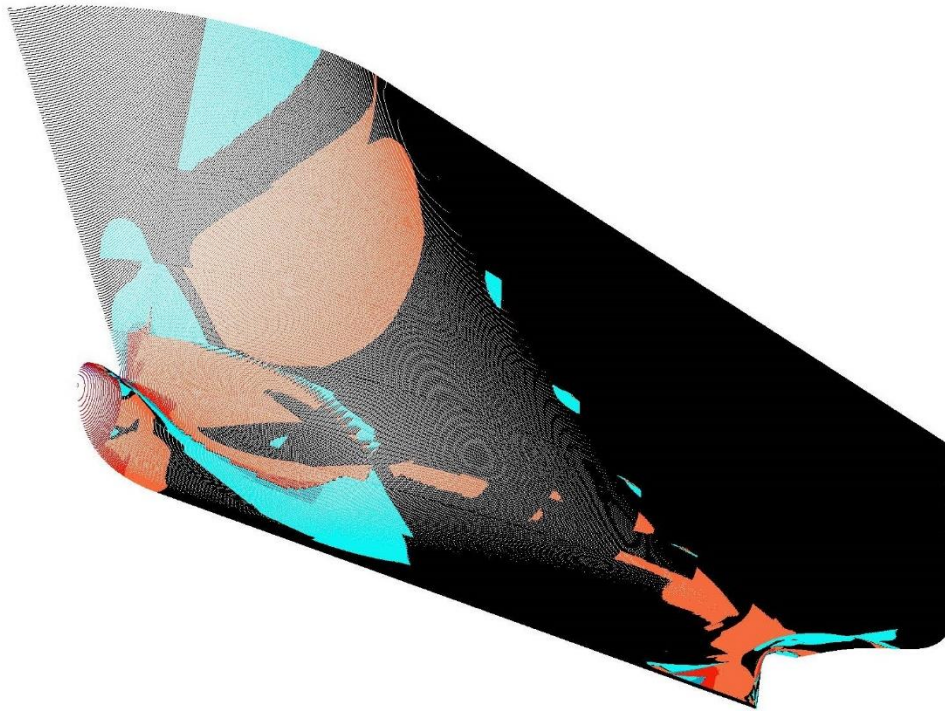


Σχήμα 4.3 Επιφάνεια γάστρας πλοίου αναφοράς «Fore End View»

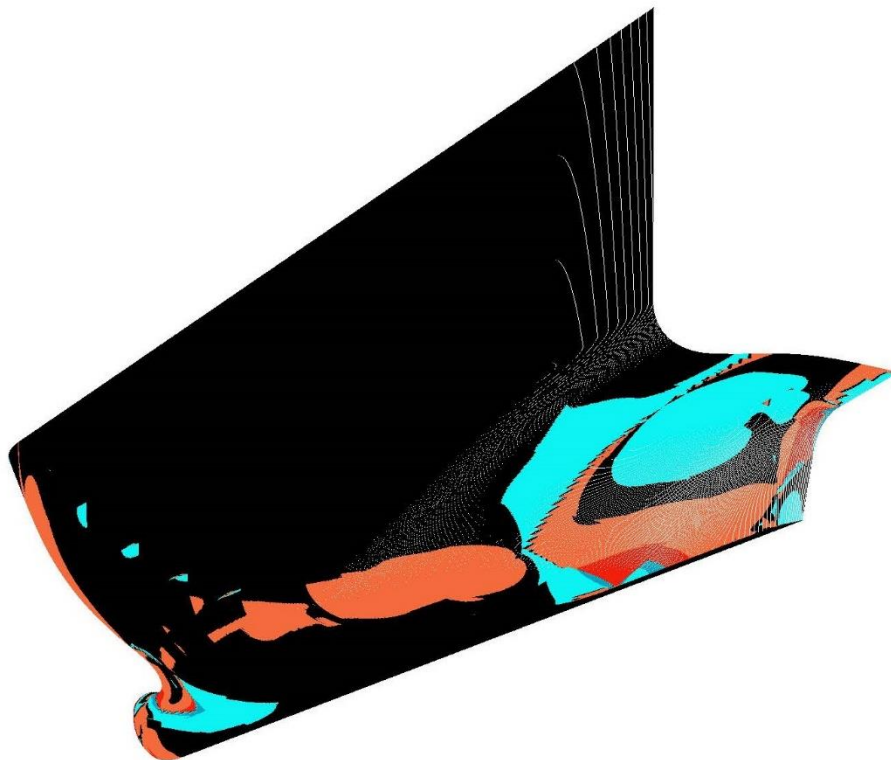


Σχήμα 4.4 Επιφάνεια γάστρας πλοίου αναφοράς «Aft End View»

Το γραφικό περιβάλλον του NAPA δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης της καμπυλότητας στην κατασκευασμένη γάστρα. Οι περιοχές με ομαλή γεωμετρία εμφανίζονται με σκούρο μπλε χρώμα και όσο η γεωμετρία γίνεται πιο ανώμαλη κυριαρχεί το κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 4.5 Καμπυλότητα γάστρας πλοίου αναφοράς «Fore End View»



Σχήμα 4.6 Καμπυλότητα γάστρας πλοίου αναφοράς «Aft End View»

#### 4.3.3 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα υδροστατικά στοιχεία για διάφορα βυθίσματα λήφθηκαν μέσω του υποσυστήματος HYD και παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

#### Hydrostatics

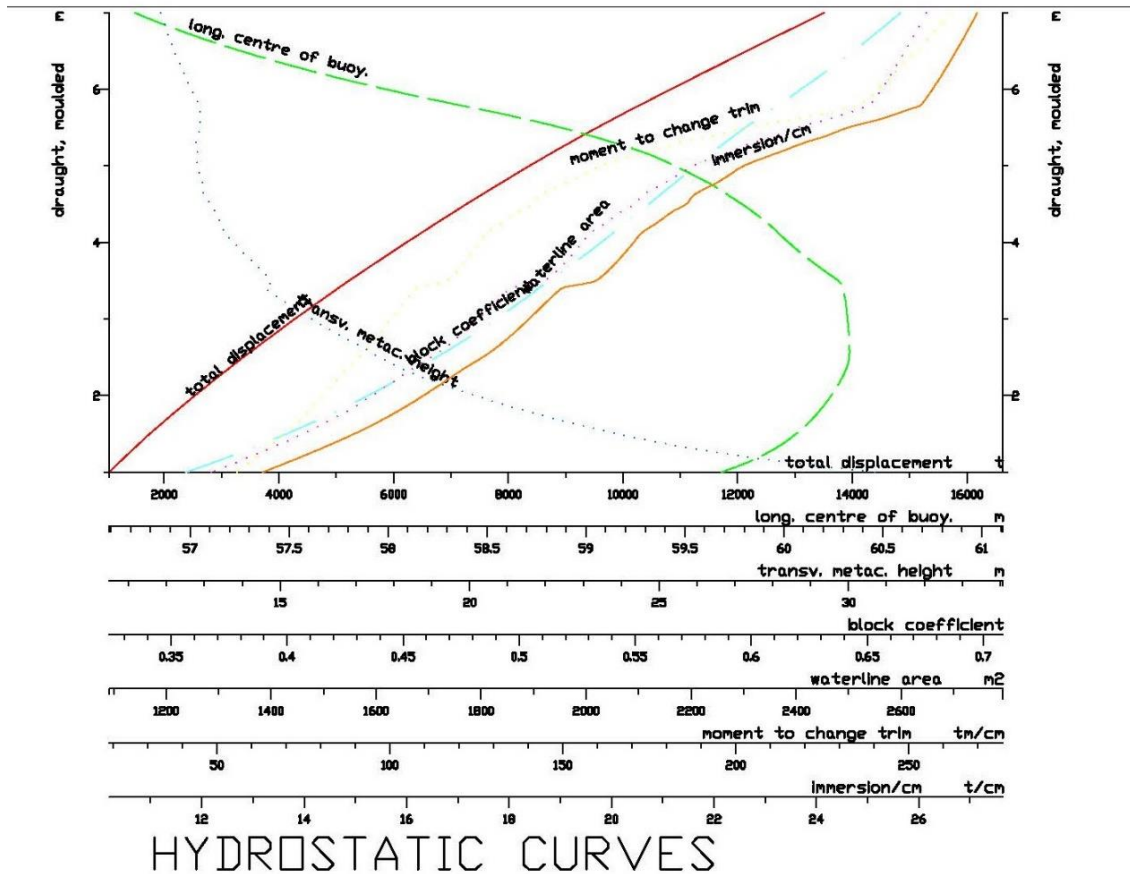
T (m)	DISP (t)	LCB (m)	KMT (m)	CB	WLA (m <sup>2</sup> )	MCT (tm/cm)	TPC (t/cm)
1	1045.8	59.686	30.698	0.3564	1286.2	55.8	13.2
1.1	1179.8	59.789	28.887	0.3659	1323.7	58.5	13.6
1.2	1317.5	59.877	27.31	0.3749	1359.7	61.3	13.9
1.3	1458.8	59.949	26.006	0.3835	1394.8	64.1	14.3
1.4	1603.6	60.01	24.882	0.3917	1428.4	66.8	14.6
1.5	1751.8	60.061	23.903	0.3996	1460.6	69.4	15
1.6	1903.1	60.106	23.027	0.4072	1490.7	71.9	15.3
1.7	2057.4	60.145	22.224	0.4145	1518.7	74.2	15.6
1.8	2214.4	60.18	21.479	0.4215	1544.8	76.5	15.8
1.9	2374.1	60.211	20.788	0.4283	1569.4	78.6	16.1
2	2536.1	60.239	20.142	0.4348	1592.6	80.6	16.3
2.1	2700.6	60.265	19.542	0.4411	1615	82.6	16.6
2.2	2867.3	60.288	18.984	0.4471	1636.8	84.5	16.8
2.3	3036.3	60.307	18.472	0.453	1658.4	86.6	17
2.4	3207.5	60.322	18.018	0.4587	1681.1	88.8	17.2
2.5	3381.2	60.331	17.641	0.4643	1705.3	91.3	17.5
2.6	3557.1	60.332	17.274	0.4698	1726.6	93.5	17.7
2.7	3735.1	60.331	16.902	0.4751	1745.1	95.3	17.9
2.8	3915	60.328	16.533	0.4803	1762.1	97.1	18.1
2.9	4096.5	60.326	16.175	0.4853	1778.1	98.8	18.2
3	4279.6	60.322	15.831	0.4901	1793.6	100.4	18.4
3.1	4464.3	60.318	15.501	0.4949	1808.6	102	18.5
3.2	4650.5	60.314	15.188	0.4995	1823.7	103.7	18.7
3.3	4838.3	60.307	14.892	0.504	1839.1	105.5	18.9
3.4	5027.8	60.299	14.618	0.5083	1856.2	107.6	19
3.5	5220.4	60.276	14.758	0.5127	1920.9	116.7	19.7
3.6	5418.5	60.222	14.595	0.5175	1939.9	119.1	19.9
3.7	5618.2	60.168	14.39	0.5221	1954.7	120.9	20
3.8	5819.3	60.118	14.179	0.5266	1968.1	122.6	20.2
3.9	6021.8	60.069	13.97	0.531	1980.8	124.2	20.3
4	6225.6	60.024	13.766	0.5353	1993	125.8	20.4
4.1	6430.5	59.982	13.567	0.5395	2005	127.4	20.6
4.2	6636.8	59.942	13.475	0.5435	2024.9	130.5	20.8
4.3	6845.5	59.895	13.393	0.5476	2046.5	133.8	21
4.4	7056.3	59.844	13.278	0.5517	2066.6	136.9	21.2
4.5	7269.5	59.789	13.18	0.5558	2093.4	141.2	21.5
4.6	7484.7	59.73	13.021	0.5598	2105	143	21.6
4.7	7701.3	59.672	12.954	0.5638	2128	147.1	21.8
4.8	7921.2	59.604	12.946	0.5678	2156.4	152.4	22.1



4.9	8143.6	59.529	12.885	0.5719	2179.5	156.5	22.3
5	8368.2	59.45	12.808	0.5759	2203	160.9	22.6
5.1	8595.4	59.366	12.821	0.58	2239.2	168.2	23
5.2	8826.8	59.267	12.806	0.5842	2279.2	176	23.4
5.3	9063.1	59.147	12.766	0.5885	2317.1	183.4	23.7
5.4	9302.3	59.017	12.855	0.5928	2363	194	24.2
5.5	9546.8	58.874	12.854	0.5974	2401	202.8	24.6
5.6	9795.3	58.716	12.9	0.602	2457.2	215.9	25.2
5.7	10049.4	58.541	12.889	0.6068	2502.1	226.8	25.6
5.8	10308.7	58.35	12.854	0.6117	2541.5	236.2	26.1
5.9	10569.7	58.166	12.755	0.6166	2552.2	238.7	26.2
6	10831.8	57.992	12.658	0.6214	2562.3	241.1	26.3
6.1	11095	57.827	12.562	0.6261	2572	243.4	26.4
6.2	11359.1	57.672	12.468	0.6307	2581.3	245.7	26.5
6.3	11624.2	57.526	12.378	0.6352	2590.4	247.9	26.6
6.4	11890.1	57.388	12.291	0.6396	2599.2	250	26.6
6.5	12157	57.259	12.207	0.6439	2607.7	252.2	26.7
6.6	12424.7	57.137	12.126	0.6482	2616	254.3	26.8
6.7	12693.2	57.023	12.049	0.6523	2624.2	256.4	26.9
6.8	12962.6	56.915	11.975	0.6564	2632.2	258.4	27
6.9	13232.8	56.815	11.905	0.6604	2640	260.5	27.1
7	13503.8	56.721	11.837	0.6643	2647.6	262.4	27.1

Πίνακας 4.2 Υδροστατικά στοιχεία πλοίου αναφοράς

Το υδροστατικό διάγραμμα εξάχθηκε μέσω της συνάρτησης Drawing και εμφανίστηκε στο γραφικό περιβάλλον του NAPA.



Διάγραμμα 4.1 Υδροστατικό Διαγραμμα

#### 4.3.4 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΛΟΙΟΥ

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση της γενικής διάταξης του πλοίου μέσω του υποσυστήματος SM. Αρχικά ορίστηκαν οι δεξαμενές στο υποσύστημα DEF και ακολούθως πραγματοποιήθηκε ο καθορισμός της εσωτερικής διαρρύθμισης του πλοίου και των εσωτερικών χώρων με την ονομασία τους, το λόγο χρήσης και τη διαχωρητότητά τους.

Η ανάλυση των φορτίων των διαμερισμάτων με τα χαρακτηριστικά τους καταγράφονται στον πίνακα 4.3. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η κωδικοποίηση, στη δεύτερη η αναλυτική ονομασία τους και εν συνεχεία η κλάση, ο τύπος, η πυκνότητα, η χωρητικότητα, η διαχωρητότητά τους.

Tank Purposes

PURP	PDES	CLASS	TYPE	RHO (t/m <sup>3</sup> )	RED (%)	CAP	PERM	IPERM	LFCODE
DO	Diesel Oil	B	L	0.860	2.0	0.95	0.95		C-DO
FW	Fresh Water	B	L	1.000	2.0	0.95	0.95		C-FW
GE	General Space	G	A	1.000	2.0	1.00	0.95		C-GST
GWT	Grey Water	W	L	1.000	2.0	0.95	0.95		C-GWT
HDO	Heavy Fuel Oil	B	L	0.940	2.0	0.95	0.95		C-HFO
LO	Lubricating Oil	B	L	0.900	2.0	0.95	0.95		C-LO

<b>MMA</b>	Machinery Space	E	E	1.000	0.0	1.00	0.85		C-MMA
<b>MST</b>	Machine Store	S	G	1.000	0.0	1.00	0.95		C-MST
<b>SLU</b>	Sludge	C	L	2.380	0.0	0.95	0.95		C-SLU
<b>VOID</b>	Void	V	V	1.025	0.0	0.95	0.95		C-VOID
<b>BW</b>	Ballast Water	X	L	1.025	2.0	1.00	0.95		C-BW
<b>RORO</b>	Ro-Ro Space	C	A	1.000	0.0	1.00	0.95	0.90/0.90/0.95	

Πίνακας 4.3 Φορτία χώρων διαμερισμάτων

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα διαμερίσματα του πλοίου αναφοράς. Η ονομασία των διαμερισμάτων έχει βασιστεί σε μία κωδικοποίηση, που βοηθά στον άμεσο εντοπισμό του διαμερίσματος πάνω στο πλοίο. Το πρώτο γράμμα του διαμερίσματος αντιστοιχεί στο τμήμα του πλοίου, στο οποίο βρίσκεται. Το δεύτερο αντιστοιχεί στο ύψος που βρίσκεται το κάθε διαμέρισμα και τα υπόλοιπα αντιστοιχούν στη χρησιμότητα και το φορτίο της δεξαμενής. Τα τμήματα του πλοίου είναι τα εξής:

Τμήμα A: frame – έως frame 24  
 Τμήμα B: frame 24 έως frame 48  
 Τμήμα C: frame 48 έως frame 78  
 Τμήμα D: frame 78 έως frame 111  
 Τμήμα E: frame 111 έως frame 150  
 Τμήμα F: frame 150 έως frame –

Για παράδειγμα, ο χώρος AD02N15VOID βρίσκεται στο τμήμα A, στο ύψος του Deck 02 και είναι νούμερο 15 κενός χώρος.

Ακολουθεί ο αναλυτικός πίνακας διαμερισμάτων

**Compartments**

NAME	PURP	VOLM (m <sup>3</sup> )	VNET (m <sup>3</sup> )	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	IY*RHO (tm)	IY/IMO (tm)
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>								
CDD02DIESELT	DO	33.6	32.9	56.2	0	5.7	16.1	6
CDDBDIESELSTORT	DO	15.4	15.1	53.4	0	2.4	7.3	7
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	DO	49	48	55.32	0	4.66		
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>								
AD0202FW	FW	67.2	65.9	15.4	0	5.7	21.3	21
ED0201FW	FW	80.6	79	88.2	0	5.7	102.4	100
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	FW	147.8	144.9	55.11	0	5.7		
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>								
DD02NO1ROROSPACE	GE	394.4	386.6	65.45	0	5.7	7554.1	2578
DD02NO2ROROSPACE	GE	425.3	416.8	75.06	0	5.74	7774.8	2886

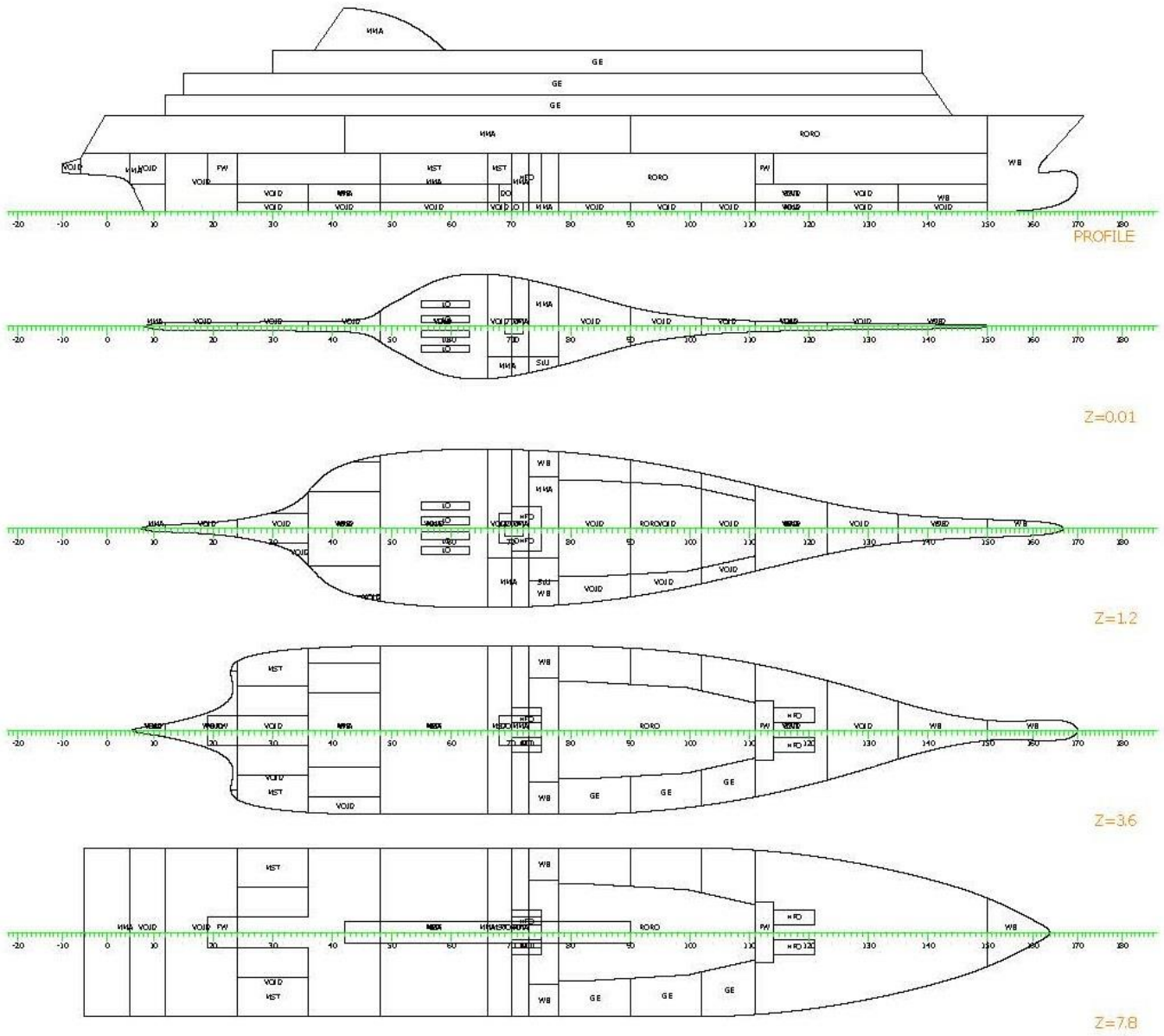
DD02NO3ROROSPACE	GE	368.6	361.2	83.49	0	5.79	5510.6	2688
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	GE	1188.4	1164.6	74.48	0	5.74		
<b>CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=1)</b>								
DDDBLHGAR	GRG	1982.2	1982.2	72.78	0	4.5	3514.7	4056
AD03GARTOTAL	GRG	12548.9	12548.9	56.79	0	10.31 1	9945.4	104746
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	GRG	14531.1	14531.1	58.97	0	9.52		
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>								
EDDBGGRAY	GWT	296.3	290.4	91.51	0	2.5	2004.7	2728
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>								
CDDBFHOSERVTS	HFO	79.2	77.6	56.2	-1.5	4.5	8.5	8
CDDBFHOSLTP	HFO	79.2	77.6	56.2	1.5	4.5	8.5	8
EDD02HFOSORP	HFO	47	46.1	92.2	2	5.7	3.5	3
EDD02HFOSORS	HFO	47	46.1	92.2	-2	5.7	3.5	3
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	HFO	252.5	247.4	69.61	0	4.95		
<b>CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)</b>								
CDDBN01LOCIRCT	LO	7.7	7.5	45.4	3	0.6	0.5	0
CDDBN02LOCIRCT	LO	7.7	7.5	45.4	1	0.6	0.5	0
CDDBN03LOCIRCT	LO	7.7	7.5	45.4	-1	0.6	0.5	0
CDDBN04LOCIRCT	LO	7.7	7.5	45.4	-3	0.6	0.5	0
CDDBLORNTP	LO	2.9	2.8	54.6	0.5	0.6	0.2	0
CDDBLORNTS	LO	2.9	2.8	54.6	-0.5	0.6	0.2	0
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	LO	36.5	35.8	46.85	0	0.6		
<b>CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)</b>								
EDDBNO1PUMP	MMA	68.5	68.5	91.34	0	0.73	317.3	450
CDDBN02PUMP	MMA	43.9	43.9	58.59	4.64	0.64	293.1	314
CDDBN03PUMP	MMA	36.6	36.6	53.78	-6.81	0.66	94.3	101
BDD02AUXROOM	MMA	473.1	473.1	31.92	0	2.45	7646.6	7996
CDD02ENGRROOM	MMA	2446.1	2446.1	43.84	0	4.02	13851.8	13102
ADD02STEERGEAR	MMA	647.8	647.8	2.48	0	6.44	10509.2	2007
CNTR.CASING	MMA	576	576	51	0	10.3	86.4	86
CZ0TRIMROOM	MMA	410.1	410.1	55.4	0	4	2308.6	2204
-----								
<b>SUBTOTAL</b>	MMA	4702	4702	39.73	-0.01	4.86		
<b>CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)</b>								
BDD02N02ENGSTORE	MST	209.1	209.1	22.24	-8.6	5.74	119	115
CDD02N01ENGSTORE	MST	1366.8	1366.8	43.8	0	5.7	13851.8	13852

BDD02POWERCONVROOM	MST	209.1	209.1	22.24	8.6	5.74	119	115
CDD02WORKSHOP	MST	303.7	303.7	52.6	0	5.7	3078.2	3078
-----								
SUBTOTAL	MST	2088.8	2088.8	40.76	0	5.71		
<b>CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)</b>								
CDZ0SLUDGET	SLU	24.7	24.7	58.58	-6.69	0.67	143.8	153
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>								
AD00N14VOID	VOID	848.6	848.6	12.93	0	5.64	9199.9	3361
AD02N15VOID	VOID	261.3	261.3	5.75	0	6.38	4021.1	2198
AN16VOID	VOID	59.3	59.3	-4.66	0	6.16	2008.4	903
BD02N13VOID	VOID	935	935	22.47	0	5.11	9341.5	4994
BD02N12VOID	VOID	285.2	285.2	23.06	0	2.68	3718.5	3694
BDDBN11VOID	VOID	63.3	63.3	32.41	0	2.72	3622.5	401
CDZ010VOID	VOID	313.9	313.9	44.01	0	0.64	8560.2	9328
CDZ009VOID	VOID	73	73	52.6	0	0.63	2084.6	2218
DDZ008VOID	VOID	45.9	45.9	65.03	0	0.78	3368.7	659
DDZ007VOID	VOID	24.2	24.2	74.31	0	0.88	1802.9	268
DDZ006VOID	VOID	12.1	12.1	83.35	0	0.95	655.9	122
EDZ005VOID	VOID	68.5	68.5	91.34	0	0.73	325.3	462
ED0204VOID	VOID	296.3	296.3	91.51	0	2.5	2054.8	2853
EDZ003VOID	VOID	38.9	38.9	100.99	0	0.72	56	93
ED0202VOID	VOID	184.8	184.8	100.93	0	2.53	548.6	912
EDZ001VOID	VOID	29.9	29.9	111.73	0	0.7	14.9	23
BZ0N17VOID	VOID	33.3	33.3	23.05	0	0.72	42.8	127
BZ0N18VOID	VOID	124.1	124.1	32.6	0	0.72	2183.8	2507
DZ0N20VOID	VOID	190.4	190.4	65.25	0	0.65	4566.1	5142
DZ0N21VOID	VOID	149	149	74.75	0	0.68	2524.9	3015
DZ0N22VOID	VOID	80.3	80.3	83.2	0	0.71	804.2	995
-----								
SUBTOTAL	VOID	4117.4	4117.4	38.77	0	3.54		
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>								
FFPTK	WB	650.9	637.9	122.41	0	8.94	792.8	653
AD0201WB	WB	1148.1	1125.1	6.74	0	6.23	8536.7	4902
BDZ003WB	WB	230.4	225.8	31.8	0	2.4	820	804
EDZ001WB	WB	141.6	138.8	111.49	0	2.11	61	128
CDD02HEELTP	WB	111.4	109.1	58.6	9.11	4.55	27.2	26
CDD02HEELTS	WB	111.4	109.1	58.6	-9.11	4.55	27.2	26
-----								
SUBTOTAL	WB	2393.7	2345.8	51.63	0	6.2		
-----								
TOTAL		29828.2	29741	52.28	-0.01	7.12		

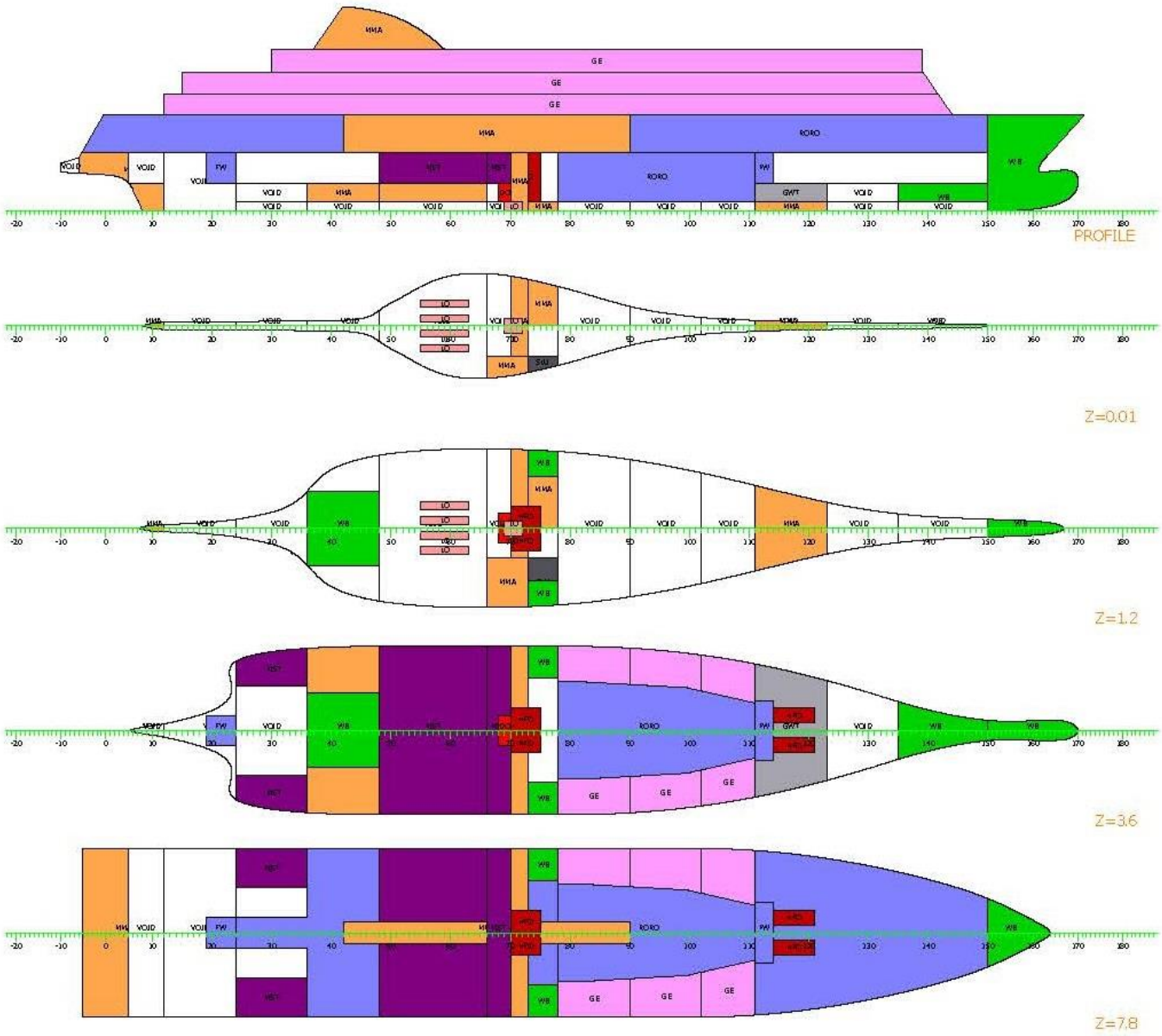
Πίνακας 4.4 Διαμερίσματα πλοίου αναφοράς

Τα διαμερίσματα που έχουν οριστεί αποτελούν όλο το χώρο του πλοίου μέχρι το κατάστρωμα στεγανών φρακτών, διότι η μελέτη για την ευστάθεια κατόπιν βλάβης προϋποθέτει τον ορισμό όλων των χώρων του πλοίου, ώστε να ληφθούν υπόψιν σε περίπτωση κατάκλισης.

Ακολουθεί το σχέδιο γενικής διάταξης.



Σχήμα 4.7 Σχέδιο Γενικής Διάταξης



Σχήμα 4.8 Σχέδιο Γενικής Διάταξης (χρωματισμός κάθε τύπου διαμερίσματος)



#### 4.3.5 ΣΤΕΓΑΝΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

Μετά την ολοκλήρωση της διαμερισματοποίησης του πλοίου στο υποσύστημα, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία των ζωνών βλάβης (damage zones) στο υποσύστημα DAM. Οι ζώνες ορίστηκαν με βάση τις εγκάρσιες φρακτές, τα καταστρώματα και τα στεγανά διαμερίσματα. Ουσιαστικά, σε αυτό το στάδιο καθορίζονται οι ζώνες που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία σεναρίων βλάβης στο πιθανοθεωρητικό μοντέλο. Καθορίστηκαν 14 ζώνες και η περιγραφή τους αναγράφεται στον πίνακα 4.5.

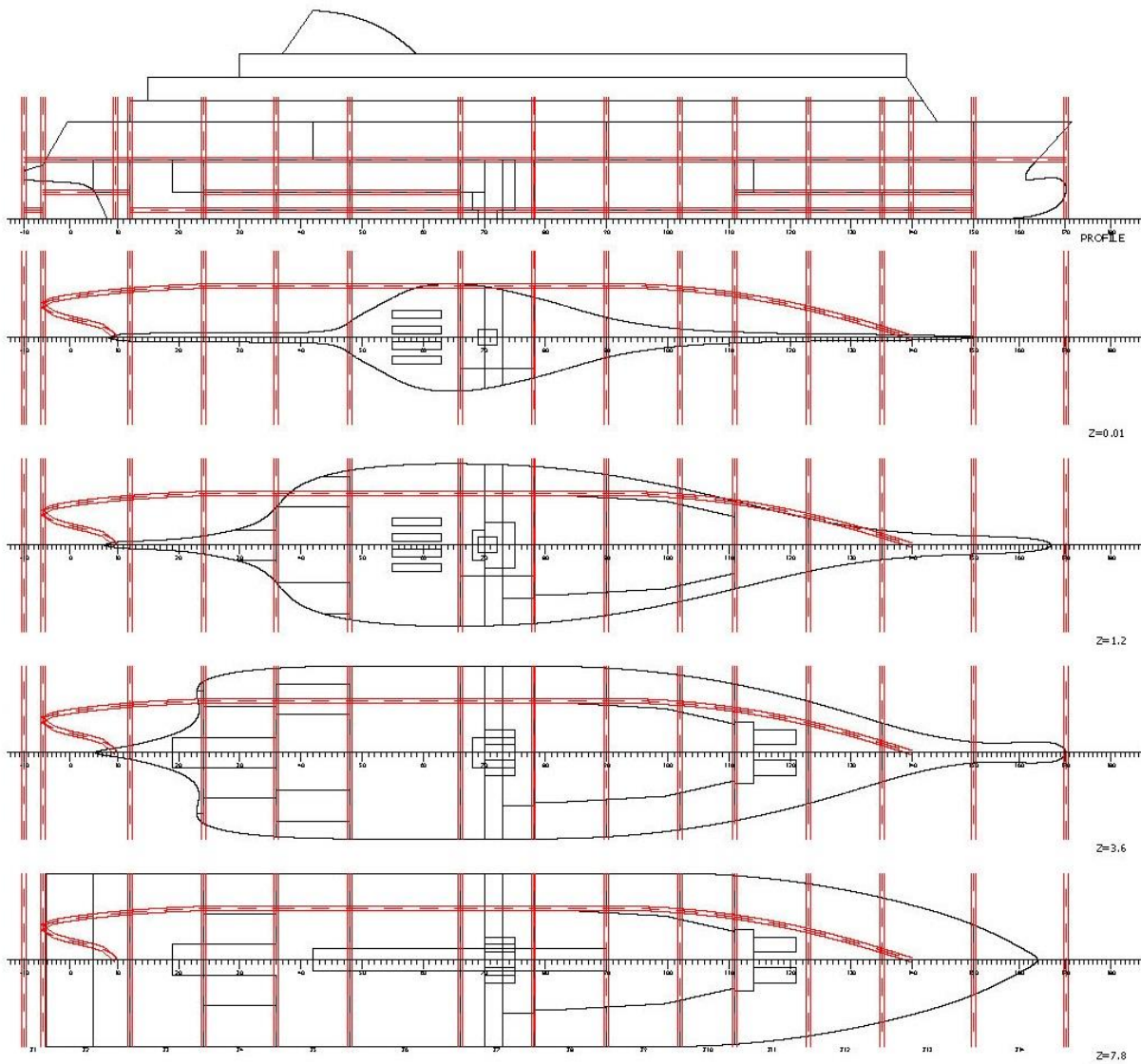
Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η ονομασία των damage zones, στη δεύτερη και στην τρίτη τα όριά τους κατά το διάμηκες (με βάση τα frames) και στην τέταρτη τα όρια κατά το εγκάρσιο επίπεδο, από την πλευρά Port (P) . Στην πέμπτη στήλη, που αντιστοιχεί στην Starboard (S) Side, δεν υπάρχουν όρια, γιατί η μελέτη γίνεται για την Port (P) Side, που είναι η δυσμενέστερη. Στην έκτη και έβδομη στήλη αναγράφονται τα όρια κατά τον άξονα z.

**Damage Zones**

<b>ZONE</b>	<b>TBA (fr)</b>	<b>TBF (fr)</b>	<b>LBP</b>	<b>LBS</b>	<b>DDN</b>	<b>DUP</b>
<b>Z1</b>	DAMHULL	#-6	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z2</b>	#-6	#12	B5SUR	-	3.6	MAINDK
<b>Z3</b>	#12	#24	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z4</b>	#24	#36	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z5</b>	#36	#48	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z6</b>	#48	#66	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z7</b>	#66	#78	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z8</b>	#78	#90	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z9</b>	#90	#102	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z10</b>	#102	#111	B5SUR	-	DBOT	MAINDK
<b>Z11</b>	#111	#123	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z12</b>	#123	#135	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z13</b>	#135	#150	B5SUR	-	DBOT/3.6	MAINDK
<b>Z14</b>	#150	DAMHULL	B5SUR	-	-	MAINDK

Πίνακας 4.5 Ορισμός Damage Zones

Ακολουθεί το σχέδιο ζωνών υποδιαίρεσης, όπως το παρουσιάζεται στο γραφικό περιβάλλον του NAPA.



Σχήμα 4.9 Ζώνες υποδιαίρεσης (Damage zones)

#### 4.3.6 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ (OPENINGS)

Μέσω του Opening Arrangement του NAPA, ορίστηκαν τα ανοίγματα του πλοίου αναφοράς. Δημιουργήθηκε μία διάταξη από openings και για το καθένα σημειώθηκαν τα διαμερίσματα με τα οποία επικοινωνούσε.

Opening Arrangement

NAME	WT	TEXT	FR (#)	X (m)	Y (m)	Z (m)	CONN
OP01	UNPROTECTED	VENT1	8	4.800	11.000	14.100	SEA, ADD02STEERGEAR
OP02	UNPROTECTED	VENT2	8	4.800	-11.000	14.100	SEA, ADD02STEERGEAR
OP03	UNPROTECTED	VENT3	11	7.000	7.000	14.200	SEA, AD03GARTOTAL
OP04	UNPROTECTED	VENT4	11	7.000	-7.000	14.200	SEA, AD03GARTOTAL
OP05	UNPROTECTED	VENT5	11	7.000	6.000	14.200	SEA, BDD02AUXROOM
OP06	UNPROTECTED	VENT6	11	7.000	-6.000	14.200	SEA, BDD02AUXROOM
OP07	UNPROTECTED	VENT7	9	5.400	-2.000	14.100	SEA, BDD02AUXROOM
OP08	UNPROTECTED	VENT8	24	17.400	11.300	15.000	SEA, BDD02POWERCONVROOM
OP09	UNPROTECTED	VENT9	24	17.400	-11.300	15.000	SEA, BDD02N02ENGSTORE
OP10	UNPROTECTED	VENT10	65	50.200	11.300	15.000	SEA, BDD02N01ENGSTORE
OP11	UNPROTECTED	VENT11	65	50.200	-11.300	15.000	SEA, CDD02WORKSHOP
OP12	UNPROTECTED	VENT12	70	54.200	11.300	15.000	SEA, CZ0TRIMROOM
OP13	UNPROTECTED	VENT13	70	54.200	-11.300	15.000	SEA, CDDBN03PUMP
OP14	UNPROTECTED	VENT14	75	58.200	11.300	15.000	SEA, CDDBN02PUMP
OP15	UNPROTECTED	VENT15	75	58.200	-11.300	15.000	SEA, CDDBN02PUMP
OP16	UNPROTECTED	VENT16	112	87.800	11.300	15.000	SEA, ED0204VOID
OP17	UNPROTECTED	VENT17	112	87.800	-11.300	15.000	SEA, EDDBGRAY
OP18	UNPROTECTED	VENT18	115	90.200	11.300	15.000	SEA, ED0204VOID
OP19	UNPROTECTED	VENT19	115	90.200	-11.300	14.200	SEA, ED0204VOID
OP20	UNPROTECTED	VENT20	125	98.200	11.300	14.200	SEA, AD03GARTOTAL
OP21	UNPROTECTED	VENT21	125	98.200	-11.300	14.200	SEA, AD03GARTOTAL
OP22	UNPROTECTED	VENT22	128	100.600	-11.300	14.200	SEA, AD03GARTOTAL

Πίνακας 4.6 Ορισμός Ανοιγμάτων (Openings)

#### 4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (SURVIVABILITY) ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ ΜΕ ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

##### 4.4.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Για την εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών μεθόδων χρησιμοποιούνται, όπως αναφέραμε και στο θεωρητικό μέρος, τρία βυθίσματα, το μέγιστο βύθισμα υποδιαίρεσης (deepest subdivision draught), το βύθισμα άφορτωτης κατάστασης (lightest service draught) και το ενδιάμεσο βύθισμα υποδιαίρεσης (partial subdivision draught).

Επίσης για τον υπολογισμό των αναλωσίμων του πλοίου, θεωρήθηκε πως το πλοίο εκτελεί την μεγαλύτερη από τις προβλεπόμενες διαδρομές:

Λαύριο – Ψαρά – Αγ. Ευστράτιος – Λήμνος – Καβάλα + επιστροφή

Το πιο πάνω δρομολόγιο θα εκτελείται μία φορά την εβδομάδα και είναι συνολικής απόστασης 550 ναυτικών μιλίων.

Επιπλέον, ως αριθμός επιβατών ορίστηκε ο αριθμός επιβατών θέρους οι οποίοι αντιστοιχούν σε 1600 επιβάτες. Πλήρωμα του πλοίου ορίστηκε στα 40 άτομα.

Τέλος, ως payload ορίστηκε ο αριθμός των αυτοκινήτων και φορτηγών που δύναται να μεταφέρει το πλοίο. Ως χώροι Ι.Χ αυτοκινήτων θεωρήθηκαν το lower hold και το ανώτερο κατάστρωμα (upper deck). Φορτηγά εισάγονται μόνο στο κατάστρωμα οχημάτων (car deck).

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	283.5	65.52	0.00	4.25	0
Provisions	160.0	55.11	0.00	6.54	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2552.4	59.12	0.00	10.13	0
Lightweight	6750.0	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	9302.4	59.03	0.00	9.46	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	12.81 m
Trim	0.000 m	KG	9.46 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.35 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.35 m
Trimming moment	-9 tonm		

Πίνακας 4.7 Κατάσταση φόρτωσης Deepest Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	16.0	73.68	0.00	2.86	0
Provisions	9.5	82.61	0.00	5.32	0
Grey Water	29	91.42	0	1.36	915.89
Ballast	23.9	122.35	0	1.09	11.16
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2187.4	59.91	0	10.87	927
Lightweight	6750.0	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	8937.4	59.22	0	9.61	927

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	12.78
Trim	0.000 m	KG	9.61
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.17
TA	5.247 m	GMCORR	-0.1
TF	5.247 m	GM	3.07
Trimming moment	-9 ton m		

Πίνακας 4.8 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	30.6	65.32	0.00	2.22	0
Provisions	16.1	55.11	0.00	4.08	0
Grey Water	58.1	91.43	0	1.51	1188.81
Ballast	1455.8	52.7	0	5.21	10449.43
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1739.5	55.24	0	6.25	11638.2
Lightweight	6750.0	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	8489.5	58.23	0	8.59	11638.2

**Loading Condition: Lghtdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	13.14 m
Trim	-0.600 m	KG	8.59 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.55 m
TA	5.318 m	GMCORR	-1.37 m
TF	4.718 m	GM	3.18 m
Trimming moment	-10617 tonm		

Πίνακας 4.9 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

#### 4.4.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ SOLAS 2009

Το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009 εκτελέστηκε μέσω της εφαρμογής Manager του NARA. Το Manager αποτελείται από ένα σύνολο macros, τα οποία εκτελούν συγκεκριμένες ενέργειες. Στην παρούσα διπλωματική, έγινε χρήση της εφαρμογής Manager που εκτιμά την ευστάθεια πλοίου μετά από βλάβη και παράγει τις απαραίτητες αναφορές (reports) με τους υπολογισμούς.

Αρχικά, ορίστηκε την γάστρα υπολογισμού DAMHULL και τη γενική διάταξη του πλοίου. Ακολούθως, εισάχθηκε ο αριθμός επιβαινόντων για τους οποίους παρέχονται σωστικές λέμβοι και ο αριθμός επιβαινόντων (συμπεριλαμβανομένων του πληρώματος) που επιτρέπονται επάνω στο πλοίο. Με βάση αυτούς τους αριθμούς, υπολογίστηκε ο απαιτούμενος δείκτης υποδιαίρεσης και η ροπή επιβατών και σωστικών λέμβων. Ο υπολογισμός της ροπής λόγω ανέμου έγινε μέσω του προφίλ του πλοίου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ροπές επιβατών, σωστικών λέμβων και ανέμου.

### HEELING MOMENTS

```
MOM, PROBSDSMAX,
      ' Maximum moment ( PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSSURV) '
MAX, PROBSDSPASS, PROBSDSWIND, PROBSDSSURV
OK
```

```
MOM, PROBSDSPASS, ' Passenger moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 1221.07
OK
```

```
MOM, PROBSDSWIND, ' Wind moment'
TYPE, WIND
PARA, C=0.012237, PROF=PROFILE, TP2
OK
```

```
MOM, PROBSDSSURV, ' Survival craft moment'
CURV, CONSTANT
MOME, 0
OK
```



Τα argument που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν τη μελέτη παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

CALCULATION ARGUMENTS USED IN THE STUDY:

HULL	STABHULL	hull name	
HEEL	0 1 3 5 7 10 12 15 20 25 30 40 50	heeling angle	DEGREE
ARRV	ARR_NOUF	arrangement version	
OPARR	PROB.OPARR	opening arrangement	
CCONN	CCONN*PROB.CCONN	compartment connections	
FORCE	BOTH	force heel side & range	
OPTION	PERM NOPROGR LOG CDISP CDIR	calc. and output options	
CMARG	...	margin line	
ROP	OP01 OP02 OP03 OP04 OP05 OP06 OP07 OP08 OP09 OP10 OP11 OP12 ROP OP01 OP02 OP03 OP04 OP05 OP06 OP07 OP08 OP09 OP10 OP11 OP12, OP13 OP14 OP15 OP16 OP17 OP18 OP19 OP20 OP21 OP22	relevant openings	
RCR	...	relevant criteria	
CGM	not given	changed gm	M
WTARR	ARR_NOUF	watertight arrangement	
SYTOL	0.001	symmetry tolerance	M
TRLIM	80	trim limit	DEGREE
SWH	not given	significant wave height	M
CFRB	...	freeboard deck edge	
AAS	not given	auto assign of arguments	

Πίνακας 4.10 Arguments SOLAS 2009

Με βάση τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν και τις ζώνες υποδιαίρεσης που έχουν οριστεί, δημιουργείται, μέσω του Manager, ο πίνακας ορίων διαμερισμάτων (compartments limits table).

Compartment Limits

NAME	ZONE	ALIMIT	FLIMIT	PLIMIT	SLIMIT	LLIMIT	UPLIMIT
AN16VOID	Z1	DAMHULL	PL2	-	-	DBOT	MAINDK
AD0201WB	Z1-3	DAMHULL	PL4	-	-	DBOT/DECK02	MAINDK
AD02N15VOID	Z2	PL2	PL3	-	-	DECK02	MAINDK
AD03GARTOTAL	Z2-13	PL2	PL14	-	-	MAINDK	-
ADD02STEERGEAR	Z2	PL2	PL3	-	-	-	MAINDK
AD00N14VOID	Z3	PL3	PL4	-	-	-	MAINDK
AD0202FW	Z3	PL3	PL4	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
UPPERDECK	Z3-13	PL3	PL14	-	-	MAINDK	-
BD02N13VOID	Z4	PL4	PL5	-	-	DBOT	MAINDK
BD02N12VOID	Z4	PL4	PL5	-	-	DBOT	DECK02
BDD02N02ENGSTORE	Z4	PL4	PL5	B5SURF	-	DECK02	MAINDK
BDD02POWERCONVROOM	Z4	PL4	PL5	-	-	DECK02	MAINDK
BZ0N17VOID	Z4	PL4	PL5	B5SURF	-	-	DBOT
BDDBN11VOID	Z5	PL5	PL6	-	-	DBOT	DECK02
BDZ003WB	Z5,	PL5	PL6	B5SURF	-	DBOT	DECK02
BDD02AUXROOM	Z5	PL5	PL6	-	-	DBOT	DECK02
CNTR.CASING	Z5-8	PL5	PL9	B5SURF	-	MAINDK	-
BZ0N18VOID	Z5	PL5	PL6	-	-	-	DBOT
CDZ010VOID	Z6	PL6	PL7	-	-	-	DBOT
CDDBN01LOCIRCT	Z6	PL6	PL7	B5SURF	-	-	DBOT
CDDBN02LOCIRCT	Z6	PL6	PL7	B5SURF	-	-	DBOT
CDDBN03LOCIRCT	Z6	PL6	PL7	B5SURF	-	-	DBOT
CDDBN04LOCIRCT	Z6	PL6	PL7	B5SURF	-	-	DBOT
CDD02ENGROOM	Z6	PL6	PL7	-	-	-	MAINDK
CDD02N01ENGSTORE	Z6	PL6	PL7	-	-	DECK02	MAINDK
CDZ009VOID	Z7	PL7	PL8	-	-	-	DBOT
CDD02HEELTP	Z7	PL7	PL8	-	-	DBOT	MAINDK
CDD02DIESELT	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
CDDBDIESELSTORT	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
CDDBHFOSEVTS	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
CDDBHFOSETLTP	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
CDDBLORNTTP	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	-	DBOT
CDDBLORNTS	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	-	DBOT
CDDBN02PUMP	Z7	PL7	PL8	-	-	-	DBOT
CDDBN03PUMP	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	-	DBOT
CZ0TRIMROOM	Z7	PL7	PL8	-	-	-	MAINDK
CDD02HEELTS	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
CDD02WORKSHOP	Z7	PL7	PL8	-	-	DBOT	MAINDK
CDZ0SLUDGET	Z7	PL7	PL8	B5SURF	-	-	DBOT
DDZ008VOID	Z8	PL8	PL9	-	-	-	DBOT
DDDBLHGAR	Z8-10	PL8	PL11	B5SURF	-	DBOT	MAINDK
DZ0N20VOID	Z8	PL8	PL9	-	-	-	DBOT
DD02NO1ROROSPACE	Z8	PL8	PL9	-	-	DBOT	MAINDK
DDZ007VOID	Z9	PL9	PL10	-	-	-	DBOT

DZ0N21VOID	Z9	PL9	PL10	-	-	-	DBOT
DD02NO2ROROSPACE	Z9	PL9	PL10	-	-	DBOT	MAINDK
DDZ006VOID	Z10	PL10	PL11	-	-	-	DBOT
DZ0N22VOID	Z10	PL10	PL11	-	-	-	DBOT
DD02NO3ROROSPACE	Z10	PL10	PL11	-	-	DBOT	MAINDK
EDZ005VOID	Z11	PL11	PL12	-	-	-	DBOT
ED0204VOID	Z11	PL11	PL12	-	-	DBOT	DECK02
ED0201FW	Z11	PL11	PL12	B5SURF	-	DECK02	MAINDK
EDDBGRAY	Z11	PL11	PL12,	-	-	DBOT	DECK02
EDD02HFOSTORP	Z11	PL11	PL12	B5SURF	-	DECK02	MAINDK
EDD02HFOSTORS	Z11	PL11	PL12	B5SURF	-	DECK02	MAINDK
EDDBNO1PUMP	Z11	PL11	PL12	-	-	-	DBOT
EDZ003VOID	Z12	PL12	PL13	-	-	-	DBOT
ED0202VOID	Z12	PL12	PL13	-	-	DBOT	DECK02
EDZ001VOID	Z13	PL13	PL14	-	-	-	DBOT
EDZ001WB	Z13	PL13	PL14,	-	-	-	DECK02
FFPTK	Z14	PL14	DAMHULL	-	-	-	-

Πίνακας 4.11 Όρια διαμερισμάτων

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η εκτέλεση του macro μέσω του Manager ώστε υπολογιστεί ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης για πέντε ζώνες, ακολουθώντας τους κανόνες του πιθανοθεωρητικού μοντέλου που προβλέπει η SOLAS 2009. Στον πίνακα 4.12 αναγράφονται το μήκος υποδιαίρεσης, το κοίλο, ο αριθμός των ατόμων N1 και N2, ο Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης R, ο Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης A, τα βυθίσματα Deepest Subdivision Draught, Partial Subdivision Draught και Lightest Subdivision Draught, τα μετακεντρικά ύψη GM για τα βυθίσματα αυτά.

Ακολούθως, στο σχήμα 4.10 παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη επιβιωσιμότητας s (survivability factor) για κάθε κατάκλυση διαμερίσματος, ή συνδυασμού διαμερισμάτων. Με πράσινο χρώμα συμβολίζονται τα  $s \geq 0.99$ , για το κίτρινο ισχύει ότι  $0.05 \leq s \leq 0.99$  και για το κόκκινο ισχύει ότι  $s \leq 0.05$ . Με λευκό χρώμα ισχύει ότι  $p \cdot v \cdot s \geq 0.0001$ .

## INDEX SUMMARY

TRIM 0  
 ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX  
 Subdivision length 137.031 m  
 Breadth at the load line 22.612 m  
 Breadth at the bulkhead deck 22.605 m  
 Number of persons N1 0  
 Number of persons N2 1640  
 Required subdivision index R = 0.78779  
 Attained subdivision index A = 0.80483

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF	
	m	m				
DL	5.018	3.180	1.03	0.81274	0.16255	0.200
DP	5.247	3.070	1.03	0.80963	0.32385	0.400
DS	5.400	3.350	1.01	0.79608	0.31843	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

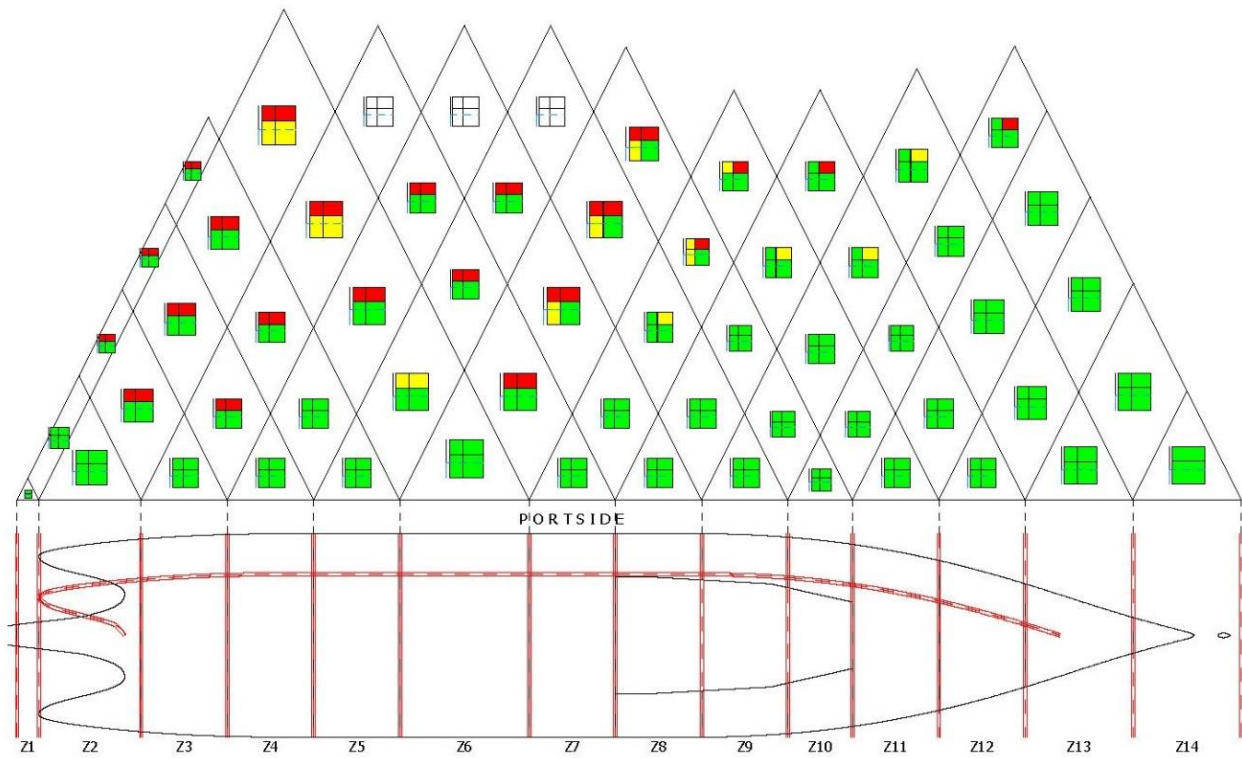
DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.35928
2-ZONE DAMAGES	0.34188
3-ZONE DAMAGES	0.08084
4-ZONE DAMAGES	0.01898
5-ZONE DAMAGES	0.00386
A-INDEX TOTAL	0.80483

Πίνακας 4.12 Attained Index για το πλοίο αναφοράς

## S-FACTOR DIAGRAMS

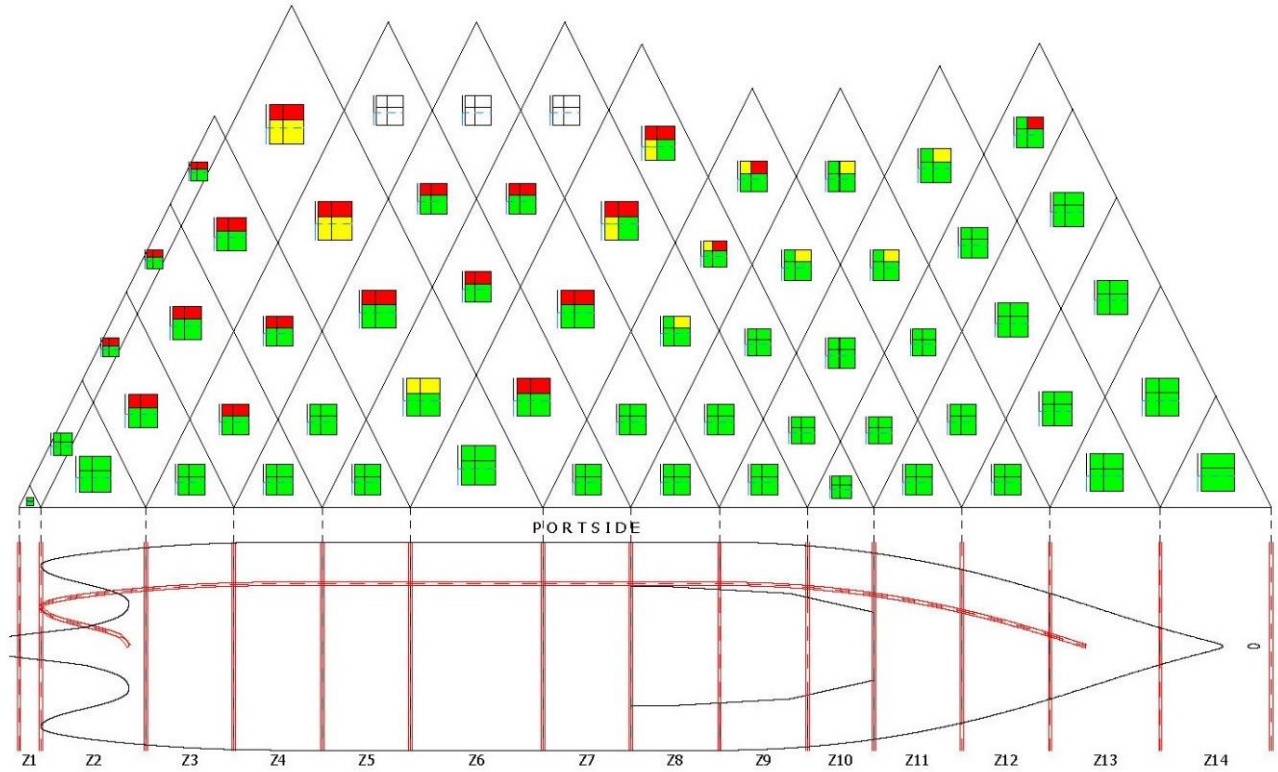
TRIM 0

RESULT TABLE: TAB\*SDSD1RES2-TR0  
INITIAL CONDITION: DL  
DRAUGHT: 5.018  
GM: 3.18  
A-value PS: 0.1625



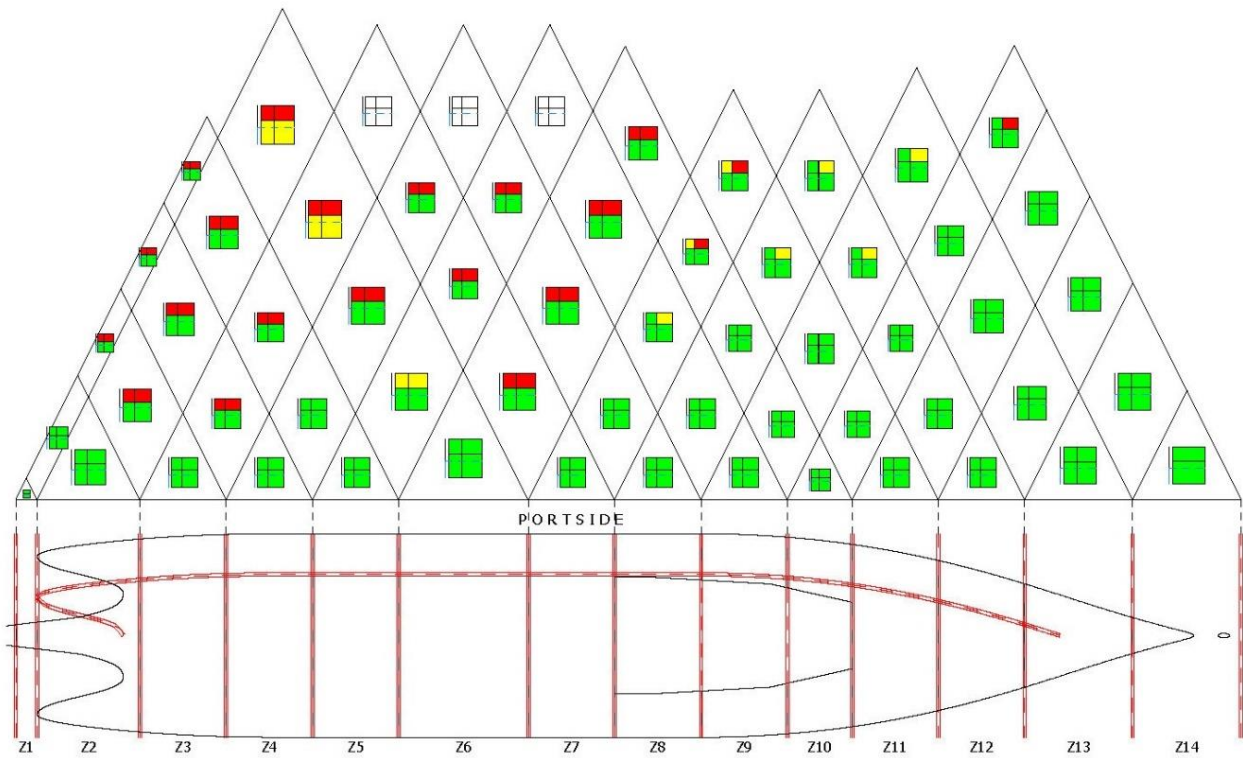
Σχήμα 4.10 Διάγραμμα δείκτη s για Lightest Service Draught

RESULT TABLE: TAB\*SDSD1RES2-TR0  
INITIAL CONDITION: DP  
DRAUGHT: 5.247  
GM: 3.07  
A-value PS: 0.3239



Σχήμα 4.11 Διάγραμμα δείκτη  $s$  για Partial Subdivision Draught

RESULT TABLE: TAB\*SDSD1RES2-TR0  
INITIAL CONDITION: DS  
DRAUGHT: 5.4  
GM: 3.35  
A-value PS: 0.3184



Σχήμα 4.12 Διάγραμμα δείκτη  $s$  για Deepest Subdivision Draught

Βάση των αποτελεσμάτων, ο επιτευχθείς δείκτης υποδιαίρεσης είναι μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης,  $A \geq R$ , επομένως το πλοίο αναφοράς εμπίπτει στον κανονισμό της SOLAS 2009.

#### 4.4.3 ΠΡΟΤΑΣΗ SLF55

Κατά τη διάρκεια εσωτερικών συζητήσεων μεταξύ εμπειρογνομόνων μέσα στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προτάθηκε το 2012 από την επιτροπή ευστάθειας και γραμμής φόρτωσης και αλιευτικών σκαφών (Committee on Stability and Load Lines and On Fishing Vessels-SLF) μία διαφορετική διατύπωση του δείκτη  $s_i$ . Η διατύπωση αυτή βασίζεται την εμπειρία σχεδιασμού και έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των επιπτώσεων συσσώρευσης υδάτων στο κατάστρωμα (water on deck).

Η πρόταση συμπεριλαμβάνει τον όρο  $s_{wod}$ , ο οποίος θα επιτύχει ένα βελτιωμένο επίπεδο επιβιωσιμότητας μόνο σε περιπτώσεις βλάβης όπου το κατάστρωμα οχημάτων διαπερνάται ως εξής:

$$s_i = \min(s_{intermediate}; s_{final} \cdot s_{moment} \cdot s_{wod})$$

όπου

$$s_{wod} = \left[ \frac{GZ_{max}}{0.2} \cdot \frac{Range}{20} \right]^{\frac{1}{4}}$$

όπου

$GZ_{max}$  και  $Range$  δεν πρέπει να λαμβάνουν τιμή μεγαλύτερη των 0.20 m και 20° αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό του δείκτη A έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πιθανοθεωρητικού μοντέλου της SOLAS 2009, σύμφωνα με τις αρχές της πρότασης SLF-55. Υπολογίστηκε κάθε φορά η νέα πιθανότητα  $s_i$  και χρησιμοποιήθηκε στην εύρεση του δείκτη A. Η πιθανότητα  $s_i$  τροποποιήθηκε μόνο όταν οι περιπτώσεις βλάβης αφορούσαν στην κατάκλυση ενός ή περισσότερων Ro-Ro χώρων.

SLF55 Proposal			
ΠΛΟΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ			
Beam	22.600 m		
Depth	7.800 m		
Subdivision Draught	5.400 m	GM_Subd	3.350 m
Partial Draught	5.247 m	GM_Part	3.070 m
Lightest Service Draught	5.018 m	GM_Light	3.180 m
A_SLF55		0.78730	

Πίνακας 4.13 Attained Index σύμφωνα με την πρόταση της SLF55

Από τον πίνακα 4.13 γίνεται αντιληπτό πως η πρόταση της SLF55 είναι πιο αυστηρή από την SOLAS 2009, γεγονός που δίνει πιο χαμηλό επιτευχθέντα δείκτη υποδιαίρεσης A. Ο συγκεκριμένος δείκτης A είναι κατά ελάχιστο μικρότερος (0.06%) από τον απαιτούμενο δείκτη υποδιαίρεσης R, άρα το πλοίο δεν συμμορφώνεται με τον κανονισμό.



#### 4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ/ΜΕΙΩΣΗΣ ΡΙΣΚΟΥ (RISK CONTROL OPTIONS)

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε ορισμένες σχεδιαστικές μετατροπές στο πλοίο αναφοράς προκειμένου να μελετηθούν και να βελτιστοποιηθούν η επιβιωσιμότητα και τα οικονομικά στοιχεία. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για αυτό το σκοπό, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, είναι το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

Στις τροποποιημένες σχεδιάσεις ήταν απαραίτητη η εύρεση του νέου βάρους άφορτου σκάφους (Lightship) κάθε φορά, ώστε να γίνει ο υπολογισμός των καταστάσεων φόρτωσης και να εφαρμοστεί το πιθανοθεωρητικό μοντέλο. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

$$\begin{aligned}
 LS_1 &= LS_0 + 0.1(\nabla_{HULL_1} - \nabla_{HULL_0}) \\
 DWT_1 &= DWT_0 \\
 \Delta LS &= LS_1 - LS_0 \\
 LCG_{LS_1} &= LCG_{LS_0} \\
 VCG_{LS_1} &= \frac{(LS_0 \cdot VCG_{LS_0} + \Delta LS \cdot VCG_{HULL})}{LS_1} \\
 VSG_{LS_1} &= VCG_{LS_1} + 0.50(h_{MD_1} - h_{MD_0})
 \end{aligned}$$

##### 4.5.1 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΔΒ=+0.2 ΜΕΤΡΑ

Το πλάτος του πλοίου αναφοράς αυξήθηκε κατά 0.2 μέτρα και το μέγιστο πλάτος ισούται με 22.8 μέτρα.

Transformed ROPAX 01			
Beam	22.800 m		
Depth	7.800 m		
Lightship	6758.2 tn		
Displacement (Subdivision)	9384.8 tn	GM_Subd	3.560 m
Displacement (Partial)	9018.2 tn	GM_Part	3.390 m
Displacement (Lightest)	8509.3 tn	GM_Light	3.070 m

Πίνακας 4.14 Δεδομένα για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 01»

Ακολούθως, εφαρμόστηκε το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

## INDEX SUMMARY

TRIM 0

ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX

Subdivision length 137.031 m  
 Breadth at the load line 22.817 m  
 Breadth at the bulkhead deck 22.809 m  
 Number of persons N1 0  
 Number of persons N2 1640  
 Required subdivision index R = 0.78779  
 Attained subdivision index A = 0.85049

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF
	m	m			
DL	5.018	3.070 1.09	0.86019	0.17204	0.200
DP	5.247	3.390 1.09	0.85635	0.34254	0.400
DS	5.400	3.560 1.07	0.83979	0.33591	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.39037
2-ZONE DAMAGES	0.35332
3-ZONE DAMAGES	0.08282
4-ZONE DAMAGES	0.01977
5-ZONE DAMAGES	0.00421
A-INDEX TOTAL	0.85049

Πίνακας 4.15 Attained index για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 01»

#### 4.5.2 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΔΒ=+0.4 ΜΕΤΡΑ

Το πλάτος του πλοίου αναφοράς αυξήθηκε κατά 0.4 μέτρα και το μέγιστο πλάτος ισούται με 23.0 μέτρα.

<b>Beam</b>	23.000 m		
<b>Depth</b>	7.800 m		
<b>Lightship</b>	6766.1 tn		
<b>Displacement (Subdivision)</b>	9449.2 tn	<b>GM_Subd</b>	3.740 m
<b>Displacement (Partial)</b>	9096.8 tn	<b>GM_Part</b>	3.530 m
<b>Displacement (Lightest)</b>	8581.4 tn	<b>GM_Light</b>	3.270 m

Πίνακας 4.16 Δεδομένα για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 02»

Ακολούθως, εφαρμόστηκε το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

## INDEX SUMMARY

TRIM 0  
 ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX  
 Subdivision length 137.031 m  
 Breadth at the load line 23.013 m  
 Breadth at the bulkhead deck 23.005 m  
 Number of persons N1 0  
 Number of persons N2 1640  
 Required subdivision index R = 0.78779  
 Attained subdivision index A = 0.85369

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF
	m	m			
DL	5.018	3.270 1.10	0.86475	0.17295	0.200
DP	5.247	3.530 1.09	0.85843	0.34337	0.400
DS	5.400	3.740 1.07	0.84342	0.33737	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.39037
2-ZONE DAMAGES	0.35543
3-ZONE DAMAGES	0.08325
4-ZONE DAMAGES	0.02023
5-ZONE DAMAGES	0.00440
A-INDEX TOTAL	0.85369

Πίνακας 4.17 Attained index για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 02»

#### 4.5.3 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ $\Delta D = +0.2$ ΜΕΤΡΑ

Το ύψος του καταστρώματος οχημάτων αυξήθηκε κατά 0.2 μέτρα, με αποτέλεσμα το main deck να έχει ύψος 8.0 μέτρα.

**Transformed ROPAX 03**

<b>Beam</b>	22.600 m		
<b>Depth</b>	8.000 m		
<b>Lightship</b>	6750.0 tn		
<b>Displacement (Subdivision)</b>	9306.5 tn	<b>GM_Subd</b>	3.210 m
<b>Displacement (Partial)</b>	8937.3 tn	<b>GM_Part</b>	3.010 m
<b>Displacement (Lightest)</b>	8446.2 tn	<b>GM_Light</b>	2.790 m

Πίνακας 4.18 Δεδομένα για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 03»

Ακολούθως, εφαρμόστηκε το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

## INDEX SUMMARY

TRIM 0

ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX

Subdivision length 137.031 m  
 Breadth at the load line 22.612 m  
 Breadth at the bulkhead deck 22.605 m  
 Number of persons N1 0  
 Number of persons N2 1640  
 Required subdivision index R = 0.78779  
 Attained subdivision index A = 0.85865

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF
	m	m			
DL	5.018	2.790 1.10	0.86344	0.17269	0.200
DP	5.247	3.010 1.10	0.86266	0.34506	0.400
DS	5.400	3.210 1.08	0.85225	0.34090	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.39037
2-ZONE DAMAGES	0.36021
3-ZONE DAMAGES	0.08425
4-ZONE DAMAGES	0.01974
5-ZONE DAMAGES	0.00407
A-INDEX TOTAL	0.85865

Πίνακας 4.19 Attained index για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 03»

#### 4.5.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ $\Delta D = +0.4$ ΜΕΤΡΑ

Το ύψος του καταστρώματος οχημάτων αυξήθηκε κατά 0.4 μέτρα, με αποτέλεσμα το main deck να έχει ύψος 8.2 μέτρα.

**Transformed ROPAX 04**

<b>Beam</b>	22.600 m		
<b>Depth</b>	8.200 m		
<b>Lightship</b>	6750.0 tn		
<b>Displacement (Subdivision)</b>	9302.4 tn	<b>GM_Subd</b>	3.120 m
<b>Displacement (Partial)</b>	8938.5 tn	<b>GM_Part</b>	2.920 m
<b>Displacement (Lightest)</b>	8506.2 tn	<b>GM_Light</b>	2.960 m

Πίνακας 4.20 Δεδομένα για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 04»

Ακολούθως, εφαρμόστηκε το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

## INDEX SUMMARY

TRIM 0

ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX

Subdivision length 137.031 m  
Breadth at the load line 22.612 m  
Breadth at the bulkhead deck 22.605 m  
Number of persons N1 0  
Number of persons N2 1640  
Required subdivision index R = 0.78779  
Attained subdivision index A = 0.86772

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF
	m	m			
DL	5.018	2.960 1.10	0.86693	0.17339	0.200
DP	5.247	2.920 1.11	0.87195	0.34878	0.400
DS	5.400	3.120 1.10	0.86387	0.34555	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.39037
2-ZONE DAMAGES	0.36671
3-ZONE DAMAGES	0.08587
4-ZONE DAMAGES	0.02048
5-ZONE DAMAGES	0.00428
A-INDEX TOTAL	0.86772

Πίνακας 4.21 Attained index για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 04»



4.5.5 ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ  $\Delta D=+0.2$  ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΑ  $\Delta B=+0.2$

Το ύψος του καταστρώματος οχημάτων αυξήθηκε κατά 0.2 μέτρα, με αποτέλεσμα το main deck να έχει ύψος 8.0 μέτρα. Επίσης, έγινε και μία αύξηση στο πλάτος κατά 0.2 μέτρα και το μέγιστο πλάτος έφθασε τα 22.8 μέτρα.

**Transformed ROPAX 05**

<b>Beam</b>	22.800 m		
<b>Depth</b>	8.000 m		
<b>Lightship</b>	6758.2 tn		
<b>Displacement (Subdivision)</b>	9384.3 tn	<b>GM_Subd</b>	3.410 m
<b>Displacement (Partial)</b>	9014.5 tn	<b>GM_Part</b>	3.150 m
<b>Displacement (Lightest)</b>	8528.8 tn	<b>GM_Light</b>	2.910 m

Πίνακας 4.22 Δεδομένα για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 05»

Ακολούθως, εφαρμόστηκε το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009.

## INDEX SUMMARY

TRIM 0

ATTAINED AND REQUIRED SUBDIVISION INDEX

Subdivision length 137.031 m  
Breadth at the load line 22.813 m  
Breadth at the bulkhead deck 22.805 m  
Number of persons N1 0  
Number of persons N2 1640  
Required subdivision index R = 0.78779  
Attained subdivision index A = 0.86090

INIT	T	GMA/R	A	A*WCOE F	WCOEF
	m	m			
DL	5.018	2.910 1.10	0.86359	0.17272	0.200
DP	5.247	3.150 1.10	0.86460	0.34584	0.400
DS	5.400	3.410 1.09	0.85584	0.34234	0.400

INDEX ACCORDING TO NUMBER OF ZONES

DAMAGES	W*P*V*S
1-ZONE DAMAGES	0.39037
2-ZONE DAMAGES	0.36147
3-ZONE DAMAGES	0.08465
4-ZONE DAMAGES	0.02015
5-ZONE DAMAGES	0.00425
A-INDEX TOTAL	0.86090

Πίνακας 4.23 Attained index για πλοίο αναφοράς «Transformed ROPAX 05»

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SOLAS 2009

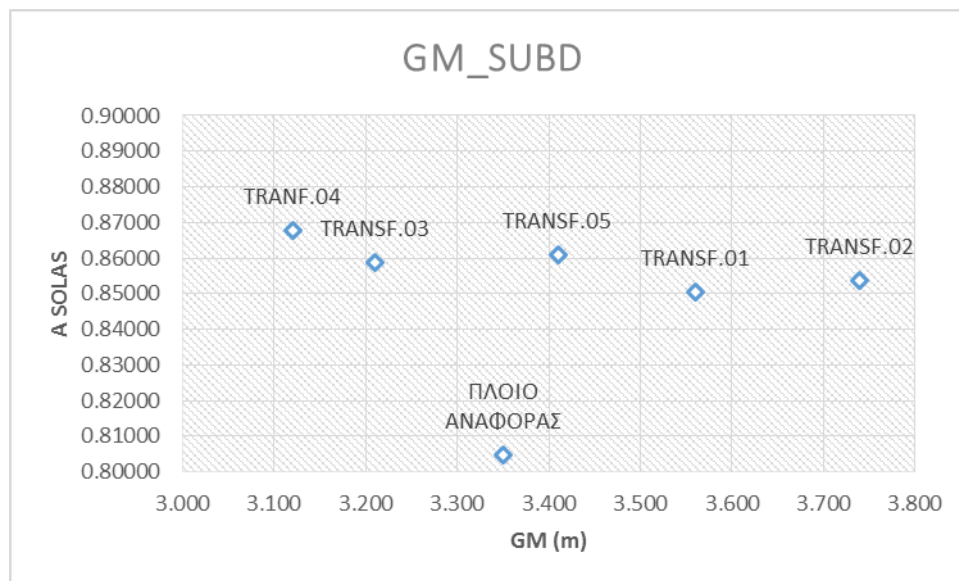
#### 5.1.1 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗΣ A

Αρχικά, παρατίθεται ο συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων για εύρεση του δείκτη υποδιαίρεσης για το πλοίο αναφοράς και τις τροποποιημένες διατάξεις.

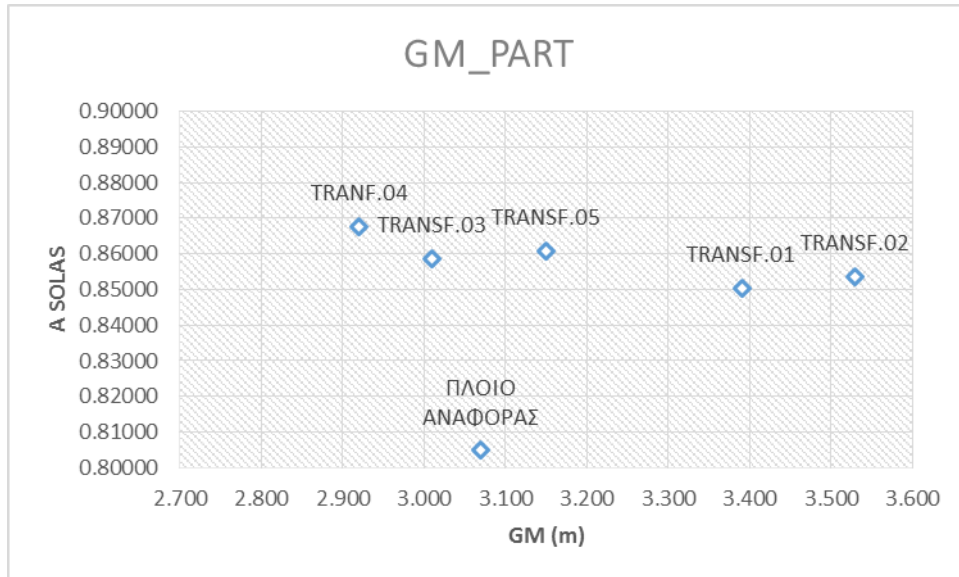
Version	Beam (m)	Depth (m)	GM_Subd (m)	GM_Part (m)	GM_Light (m)	A_SOLAS
<b>Πλοίο Αναφοράς</b>	22.600	7.800	3.350	3.070	3.180	0.80483
<b>Transformed ROPAX 01</b>	22.800	7.800	3.560	3.390	3.070	0.85049
<b>Transformed ROPAX 02</b>	23.000	7.800	3.740	3.530	3.270	0.85369
<b>Transformed ROPAX 03</b>	22.600	8.000	3.210	3.010	2.790	0.85865
<b>Transformed ROPAX 04</b>	22.600	8.200	3.120	2.920	2.960	0.86772
<b>Transformed ROPAX 05</b>	22.800	8.000	3.410	3.150	2.910	0.86090

Πίνακας 5.1 Attained index κατά SOLAS για κάθε σχεδίαση

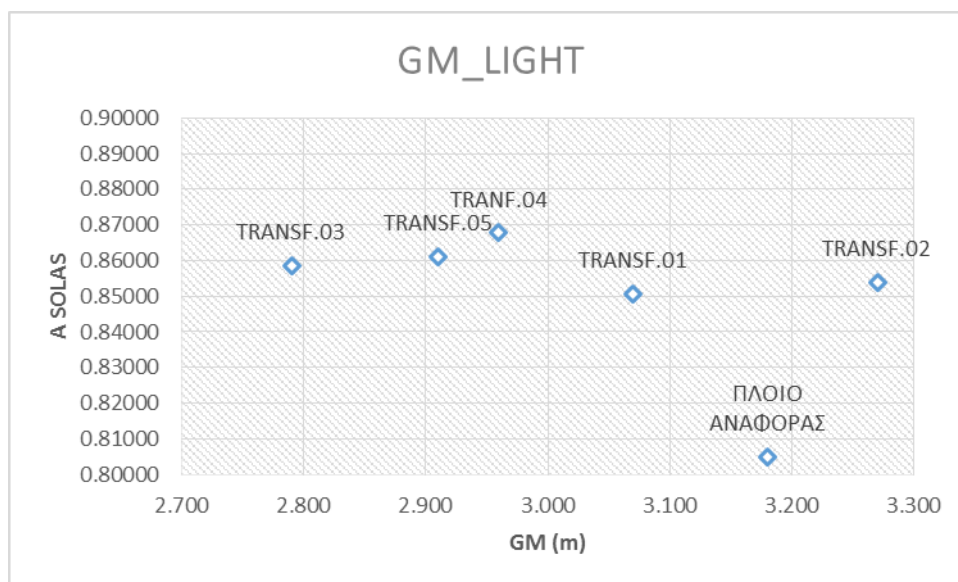
Μία πρώτη παρατήρηση στα αποτελέσματα είναι πως η αύξηση του πλάτους και του ύψους του καταστρώματος οχημάτων αυξάνει τον δείκτη υποδιαίρεσης. Η κάθε αύξηση μεταβάλλει τα μετακεντρικά ύψη στις τρεις καταστάσεις φόρτωσης. Σημαντική μεταβολή του δείκτη παρατηρούμε στη version «Transformed ROPAX 01» όπου η αύξηση του πλάτους επηρέασε σημαντικά τα μετακεντρικά ύψη με αποτέλεσμα την αύξηση του A κατά 5.67%. Η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε όταν αυξήθηκε το ύψος τους καταστρώματος οχημάτων στα 8.2 μέτρα, αύξηση 7.81%.



Διάγραμμα 5.1 Μεταβολή Attained index σε σχέση με GM στην κατάσταση subdivision



Διάγραμμα 5.2 Μεταβολή Attained index σε σχέση με GM στην κατάσταση partial

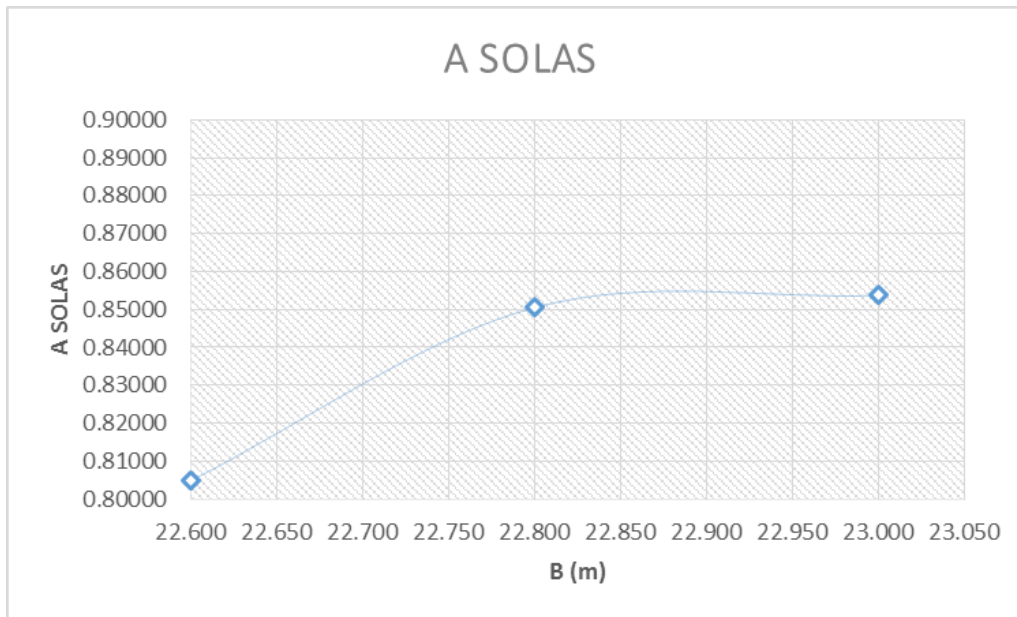


Διάγραμμα 5.3 Μεταβολή Attained index σε σχέση με GM στην κατάσταση lightest service

Από τα διαγράμματα 5.1 – 5.3 παρατηρείται πως το πλάτος B είναι το μέγεθος που επηρεάζει άμεσα την ευστάθεια του πλοίου, με αποτέλεσμα την αισθητή άνοδο του δείκτη A. Με αύξηση του πλάτους B, παρατηρείται αρκετά μεγάλη αύξηση του μετακεντρικού ύψους GM, επομένως, μείωση της γωνίας εγκάρσιας κλίσης. Αυξημένο μετακεντρικό ύψος παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι βύθισης λόγω ανατροπής αλλά σχετίζεται με μικρότερους περιόδους διατοιχισμού (rolling) που κάνει άβολο το ταξίδι για τους επιβαίνοντες.

Η περίπτωση της αύξησης του καταστρώματος στεγανών φρακτών παρουσιάζεται αρκετά διαφορετική σε σχέση με αυτή της αύξησης του πλάτους. Μικρή αλλαγή του κοίλου έχει ως

επίδραση την σημαντική άνοδο του δείκτη A. Σε περιπτώσεις, όμως, που το κοίλο αυξάνεται αρκετά, ο δείκτης A δεν αυξάνεται με ίδιο ρυθμό, λόγω της μείωσης του μετακεντρικού ύψους GM.



Διάγραμμα 5.4 Μεταβολή Attained index σε σχέση με το πλάτος

### 5.1.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε αυτήν την παράγραφο υπολογίζονται ορισμένα οικονομικά στοιχεία των πλοίων που εξετάστηκαν. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με χρήση του προγράμματος Excel.

Οι κυριότερες παράμετροι για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι ο δείκτης υποδιαίρεσης A, το ακαθάριστο κόστος για την αποφυγή ενός θανάτου GCAF και η πιθανότητα απώλειας ζωής PLL. Σκοπός της μελέτης είναι η συσχέτιση του δείκτη A με τα μεγέθη GCAF και PLL, ώστε να εξαχθούν κάποια σημαντικά συμπεράσματα σε σχέση με την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου.

Το ακαθάριστο κόστος για την αποφυγή ενός θανάτου GCAF (Cross Cost of Averting a Fatality), το οποίο λαμβάνεται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IMO, χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο της αποτελεσματικότητας κάθε σχεδιαστικής τροποποίησης (Risk Control Option). Το GCAF υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$GCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

Η μείωση ρίσκου  $\Delta R$  για το πλοίο λαμβάνεται ως  $\Delta PLL$ ,

$$\Delta R = \Delta PLL$$

Το όριο GCAF που χρησιμοποιείται σε διάφορα FSAs που υποβάλλονται στον IMO, ορίστηκε ίσο με \$3 εκατομμύρια/απώλεια ζωής, βασισμένο σε κοινωνικά πρότυπα της δεκαετίας του

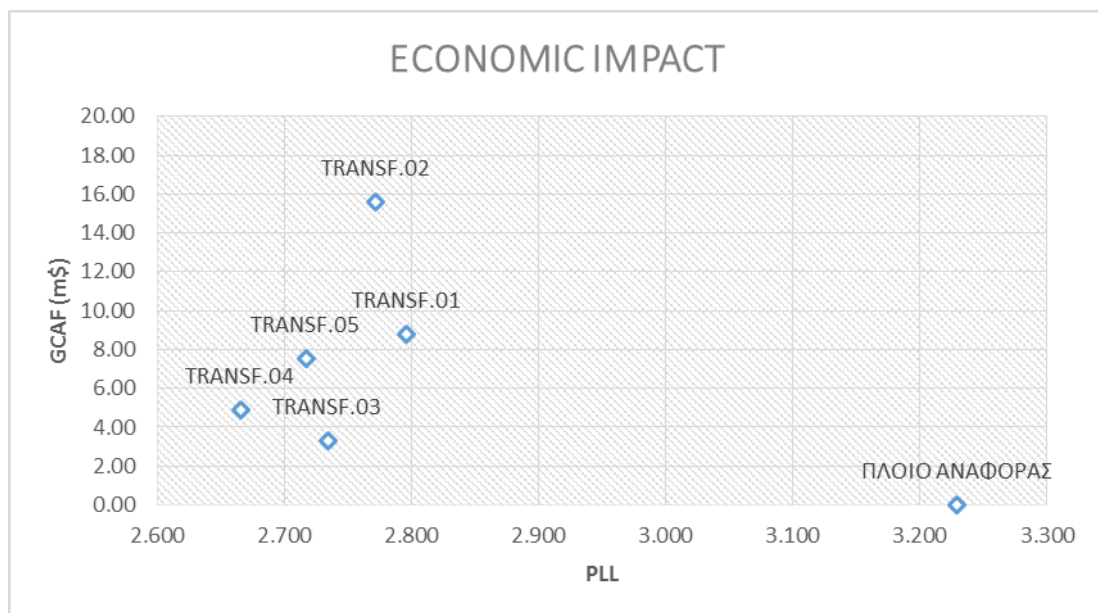
’90. Ωστόσο, διευκρινίζεται στους κανονισμούς FSA ότι οι προτεινόμενες τιμές για τα όρια NCAF και GCAF, που προέρχονται από τη συνεκτίμηση των κοινωνικών προτύπων, δεν είναι σταθερά και θα πρέπει στην πραγματικότητα να ενημερώνονται κατά καιρούς, σύμφωνα με το δείκτη μέσου ρίσκου επιστροφής (περίπου 5%) , ή σύμφωνα με τους τύπους που βασίζονται στο Life Quality Index (LQI) .

Στα πλαίσια της έρευνας για τη μέθοδο GOALDS, το όριο GCAF έχει ενημερωθεί και η τιμή του είναι \$7.45 εκατομμύρια για κάθε απώλεια ζωής. Η τιμή αυτή έχει υιοθετηθεί ως το όριο του GCAF για τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Για τον υπολογισμό του GCAF, αρχικά υπολογίστηκε η ισχύς της κάθε τροποποιημένης σχεδίασης βάση του συντελεστή ναυαρχείου (admiralty formula) και ακολούθως υπολογίστηκε το κόστος της κάθε αυξημένης ισχύς. Επίσης εκτιμήθηκε το κόστος της τροποποιημένης μεταλλικής κατασκευής. Έπειτα, με βάση τον δείκτη A υπολογίστηκε η μείωση ρίσκου σε μονάδες PLL και η μεταβολή ΔPLL για κάθε σχεδίαση σε σχέση με το πλοίο αναφοράς.

Version	Beam (m)	Depth (m)	A_SOLAS	Power (hp)	ΔC (\$)	PLL	GCAF (\$)
<b>Πλοίο Αναφοράς</b>	22.600	7.800	0.80483	46666.8	0	3.229	0
<b>Transformed ROPAX 01</b>	22.800	7.800	0.85049	46941.9	3792416	2.796	8761724
<b>Transformed ROPAX 02</b>	23.000	7.800	0.85369	47156.5	7120145	2.772	15574768
<b>Transformed ROPAX 03</b>	22.600	8.000	0.85865	46680.5	1644187	2.734	3322563
<b>Transformed ROPAX 04</b>	22.600	8.200	0.86772	46676.8	2769421	2.665	4912176
<b>Transformed ROPAX 05</b>	22.800	8.000	0.86090	46940.3	3841724	2.717	7504027

Πίνακας 5.2 Οικονομικά στοιχεία για κάθε σχεδίαση κατά SOLAS



Διάγραμμα 5.5 Μεταβολή GCAF για κάθε σχεδίαση κατά SOLAS

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 5.2 και του διαγράμματος 5.5, οι εναλλακτικές σχεδιάσεις που βρίσκονται μέσα στο όριο των 7.45 m\$ είναι η αρχική σχεδίαση, η «TRANSFORMED ROPAX 03» και η «TRANSFORMED ROPAX 04». Οι υπόλοιπες σχεδιάσεις βρίσκονται εκτός του ορίου GCAF λόγω του αυξημένου κόστους κατασκευής λόγω αύξησης του πλάτους και της κατανάλωσης καυσίμου.

## 5.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ SLF55

### 5.2.1 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗΣ A

Σε αυτό το στάδιο θα γίνει ο υπολογισμός του δείκτη A για κάθε τροποποιημένη σχεδίαση σύμφωνα με την πρόταση της SLF55. Τα συνοπτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

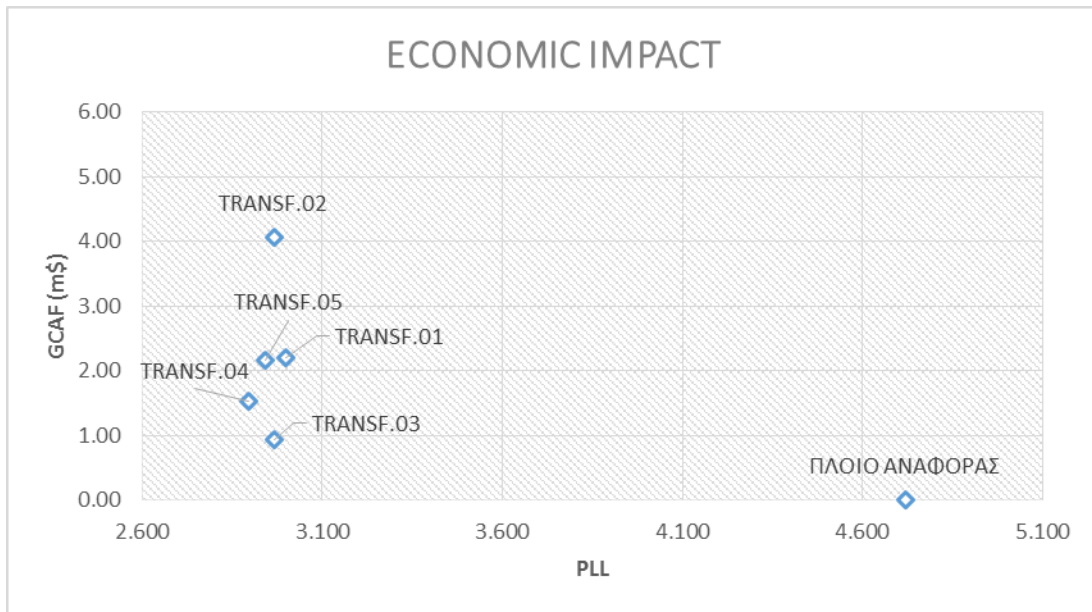
Version	Beam (m)	Depth (m)	GM_Subd (m)	GM_Part (m)	GM_Light (m)	A_SLF55
<b>Πλοίο Αναφοράς</b>	22.600	7.800	3.350	3.070	3.180	0.78730
<b>Transformed ROPAX 01</b>	22.800	7.800	3.560	3.390	3.070	0.82893
<b>Transformed ROPAX 02</b>	23.000	7.800	3.740	3.530	3.270	0.83260
<b>Transformed ROPAX 03</b>	22.600	8.000	3.210	3.010	2.790	0.83253
<b>Transformed ROPAX 04</b>	22.600	8.200	3.120	2.920	2.960	0.83992
<b>Transformed ROPAX 05</b>	22.800	8.000	3.410	3.150	2.910	0.83517

Πίνακας 5.3 Attained index κατά SLF55 για κάθε σχεδίαση

Γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα 5.3 πως το πλάτος B είναι κι εδώ το μέγεθος που επηρεάζει άμεσα την ευστάθεια του πλοίου, αυξάνοντας αισθητά τον δείκτη A. Ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα με την μέθοδο SOLAS μόνο που εδώ η πρόταση SLF-55 είναι πιο αυστηρή, με μικρότερες τιμές του δείκτη A, σε σχέση με πριν.

Version	Beam (m)	Depth (m)	A_SLF55	Power (hp)	ΔC (\$)	PLL	GCAF (\$)
<b>Πλοίο Αναφοράς</b>	22.600	7.800	0.78730	46666.8	0	4.720	0
<b>Transformed ROPAX 01</b>	22.800	7.800	0.82893	46941.9	3792416	3.000	2205585
<b>Transformed ROPAX 02</b>	23.000	7.800	0.83260	47156.5	7120145	2.965	4058624
<b>Transformed ROPAX 03</b>	22.600	8.000	0.83253	46680.5	1644187	2.966	937575
<b>Transformed ROPAX 04</b>	22.600	8.200	0.83992	46676.8	2769421	2.896	1518435
<b>Transformed ROPAX 05</b>	22.800	8.000	0.83517	46940.3	3841724	2.941	2159801

Πίνακας 5.4 Οικονομικά στοιχεία για κάθε σχεδίαση κατά SLF55



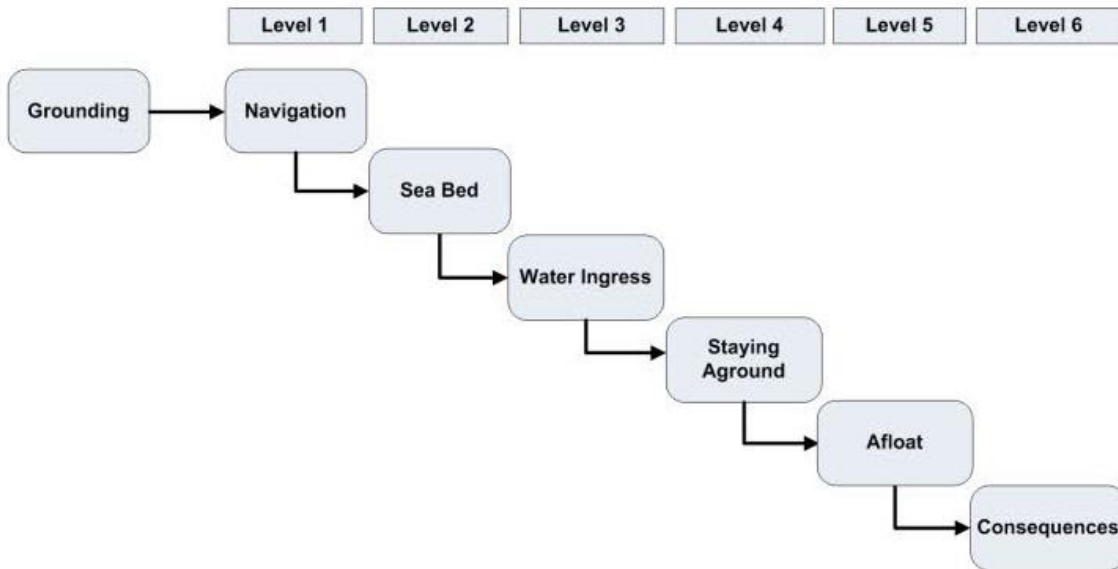
Διάγραμμα 5.6 Μεταβολή GCAF για κάθε σχεδίαση κατά SLF55

Παρατηρούμε πως όλες οι σχεδιάσεις είναι μέσα στα όρια των 7.45 m\$, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στην προηγούμενη μέθοδο. Αυτό οφείλεται στην μεταβολή του δείκτη A σε σχέση με την μέθοδο SOLAS, η οποία επηρεάζει τον δείκτη PLL.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΣΑΡΑΞΗΣ (GROUNDING RISK MODEL)

Η κατασκευή του μοντέλου προσάραξης ακολουθεί την πορεία που προδιαγράφεται στο διάγραμμα 6.1. Η πορεία αυτή παρουσιάστηκε στο ετήσιο συνέδριο της SNAME το 2013. Ακολουθεί η επεξήγηση του κάθε γεγονότος στο διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.1 Ακολουθία γεγονότων ατυχημάτων λόγω προσάραξης, πηγή Annual Meeting SNAME 2013

- Navigation: Σε αυτό το σημείο έχουμε δύο πιθανά σενάρια, την ολίσθηση (drift) και την ισχυρή προσάραξη (powered grounding). Οι πιθανότητες πραγματοποίησης τους υπολογίστηκαν μετά από διεξαγωγή έρευνας σε αληθινά περιστατικά.
- Sea Bed: Η προκαλούμενη ζημιά στο πλοίο εξαρτάται από το είδος του πυθμένα της θάλασσας, η οποία διαφέρει από μαλακή άμμο (soft sand) μέχρι βραχώδης υφάλους (rocky reef). Ανάλυση των στατιστικών δεδομένων έδειξε πως 25% των προσαράξεων έγινε σε μαλακή άμμο, με ζημιές που δεν προκαλούσαν ρήξη του εξωτερικού περιβλήματος του πλοίου.
- Water Ingress: Η εισχώρηση νερού είναι βασικό προαπαιτούμενο για την βύθιση του πλοίου και συμβαίνει μόνο κατά τις περιπτώσεις προσάραξης σε σκληρό sea bed.
- Staying Aground: Βάση στατιστικών αναλύσεων, 62% των περιπτώσεων προσάραξης πλοίων σε σκληρό sea bed έμειναν προσαραγμένα.
- Afloat-Sinking: Το πλοίο δύναται να βυθιστεί όταν, μετά από προσάραξη, υπάρχει μειωμένη άντωση και δεν είναι εφικτή η ισορροπία του στο νερό.

- Consequences: Ο αριθμός των θανάτων σχετίζεται με τον ρυθμό βύθισης του πλοίου, δηλαδή αν θα ανατραπεί ταχύτατα ή η βύθιση του θα είναι με αργό ρυθμό.

Ο δείκτης υποδιαίρεσης  $A$  για προσάραξη θα συσχετισθεί με τον δείκτη υποδιαίρεσης  $A$  για σύγκρουση. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι η EMSA σε συνεργασία με πανεπιστημιακά ιδρύματα, ναυτιλιακούς φορείς και οργανισμούς, έχει προτείνει μία ολοκληρωμένη πιθανοθεωρητική μέθοδο εκτίμησης του δείκτη  $A$  λόγω προσάραξης (EMSA 3 project). Στην παρούσα διπλωματική δεν θα μελετηθεί αυτή η μέθοδος αλλά θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες προσεγγιστικές σχέσεις, οι εξής:

$$A_{GR} = A_{CN} + 0.1 \leq 1$$

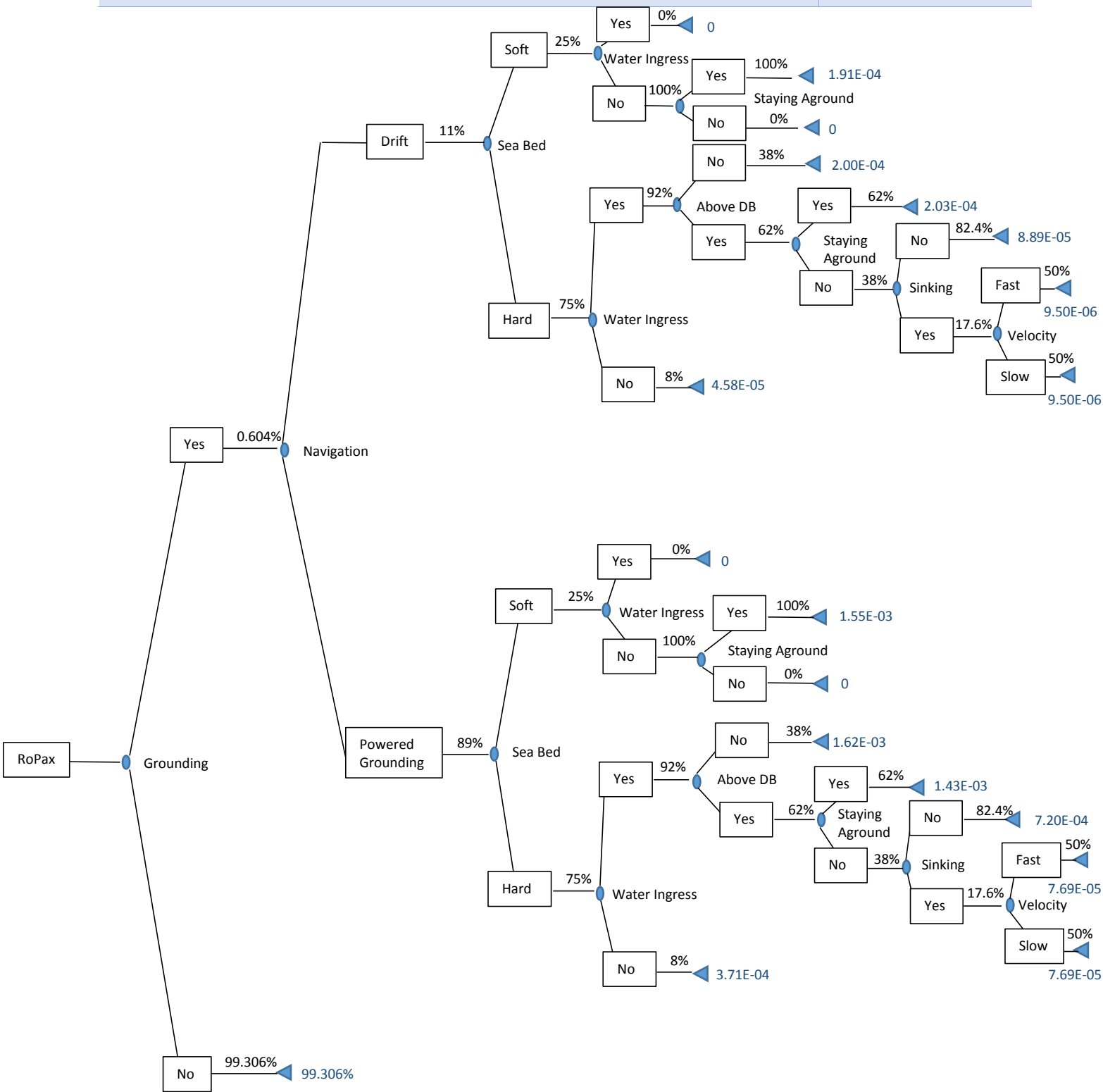
$$A_{GR} = A_{CN} + 0.1(1 - A_{CN})$$

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει χρήση της δεύτερης σχέσης, η οποία δίνει και μικρότερο δείκτη.

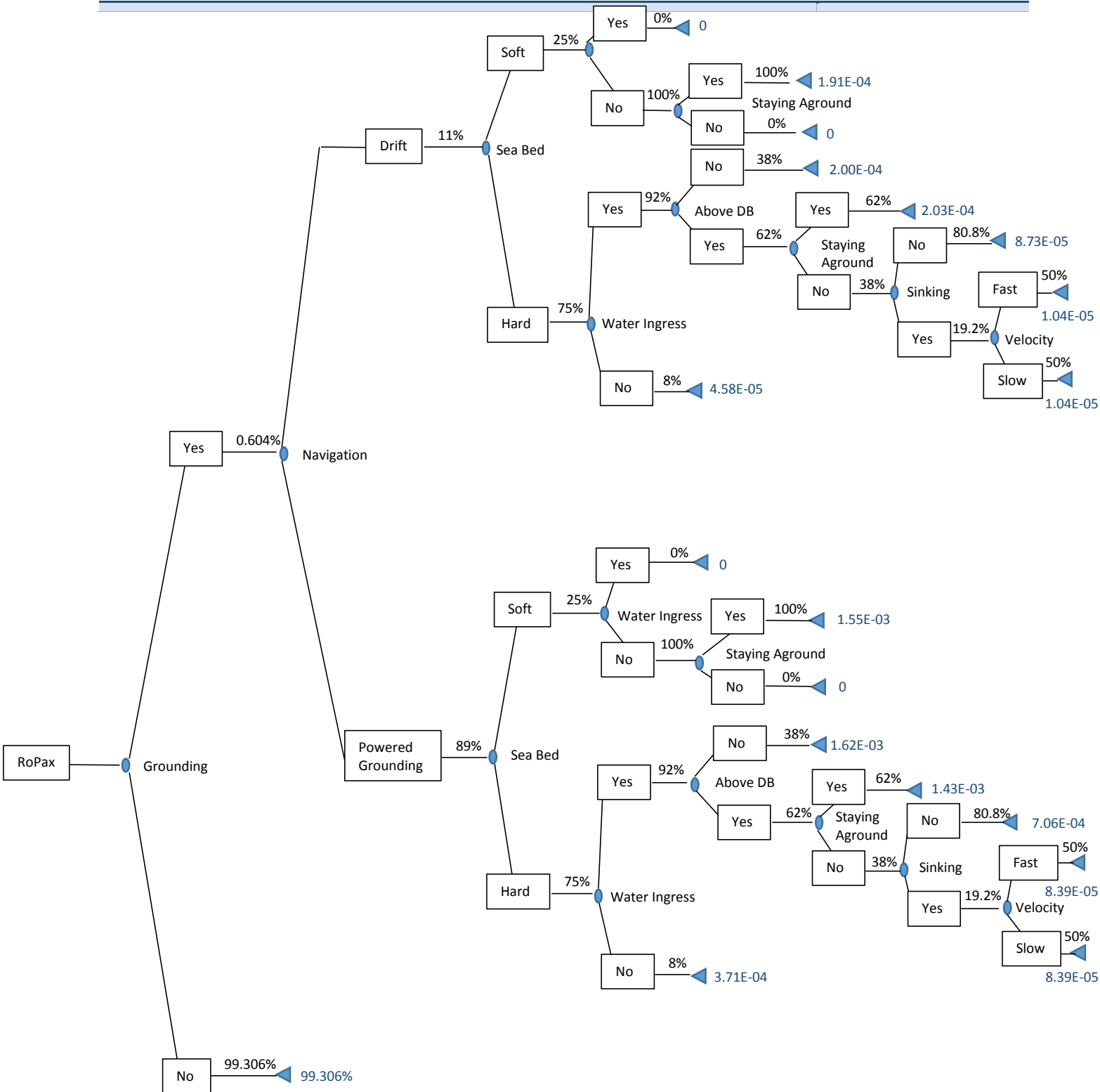
Έχοντας ως δεδομένο για το πλοίο αναφοράς τον δείκτη  $A_{CN}$  μέσω της μεθόδου SOLAS 2009 και της πρότασης της SLF55, θα υπολογιστεί ο αντίστοιχος δείκτης  $A_{GR}$  και θα σχεδιαστεί το δέντρο γεγονότων σε περίπτωση προσάραξης.

Version	Beam (m)	Depth (m)	A_SOLAS	A_SLF55	A_GR1	A_GR2
<b>Πλοίο Αναφοράς</b>	22.600	7.800	0.80483	0.78730	0.82435	0.80857
<b>Transformed ROPAX 01</b>	22.800	7.800	0.85049	0.82893	0.86544	0.84604
<b>Transformed ROPAX 02</b>	23.000	7.800	0.85369	0.83260	0.86832	0.84934
<b>Transformed ROPAX 03</b>	22.600	8.000	0.85865	0.83253	0.87279	0.84928
<b>Transformed ROPAX 04</b>	22.600	8.200	0.86772	0.83992	0.88095	0.85593
<b>Transformed ROPAX 05</b>	22.800	8.000	0.86090	0.83517	0.87481	0.85165

Πίνακας 6.1 Υπολογισμός δείκτη  $A_{GR}$



Διάγραμμα 6.2 Grounding Risk Model για RoPax χρησιμοποιώντας τον A\_GR1



Διάγραμμα 6.3 Grounding Risk Model για RoPax χρησιμοποιώντας τον A\_GR2

Παρατηρούμε από τα διαγράμματα 6.2 και 6.3 πως η πιθανότητα βύθισης λόγω προσάραξης είναι στην πρώτη περίπτωση για  $A_{GR1} = 0.82435$  ίση με  $7.69 \cdot 10^{-5}$  και στην δεύτερη περίπτωση για  $A_{GR1} = 0.80857$  ίση με  $8.39 \cdot 10^{-5}$ . Η συχνότητα προσάραξης στην πρώτη περίπτωση PLL=4.39 και στην δεύτερη περίπτωση PLL=4.79. Η συχνότητα αυτή είναι μεγαλύτερη κατά 7.5 και 8 φορές αντίστοιχα από την συχνότητα που προβλέπει η FSA SAFEDOR για RoPax, η οποία είναι  $2.34 \cdot 10^{-2}$  per ship years. Η διαφορά αυτή υπάρχει λόγω της υψηλής συχνότητας παρατήρησης ατυχημάτων συν την υψηλή πιθανότητα κατάκλυσης χώρων άνω του διπύθμενου.

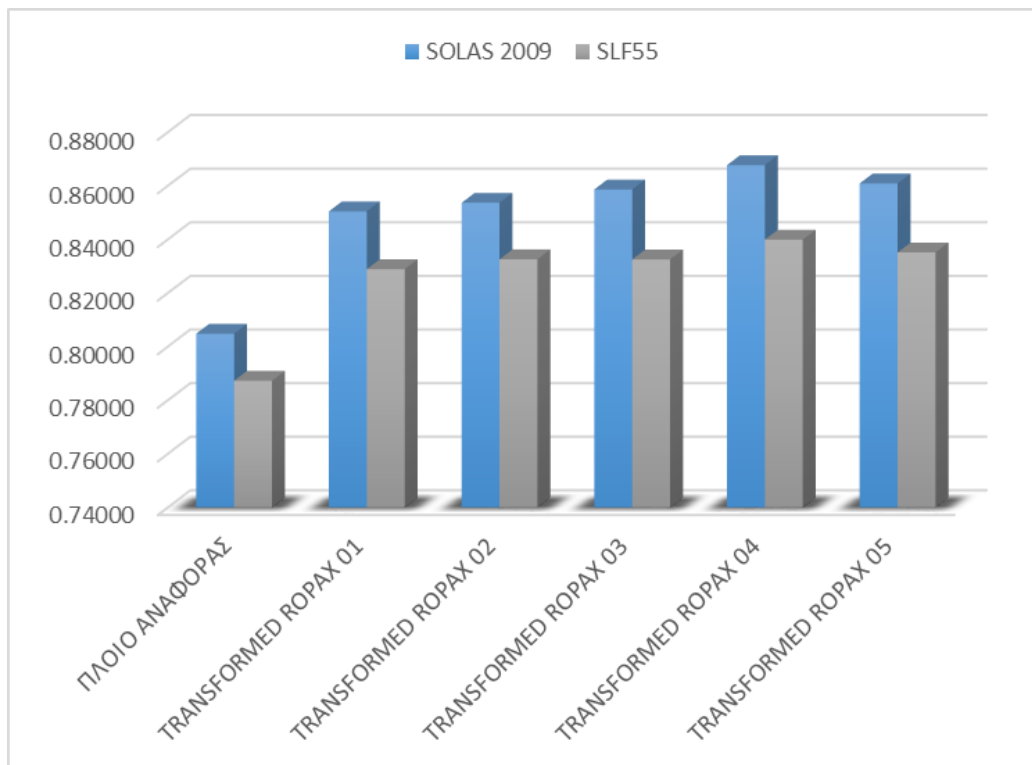
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ο στόχος και ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της ευστάθειας μετά από βλάβη και συγκεκριμένα, η εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών κανονισμών για τα επιβατηγά – οχηματαγωγά πλοία.

Μέσω του ναυπηγικού προγράμματος NAPA δημιουργήθηκε ένα μοντέλο τύπου RoPax, έγινε εξαγωγή της γάστρας του πλοίου και ορισμός των διαμερισμάτων του. Ακολούθως, ορίστηκαν οι καταστάσεις φόρτωσης, όπου σύμφωνα με αυτές εφαρμόστηκαν οι πιθανοθεωρητικοί κανονισμοί της SOLAS 2009. Ως αποτέλεσμα, το πλοίο αναφοράς εμπίπτει στους κανονισμούς ευστάθειας μετά από βλάβη, επιτυγχάνοντας δείκτη υποδιαίρεσης Α μεγαλύτερο του απαιτούμενου.

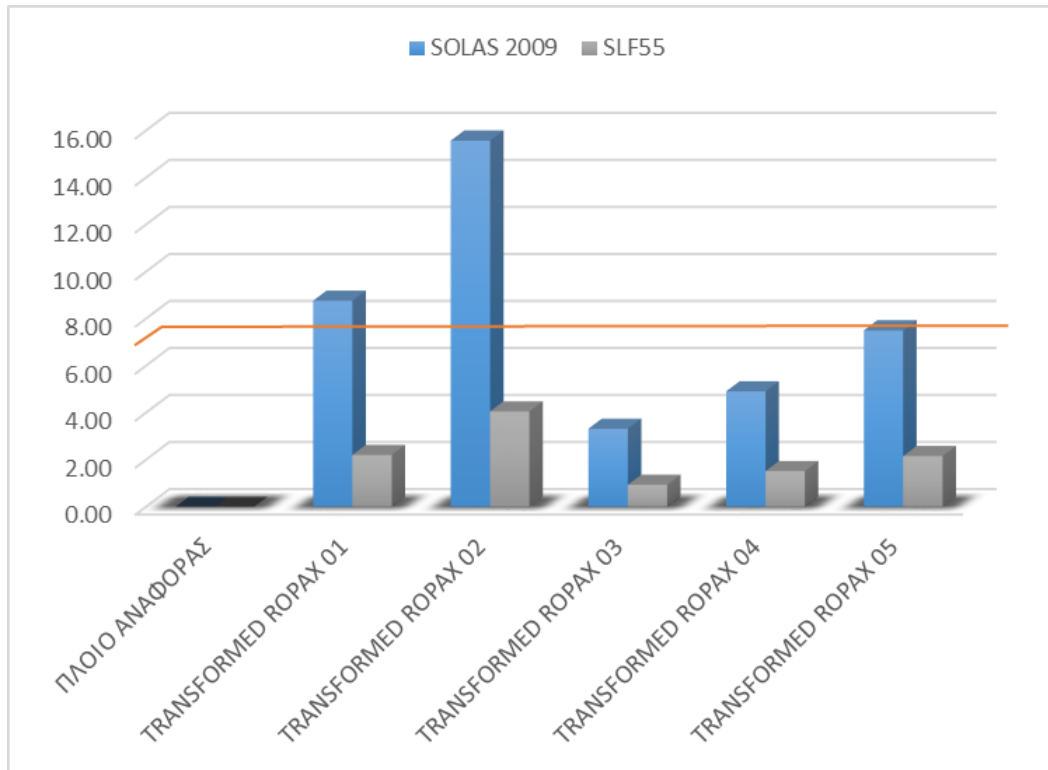
Για την βελτίωση της ευστάθειας και της επιβιωσιμότητας του πλοίου, εισήχθησαν Risk Control Options, τα οποία αφορούσαν σχεδιαστικές τροποποιήσεις στον αρχικό σχεδιασμό του πλοίου αναφοράς. Οι τροποποιήσεις αφορούσαν αλλαγές στο πλάτος και το ύψος του καταστρώματος στεγανών φρακτών (κατάστρωμα οχημάτων). Πραγματοποιήθηκαν έτσι αρκετές τροποποιήσεις, ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του δείκτη Α σε σχέση με τις διαστάσεις του πλοίου και παρατηρήθηκε πως το πλάτος ήταν αυτό που είχε καθοριστικό ρόλο στην αύξηση του δείκτη.

Εκτός από το πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009, εξετάστηκε και η πρόταση της SLF, η οποία όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 7.1 είναι αυστηρότερη από την SOLAS.



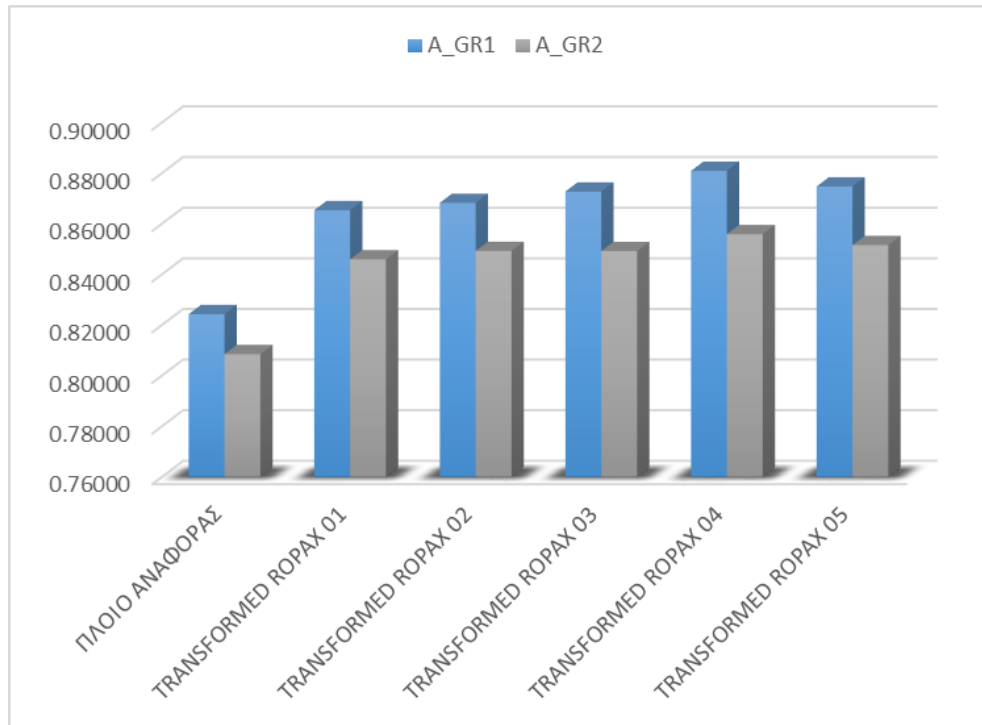
Διάγραμμα 7.1 Attained index για όλες τις σχεδιάσεις

Οι τροποποιήσεις στο πλοίο αναφοράς εξετάστηκαν και με τη βοήθεια οικονομικών στοιχείων, που υπολογίστηκαν για κάθε σχεδίαση, ώστε να βρεθεί η πιο ικανοποιητική λύση για τη βελτίωση της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Οι κυριότερες παράμετροι για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι ο δείκτης A, το ακαθάριστο κόστος για την αποφυγή ενός θανάτου GCAF και η πιθανότητα απώλειας ζωής PLL. Στο διάγραμμα 7.2 παρουσιάζονται όλες οι διατάξεις με το αντίστοιχο GCAF. Ως όριο τέθηκε 7.45 εκατομμύρια δολάρια.



Διάγραμμα 7.2 GCAF για όλες τις σχεδιάσεις

Τέλος, εξετάστηκε η πρόταση της GOALDS για την συσχέτιση του δείκτη A λόγω σύγκρουσης με τον δείκτη A λόγω προσάραξης. Παρουσιάστηκε σχηματικά το Grounding Risk Model, με στόχο την εύρεση των πιθανοτήτων για μια συγκεκριμένη σειρά σεναρίων.



Διάγραμμα 7.3 Grounding Attained index για όλες τις σχεδιάσεις

Η μελέτη ευστάθειας μετά από βλάβη στα επιβατηγά-οχηματαγωγά έχει αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον μελετητών, ερευνητών και οργανισμών για την εύρεση νέων ασφαλέστερων σχεδιάσεων και την εφαρμογή πιθανοθεωρητικών μεθόδων έναντι της βλάβης.

Τα επόμενα χρόνια η ναυτιλιακή κοινότητα στο σύνολο της, χρειάζεται να εργασθεί για να παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια στους επιβαίνοντες των πλοίων, τόσο στους επιβάτες όσο και στο πλήρωμα. Η διερεύνηση και εφαρμογή νέων πιθανοθεωρητικών μεθόδων για την εκτίμηση της ευστάθειας μετά από βλάβη, θεωρείται ένα σημαντικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Μερικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα είναι οι εξής:

- Προσθαφαίρεση εγκάρσιων και διαμήκων στεγανών φρακτών
- Έρευνα σε πλοίο με δεξαμενές που περιέχουν ειδικά υλικά
- Μεταβολές στο ύψος διτύθμενου
- Μελέτη RoPax μεγαλύτερου μεγέθους
- Μελέτη Πιθανοθεωρητικών Μεθόδων σε Συνδυασμό με Προσδιοριστικές (SOLAS 90 και Stockholm Agreement)
- Προσομοίωση πραγματικών ατυχημάτων σε επιβατηγά-οχηματαγωγά





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπανικολάου Απόστολος, Μελέτη Πλοίου-Μεθοδολογίες Προμελέτης Πλοίου Τεύχος 1 & 2, Εκδόσεις Συμewών, Αθήνα 2009
2. Τζαμπίρας Γεωργίος, Δαμάλα Δήμητρα, Πέρρας Πάρις, Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου II – Ευστάθεια Πλοίου Μετά από Βλάβη, Αθήνα 2008
3. Κανελλοπούλου Αφροδίτη, Έρευνα για Ευστάθεια μετά από Βλάβη σε Επιβατηγό – Οχηματαγωγό Πλοίο με χρήση του Ναυπηγικού Προγράμματος NAPA, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2014
4. Ρούσσας Ευάγγελος, Ευστάθεια Ε/Γ – Ο/Γ Πλοίων μετά από Βλάβη, Ανασκόπηση και Εφαρμογή Πρόσφατων Κανονισμών, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2011
5. Papanikolaou, A., Hamann, R., Lee, B-S., Mains, C., Olufsen, O., Tvedt, E., Vassalos, D., Zaraphonitis, G., GOALDS – Goal Based Damage Stability of Passenger Ships, Transactions of the 2013 Annual Conference of the Society of Naval Architect and Marine Engineers (SNAME), Seattle, 2013
6. Hamann, R., Skjong, R., Eliopoulou, E., Risk Level and Acceptance Criteria for Passenger Ships. First interim report, part 1: Risk level of current fleet, EMSA, Høvik 2014
7. Eklund, R. and Lindroth, D., Damage Stability According to SOLAS 2009, NAPA Ltd, Helsinki, 2009
8. NAPA for Design Manuals for Release 2014.3, NAPA Ltd, Helsinki, 2014
9. Kontovas, C., Psaraftis, H., Formal Safety Assessment: A Critical Review, Marine Technology, 2009
10. Allianz Global Corporate & Specialty, Safety and Shipping Review 2014, Munich 2013
11. Barke, C., Campbell, C., Risk Management in Total System Ship Design, Naval Engineers Journal, American Society of Naval Engineers, 2000
12. Verband für Schiffbau und Meerestechnik, Validation Study regarding an Increased Subdivision Index R for Passenger and Special Purpose Ships in International Seaborne Trade, Hamburg 2014
13. SLF 40/Inf.14, ANNEX 1, APPENDIX 3, Guidance Notes on the Stockholm Agreement, 2014

14. Guarin, L., Konovessis, D., Vassalos, D., Safety Level of Damaged RoPax Ships – Risk Modelling and Cost-Effectiveness Analysis, 2008
15. European Maritime Safety Agency, Research for the Parameters of the Damage Stability Rules including the Calculation of Water on Deck of Ro-Ro Passenger Vessels, for the amendment of the Directives, 2003/25/EC and 98/18/EC, Hamburg 2009
16. Equasis Statistics, World Fleet 2013, Saint-Malo 2014
17. Vanem, E., Skjong, R., Collision and Grounding of Passenger Ships – Risk Assessment and Emergency Evacuations, Det Norske Veritas, DNV Research, 2004
18. Vassalos, D., Papanikolaou, A., Stockholm Agreement – Past, Present & Future (Part II), 2001
19. Francescutto A., Papanikolaou, A., Buoyancy, stability, and subdivision: from Archimedes to SOLAS 2009 and the way ahead, 2010
20. Zaraphonitis George, Multi-objective Optimization of ROPAX Ships Considering the SOLAS 2009 and GOALDS Damage Stability Formulations, 11th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Athens 2012

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ

A.1 TRANSFORMED RORAX 01

A.1.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Hydrostatics

T (m)	DISP (t)	CB	LCB (m)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (tm/cm)	KMT (m)
1	1056.9	0.3569	59.657	60.59	13.3	56.6	31.306
1.5	1768.8	0.3998	60.074	60.69	15.1	69.9	24.302
2	2559.8	0.4348	60.254	60.67	16.5	81.3	20.478
2.5	3412.4	0.4643	60.341	60.43	17.6	92.1	17.936
3	4317.8	0.49	60.344	60.31	18.5	101.4	16.043
3.5	5273.3	0.5132	60.253	59.08	19.8	117	14.987
4	6281.7	0.5352	60.055	59	20.5	125.3	13.864
4.5	7334.2	0.5556	59.821	57.88	21.6	141.8	13.356
5	8444.6	0.5759	59.466	56.19	22.9	164	13.025
5.5	9631.3	0.5972	58.892	53.08	24.8	203.2	13.027
6	10919.6	0.6207	58.049	51.44	26.3	236.9	12.756
6.5	12244.4	0.6426	57.366	52.22	26.6	245.0	12.266
7	13577.0	0.6618	56.934	53.74	26.6	244.6	11.772
7.5	14914.9	0.6786	56.694	54.70	26.9	250.5	11.458
8	16267.0	0.6940	56.565	55.53	27.2	257.2	11.242
8.5	17632.2	0.7081	56.517	56.35	27.4	263.6	11.094
9	19009.9	0.7210	56.531	57.10	27.7	269.4	11.000
9.5	20399.3	0.7331	56.596	57.82	27.9	274.6	10.950
10.0	21799.3	0.7443	56.697	58.50	28.1	279.6	10.935
10.5	23209.0	0.7547	56.826	59.15	28.3	284.2	10.948
11.0	24627.7	0.7645	56.979	59.77	28.5	288.4	10.983
11.5	26054.4	0.7737	57.148	60.36	28.6	292.3	11.037
12.0	27488.4	0.7823	57.330	60.92	28.7	296.0	11.109

Πίνακας Α.1.1 Υδροστατικός πίνακας

A.1.2 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

**SHIP MODEL ARRANGEMENT**

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>			
CDD02DIESELT		32.9	0.95
CDDBDIESELSTORT		15.1	0.95
SUBTOTAL		48.0	
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>			
AD0202FW		65.9	0.95
ED0201FW		79.0	0.95
SUBTOTAL		144.9	
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>			
DD02NO1ROROSPACE		394.7	0.95
DD02NO2ROROSPACE		424.7	0.95
DD02NO3ROROSPACE		366.9	0.95
UPPERDECK		6532.5	0.95
SALONDECK		6719.9	0.95
BRIDGEDECK		5846.2	0.95
SUBTOTAL		20284.8	
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>			
EDDBGRAY		293.0	0.95
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>			
CDDBFHFOSEVTS		77.6	0.95
CDDBFHFOSETLTP		77.6	0.95
EDD02HFHOSTORP		46.1	0.95

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
EDD02HFOSTORS		46.1	0.95
SUBTOTAL		247.4	

**CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)**

CDDBN01LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN02LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN03LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN04LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBLORNTP		2.8	0.95
CDDBLORNTS		2.8	0.95
SUBTOTAL		35.8	

**CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)**

EDDBNO1PUMP		69.1	0.85
CDDBN02PUMP		44.3	0.85
CDDBN03PUMP		37.2	0.85
BDD02AUXROOM		477.4	0.85
CDD02ENGRROOM		2468.2	0.85
ADD02STEERGEAR		653.6	0.85
CNTR.CASING		576.0	0.85
CZ0TRIMROOM		413.8	0.85
FUNNEL1		1032.7	0.85
SUBTOTAL		5772.4	

**CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)**

BDD02N02ENGSTORE		213.2	0.95
CDD02N01ENGSTORE		1379.2	0.95
BDD02POWERCONVRO OM		213.2	0.95
CDD02WORKSHOP		306.5	0.95
SUBTOTAL		2112.1	

**CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=0)**

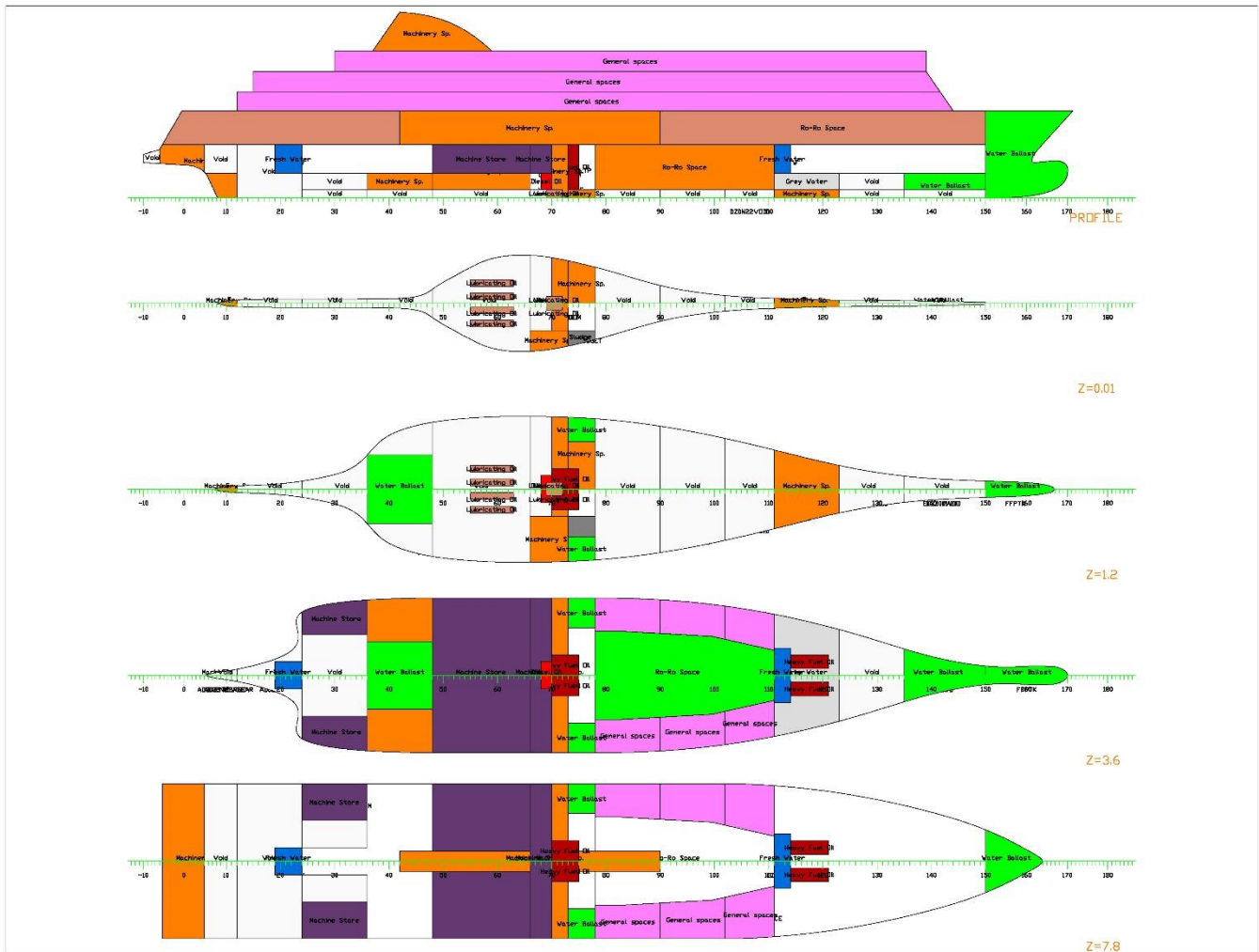
DDDBLHGAR		1982.2	0.95 T,0.95,5.018,0.95,5.247,0.9
AD03GARTOTAL		12667.4	0.95 T,0.95,5.018,0.95,5.247,0.9
SUBTOTAL		14649.6	

**CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)**

CDZ0SLUDGET		25.1	0.95
-------------	--	------	------

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>			
AD00N14VOID		856.3	0.95
AD02N15VOID		298.2	0.95
AN16VOID		59.8	0.95
BD02N13VOID		945.6	0.95
BD02N12VOID		287.7	0.95
BDDBN11VOID		67.2	0.95
CDZ010VOID		316.8	0.95
CDZ009VOID		73.7	0.95
DDZ008VOID		47.6	0.95
DDZ007VOID		25.3	0.95
DDZ006VOID		12.6	0.95
EDZ005VOID		69.1	0.95
ED0204VOID		299.0	0.95
EDZ003VOID		39.3	0.95
ED0202VOID		186.5	0.95
EDZ001VOID		30.2	0.95
BZ0N17VOID		33.6	0.95
BZ0N18VOID		125.2	0.95
DZ0N20VOID		192.2	0.95
DZ0N21VOID		150.4	0.95
DZ0N22VOID		81.1	0.95
SUBTOTAL		4197.4	
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>			
FFPTK		643.6	0.95
AD0201WB		1124.9	0.95
BDZ003WB		225.8	0.95
EDZ001WB		140.0	0.95
CDD02HEELTP		111.8	0.95
CDD02HEELTS		111.8	0.95
SUBTOTAL		2357.9	
TOTAL		50168.4	

Πίνακας Α.1.2 Διαμερίσματα Πλοίου



Σχήμα Α.1.1 Σχέδιο Γενικής Διάταξης Πλοίου



A.1.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	290.8	65.28	0.00	4.32	0
Provisions	226.9	56.48	0.00	5.87	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2626.6	59.13	0.00	9.97	0
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	9384.8	59.04	0.00	9.42	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	12.98 m
Trim	0.000 m	KG	9.42 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.56 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.56 m
Trimming moment	9 tonm		

Πίνακας A.1.3 Κατάσταση φόρτωσης Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	30.6	65.31	0.00	2.22	0
Provisions	63.0	54.68	0.00	4.82	0
Ballast	57.4	111.7	0	1.1	50
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2260.0	59.89	0	10.64	50
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	9018.2	59.22	0	9.56	50

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	12.95
Trim	0.000 m	KG	9.56
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.39
TA	5.247 m	GMCORR	-0.01
TF	5.247 m	GM	3.38
Trimming moment	7 ton m		

Πίνακας Α.1.4 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	30.6	65.32	0.00	2.22	0
Provisions	63.0	54.68	0.00	4.82	0
Ballast	1478.4	59.12	0	7.1	9169.6
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1751.1	59.42	0	7.95	9169.6
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.20	0
Displacement	8509.3	59.09	0	8.94	9169.6

**Loading Condition: Lghtdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	13.09 m
Trim	-0.186 m	KG	8.94 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.15 m
TA	5.111 m	GMCORR	-1.08 m
TF	4.926 m	GM	3.07 m
Trimming moment	-3062 tonm		

Πίνακας Α.1.5 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

A.2 TRANSFORMED ROPAX 02

A.2.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Hydrostatics

T (m)	DISP (t)	CB	LCB (m)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (tm/cm)	KMT (m)
1	1066.3	0.3570	59.656	60.59	13.4	57.1	31.851
1.5	1784.5	0.3999	60.073	60.69	15.2	70.5	24.710
2	2582.4	0.4349	60.253	60.66	16.6	82	20.811
2.5	3442.4	0.4644	60.340	60.43	17.8	93	18.218
3	4355.6	0.4901	60.343	60.30	18.7	102.2	16.288
3.5	5319.2	0.5133	60.251	59.07	20.0	118	15.209
4	6336.2	0.5352	60.053	59.00	20.7	126.3	14.062
4.5	7397.8	0.5556	59.820	57.88	21.8	143	13.541
5	8517.7	0.5759	59.465	56.19	23.1	165.4	13.199
5.5	9714.6	0.5972	58.891	53.08	25.0	205	13.196
6	11014	0.6288	58.048	51.44	26.5	238.9	12.916
6.5	12350.1	0.6427	57.365	52.22	26.9	247.2	12.412
7	13694.1	0.6618	56.933	53.74	26.9	246.7	11.904
7.5	15043.5	0.6786	56.694	54.70	27.1	252.7	11.580
8	16407.2	0.6940	56.564	55.53	27.4	259.4	11.355
8.5	17784.1	0.7081	56.516	56.35	27.7	265.9	11.200
9	19173.5	0.7211	56.531	57.10	27.9	271.7	11.100
9.5	20574.9	0.7331	56.595	57.81	28.1	277.0	11.044
10.0	21986.8	0.7443	56.696	58.50	28.3	282.0	11.025
10.5	23408.6	0.7547	56.826	59.15	28.5	286.7	11.033
11.0	24839.5	0.7645	56.978	59.77	28.7	290.9	11.064
11.5	26278.4	0.7737	57.147	60.36	28.9	294.8	11.114
12.0	27724.7	0.7823	57.330	60.92	29.0	298.5	11.183

Πίνακας Α.2.1 Υδροστατικός πίνακας

A.2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

## SHIP MODEL ARRANGEMENT

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>			
CDD02DIESELT		32.9	0.95
CDDBDIESELSTORT		15.1	0.95
SUBTOTAL		48.0	
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>			
AD0202FW		65.9	0.95
ED0201FW		79.0	0.95
SUBTOTAL		144.9	
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>			
DD02NO1ROROSPACE		402.4	0.95
DD02NO2ROROSPACE		432.3	0.95
DD02NO3ROROSPACE		372.3	0.95
UPPERDECK		6588.6	0.95
SALOONDECK		6777.6	0.95
BRIDGEDECK		5896.5	0.95
SUBTOTAL		20469.7	
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>			
EDDBGRAY		295.5	0.95
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>			
CDDBHFOSERVTS		77.6	0.95
CDDBHFOSETLTP		77.6	0.95
EDD02HFSTORP		46.1	0.95

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
EDD02HFOSTORS		46.1	0.95
SUBTOTAL		247.4	

**CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)**

CDDBN01LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN02LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN03LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN04LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBLORNTNTP		2.8	0.95
CDDBLORNTS		2.8	0.95
SUBTOTAL		35.8	

**CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)**

EDDBNO1PUMP		69.7	0.85
CDDBN02PUMP		44.7	0.85
CDDBN03PUMP		37.8	0.85
BDD02AUXROOM		481.5	0.85
CDD02ENGRROOM		2489.6	0.85
ADD02STEER GEAR		659.2	0.85
CNTR.CASING		576.0	0.85
CZ0TRIMROOM		417.4	0.85
FUNNEL1		1032.7	0.85
SUBTOTAL		5808.7	

**CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)**

BDD02N02ENGSTORE		217.1	0.95
CDD02N01ENGSTORE		1391.0	0.95
BDD02POWERCONVRO OM		217.1	0.95
CDD02WORKSHOP		309.1	0.95
SUBTOTAL		2134.4	

**CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=1)**

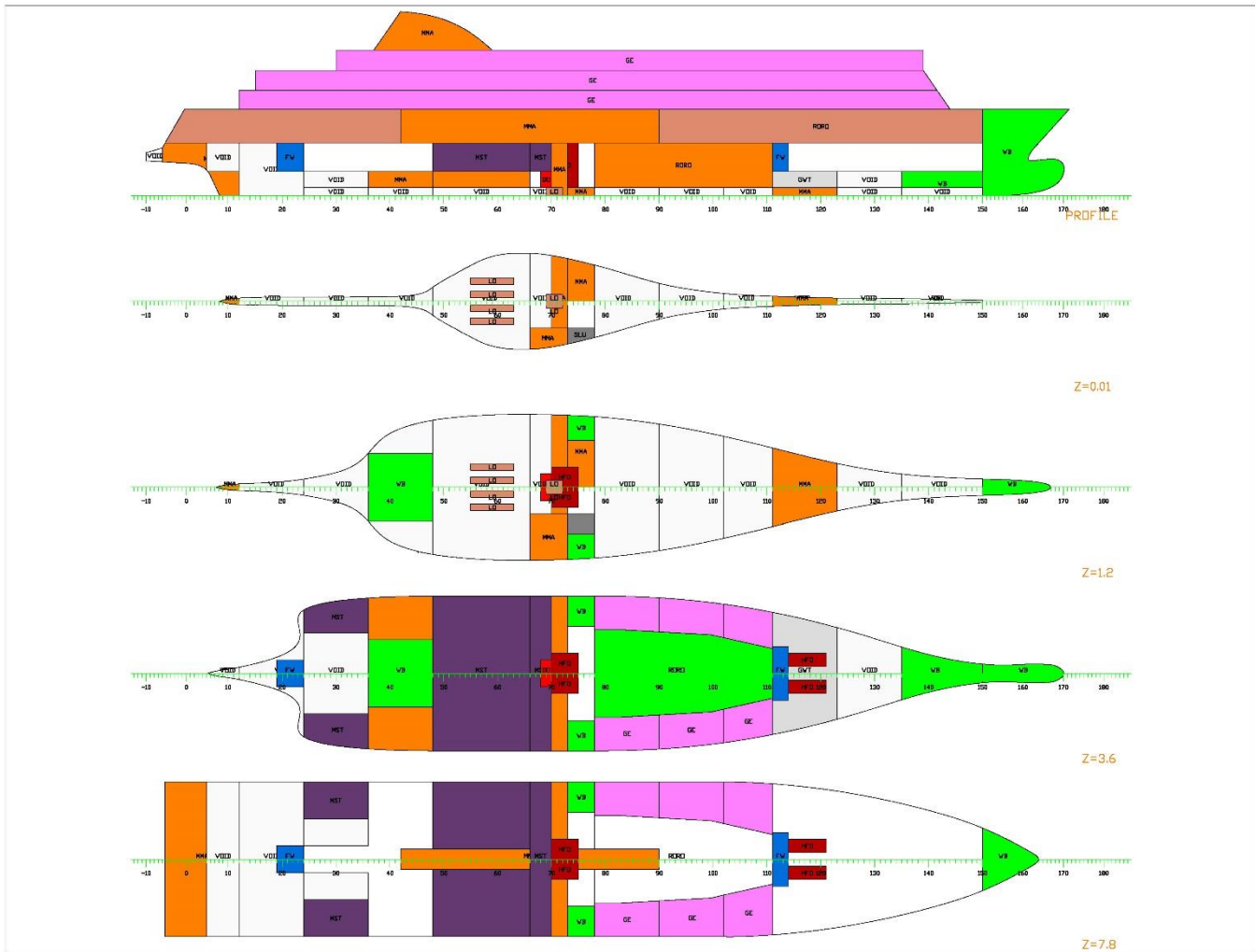
DDDBLHGAR		1982.2	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
AD03GARTOTAL		12781.0	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
SUBTOTAL		14763.2	

**CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)**

CDZ0SLUDGET		25.5	0.95
-------------	--	------	------

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>			
AD00N14VOID		863.8	0.95
AD02N15VOID		300.7	0.95
AN16VOID		60.3	0.95
BD02N13VOID		955.9	0.95
BD02N12VOID		290.3	0.95
BDDBN11VOID		71.0	0.95
CDZ010VOID		319.6	0.95
CDZ009VOID		74.3	0.95
DDZ008VOID		49.2	0.95
DDZO07VOID		26.4	0.95
DDZO06VOID		13.2	0.95
EDZ005VOID		69.7	0.95
ED0204VOID		301.6	0.95
EDZ003VOID		39.6	0.95
ED0202VOID		188.1	0.95
EDZ001VOID		30.5	0.95
BZ0N17VOID		33.9	0.95
BZ0N18VOID		126.3	0.95
DZ0N20VOID		193.9	0.95
DZ0N21VOID		151.7	0.95
DZ0N22VOID		81.8	0.95
SUBTOTAL		4241.8	
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>			
FFPTK		649.2	0.95
AD0201WB		1124.7	0.95
BDZ003WB		225.8	0.95
EDZ001WB		141.2	0.95
CDD02HEELTP		114.3	0.95
CDD02HEELTS		114.3	0.95
SUBTOTAL		2369.5	
TOTAL		50584.3	

Πίνακας Α.2.2 Διαμερίσματα Πλοίου



Σχήμα Α.2.1 Σχέδιο Γενικής Διάταξης Πλοίου



A.2.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	290.8	65.28	0.00	4.32	0
Provisions	283.4	57.23	0.00	6.05	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2683.1	59.13	0.00	9.97	0
Lightweight	6766.1	59.00	0.00	9.21	0
Displacement	9449.2	59.04	0.00	9.41	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	13.15 m
Trim	0.000 m	KG	9.41 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.74 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.74 m
Trimming moment	-1 tonm		

Πίνακας A.2.3 Κατάσταση φόρτωσης Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	30.6	65.31	0.00	2.22	0
Provisions	37.7	55.11	0.00	5.02	0
Ballast	153.4	77.91	0	1.51	881.0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2330.7	59.87	0	10.34	881.0
Lightweight	6766.1	59.00	0.00	9.21	0
Displacement	9096.8	59.22	0	9.50	881.0

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	13.13
Trim	0.000 m	KG	9.50
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.63
TA	5.247 m	GMCORR	-0.1
TF	5.247 m	GM	3.53
Trimming moment	1 ton m		

Πίνακας Α.2.4 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	30.6	65.32	0.00	2.22	0
Provisions	30.5	55.11	0.00	5.24	0
Ballast	575.2	59.09	0	5.71	11174.1
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1815.3	59.47	0	6.76	11174.1
Lightweight	6766.1	59.00	0.00	9.21	0
Displacement	8581.4	59.10	0	8.69	11174.1

**Loading Condition: Lghtdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	13.26 m
Trim	-0.179 m	KG	8.69 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.57 m
TA	5.107 m	GMCORR	-1.30 m
TF	4.929 m	GM	3.27 m
Trimming moment	-2971 tonm		

Πίνακας Α.2.5 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

A.3 TRANSFORMED ROPAX 03

A.3.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Hydrostatics

T (m)	DISP (t)	CB	LCB (m)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (tm/cm)	KMT (m)
1	1047.3	0.3568	59.657	60.59	13.2	56.1	30.741
1.5	1752.7	0.3997	60.074	60.69	15.0	69.3	23.877
2	2536.6	0.4348	60.255	60.67	16.3	80.6	20.133
2.5	3381.5	0.4642	60.342	60.43	17.5	91.3	17.643
3	4278.8	0.4899	60.344	60.30	18.4	100.4	15.789
3.5	5225.6	0.5131	60.253	59.08	19.6	116.0	14.757
4	6225.0	0.5351	60.055	59.00	20.3	124.2	13.658
4.5	7268.2	0.5555	59.821	57.88	21.4	140.5	13.164
5	8368.7	0.5758	59.466	56.19	22.7	162.5	12.844
5.5	9544.8	0.5971	58.892	53.08	24.6	201.4	12.851
6	10821.6	0.6207	58.049	51.44	26.0	234.8	12.591
6.5	12134.5	0.6426	57.366	52.22	26.4	242.9	12.115
7	13455.3	0.6618	56.934	53.74	26.4	242.4	11.634
7.5	14781.3	0.6786	56.694	54.7	26.7	248.3	11.331
8	16121.2	0.6940	56.565	55.53	26.9	254.9	11.124
8.5	17474.2	0.7080	56.517	56.35	27.2	261.3	10.984
9	18839.5	0.7210	56.531	57.1	27.4	267.0	10.897
9.5	20216.5	0.7331	56.595	57.81	27.6	272.2	10.852
10.0	21603.9	0.7443	56.696	58.5	27.8	277.1	10.843
10.5	23001.0	0.7547	56.826	59.15	28.0	281.7	10.86
11.0	24407.1	0.7645	56.978	59.77	28.2	285.9	10.899
11.5	25821.0	0.7737	57.148	60.36	28.4	289.7	10.957
12.0	27242.2	0.7823	57.330	60.92	28.5	293.4	11.033

Πίνακας Α.3.1 Υδροστατικός πίνακας

A.3.2 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

## SHIP MODEL ARRANGEMENT

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>			
CDD02DIESELT		34.5	0.95
CDDBDIESELSTORT		15.1	0.95
SUBTOTAL		49.5	
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>			
AD0202FW		69.0	0.95
ED0201FW		82.8	0.95
SUBTOTAL		151.8	
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>			
DD02NO1ROROSPACE		405.1	0.95
DD02NO2ROROSPACE		437.2	0.95
DD02NO3ROROSPACE		380.2	0.95
UPPERDECK		6474.0	0.95
SALOONDECK		6659.7	0.95
BRIDGEDECK		5793.9	0.95
SUBTOTAL		20150.2	
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>			
EDDBGRAY		290.4	0.95
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>			
CDDBFHFOSERVTS		80.0	0.95
CDDBFHFOSETLTP		80.0	0.95
EDD02HFOSTORP		48.3	0.95

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
EDD02HFOSTORS		48.3	0.95
SUBTOTAL		256.5	

**CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)**

CDDBN01LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN02LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN03LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN04LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBLORNTP		2.8	0.95
CDDBLORNTS		2.8	0.95
SUBTOTAL		35.8	

**CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)**

EDDBN01PUMP		68.5	0.85
CDDBN02PUMP		43.9	0.85
CDDBN03PUMP		36.6	0.85
BDD02AUXROOM		473.1	0.85
CDD02ENGRROOM		2511.1	0.85
ADD02STEERGEAR		697.1	0.85
CNTR.CASING		553.0	0.85
CZ0TRIMROOM		421.0	0.85
FUNNEL1		1032.7	0.85
SUBTOTAL		5837.1	

**CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)**

BDD02N02ENGSTORE		219.3	0.95
CDD02N01ENGSTORE		1431.9	0.95
BDD02POWERCONVRO OM		219.3	0.95
CDD02WORKSHOP		318.2	0.95
SUBTOTAL		2188.7	

**CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=1)**

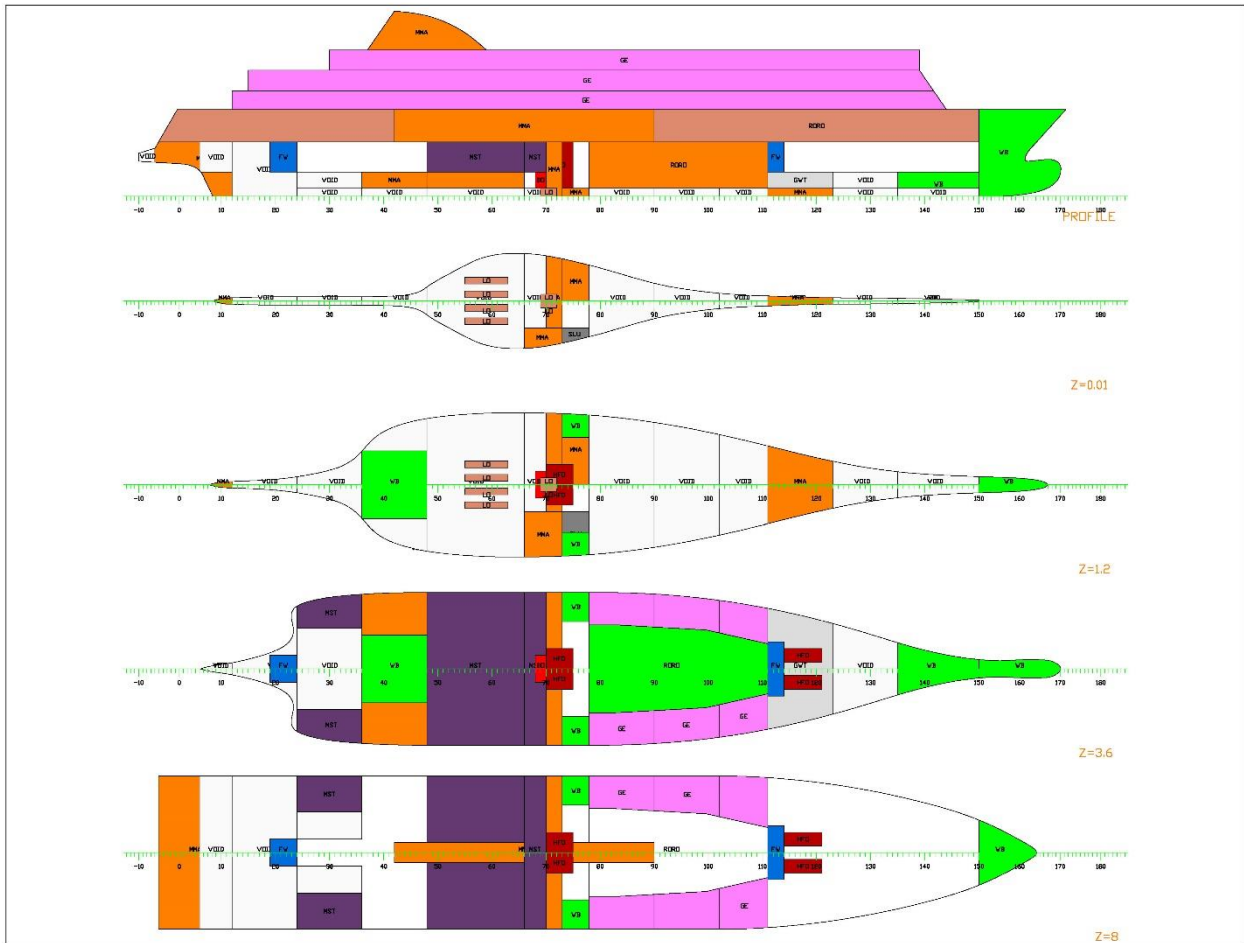
DDDBLHGAR		2042.3	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
AD03GARTOTAL		12056.9	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
SUBTOTAL		14099.2	

**CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)**

CDZ0SLUDGET		24.7	0.95
-------------	--	------	------

NAME	DES	VNET m <sup>3</sup>	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>			
AD00N14VOID		892.0	0.95
AD02N15VOID		317.2	0.95
AN16VOID		59.3	0.95
BD02N13VOID		970.7	0.95
BD02N12VOID		285.2	0.95
BDDBN11VOID		63.3	0.95
CDZ010VOID		313.9	0.95
CDZ009VOID		73.0	0.95
DDZ008VOID		45.9	0.95
DDZ007VOID		24.2	0.95
DDZ006VOID		12.1	0.95
EDZ005VOID		68.5	0.95
ED0204VOID		296.3	0.95
EDZ003VOID		38.9	0.95
ED0202VOID		184.8	0.95
EDZ001VOID		29.9	0.95
BZ0N17VOID		33.3	0.95
BZ0N18VOID		124.1	0.95
DZ0N20VOID		190.4	0.95
DZ0N21VOID		149.0	0.95
DZ0N22VOID		80.3	0.95
SUBTOTAL		4252.4	
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>			
FFPTK		637.9	0.95
AD0201WB		1201.7	0.95
BDZ003WB		225.8	0.95
EDZ001WB		138.8	0.95
CDD02HEELTP		112.5	0.95
CDD02HEELTS		112.5	0.95
SUBTOTAL		2429.1	
TOTAL		49765.3	

Πίνακας Α.3.2 Διαμερίσματα Πλοίου



Σχήμα Α.3.1 Σχέδιο Γενικής Διάταξης Πλοίου



A.3.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	287.5	65.28	0.00	4.32	0
Provisions	160	55.11	0.00	6.54	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2556.5	59.12	0.00	10.39	0
Lightweight	6750	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	9306.5	59.03	0.00	9.60	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	12.81 m
Trim	0.000 m	KG	9.6 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.21 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.21 m
Trimming moment	11 tonm		

Πίνακας A.3.3 Κατάσταση φόρτωσης Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	15.8	65.52	0.00	2.12	0
Provisions	16.0	55.11	0.00	6.54	0
Ballast	46.5	120.8	0	1.23	23.4
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2187.3	59.91	0	11.19	23.4
Lightweight	6750.0	59.00	0.00	9.3	0
Displacement	8937.3	59.22	0	9.76	23.4

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	12.78
Trim	0.000 m	KG	9.76
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.02
TA	5.247 m	GMCORR	-0.01
TF	5.247 m	GM	3.01
Trimming moment	-3 ton m		

Πίνακας Α.3.4 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	15.8	65.52	0.00	2.12	0
Provisions	16.0	55.11	0.00	6.54	0
Ballast	1485.4	57.84	0	5.91	11014.3
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1696.2	58.38	0	7.06	11014.3
Lightweight	6750	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	8446.2	58.88	0	8.85	11014.3

**Loading Condition: Lghtdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	12.95 m
Trim	-0.291 m	KG	8.85 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.10 m
TA	5.164 m	GMCORR	-1.30 m
TF	4.873 m	GM	2.79 m
Trimming moment	-4827 tonm		

Πίνακας Α.3.5 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

A.4 TRANSFORMED ROPAX 04

A.4.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Hydrostatics

T (m)	DISP (t)	CB	LCB (m)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (tm/cm)	KMT (m)
1	1047.2	0.3568	59.657	60.59	13.2	56.1	30.742
1.5	1752.6	0.3997	60.074	60.69	15.0	69.3	23.878
2	2536.5	0.4347	60.255	60.67	16.3	80.6	20.133
2.5	3381.4	0.4642	60.342	60.43	17.5	91.3	17.643
3	4278.7	0.4899	60.345	60.30	18.4	100.4	15.789
3.5	5225.6	0.5131	60.253	59.08	19.6	116.0	14.757
4	6225	0.5351	60.055	59.00	20.3	124.2	13.658
4.5	7268.1	0.5555	59.821	57.88	21.4	140.5	13.164
5	8368.6	0.5758	59.466	56.19	22.7	162.5	12.844
5.5	9544.8	0.5971	58.892	53.08	24.6	201.4	12.851
6	10821.6	0.6207	58.049	51.44	26.0	234.8	12.591
6.5	12134.5	0.6426	57.366	52.22	26.4	242.9	12.115
7	13455.2	0.6618	56.934	53.74	26.4	242.4	11.634
7.5	14781.2	0.6786	56.694	54.70	26.7	248.3	11.331
8	16121.2	0.6940	56.565	55.53	26.9	254.9	11.124
8.5	17474.2	0.7080	56.517	56.35	27.2	261.3	10.984
9	18839.5	0.7210	56.531	57.10	27.4	267.0	10.897
9.5	20216.5	0.7331	56.595	57.81	27.6	272.2	10.852
10.0	21603.9	0.7443	56.696	58.50	27.8	277.1	10.843
10.5	23001.0	0.7547	56.826	59.15	28.0	281.7	10.860
11.0	24407.0	0.7645	56.978	59.77	28.2	285.9	10.899
11.5	25820.9	0.7737	57.148	60.36	28.4	289.7	10.957
12.0	27242.1	0.7823	57.330	60.92	28.5	293.4	11.033

Πίνακας Α.4.1 Υδροστατικός πίνακας

A.4.2 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

## SHIP MODEL ARRANGEMENT

NAME	DES	VNET m <sup>3</sup>	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>			
CDD02DIESELT		36.1	0.95
CDDBDIESELSTORT		15.1	0.95
SUBTOTAL		51.1	
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>			
AD0202FW		72.1	0.95
ED0201FW		86.6	0.95
SUBTOTAL		158.7	
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>			
DD02NO1ROROSPACE		423.5	0.95
DD02NO2ROROSPACE		457.7	0.95
DD02NO3ROROSPACE		399.3	0.95
UPPERDECK		6474.0	0.95
SALOONDECK		6659.7	0.95
BRIDGEDECK		5793.9	0.95
SUBTOTAL		20208.1	
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>			
EDDBGRAY		290.4	0.95
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>			
CDDBFHOSERVTS		82.3	0.95
CDDBFHOSSETLTP		82.3	0.95
EDD02HFOSTORP		50.5	0.95

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
EDD02HFOSTORS		50.5	0.95
SUBTOTAL		265.6	

**CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)**

CDDBN01LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN02LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN03LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN04LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBLORNTP		2.8	0.95
CDDBLORNTS		2.8	0.95
SUBTOTAL		35.8	

**CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)**

EDDBNO1PUMP		68.5	0.85
CDDBN02PUMP		43.9	0.85
CDDBN03PUMP		36.6	0.85
BDD02AUXROOM		473.1	0.85
CDD02ENGRROOM		2576.2	0.85
ADD02STEER GEAR		746.0	0.85
CNTR.CASING		529.9	0.85
CZ0TRIMROOM		431.8	0.85
FUNNEL1		1032.7	0.85
SUBTOTAL		5938.8	

**CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)**

BDD02N02ENGSTORE		229.5	0.95
CDD02N01ENGSTORE		1497.0	0.95
BDD02POWERCONVRO OM		229.5	0.95
CDD02WORKSHOP		332.7	0.95
SUBTOTAL		2288.6	

**CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=1)**

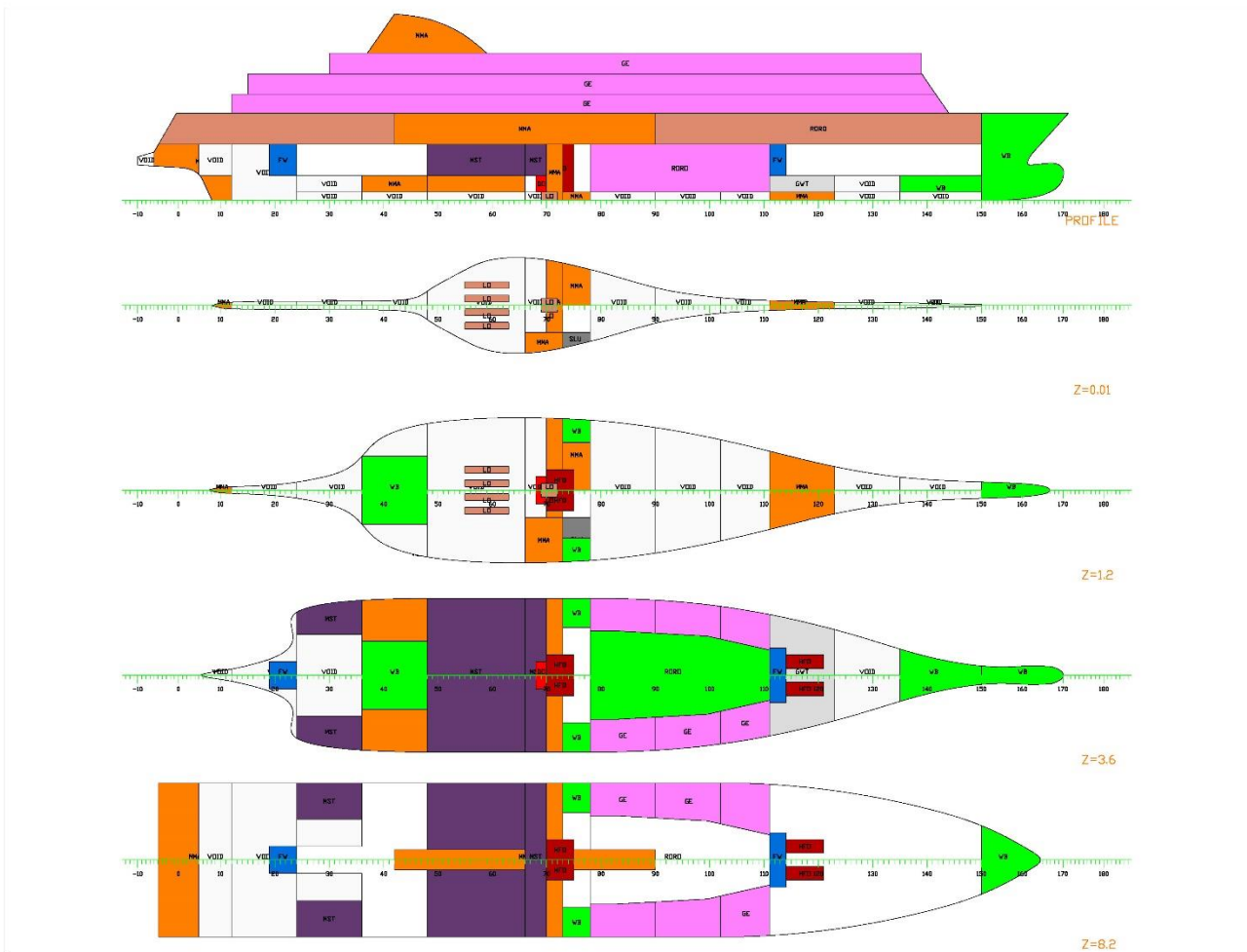
DDDBLHGAR		2102.3	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
AD03GARTOTAL		11563.8	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
SUBTOTAL		13666.1	

**CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)**

CDZ0SLUDGET		24.7	0.95
-------------	--	------	------

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>			
AD00N14VOID		935.4	0.95
AD02N15VOID		338.9	0.95
AN16VOID		59.3	0.95
BD02N13VOID		1006.4	0.95
BD02N12VOID		285.2	0.95
BDDBN11VOID		63.3	0.95
CDZ010VOID		313.9	0.95
CDZ009VOID		73.0	0.95
DDZ008VOID		45.9	0.95
DDZO07VOID		24.2	0.95
DDZO06VOID		12.1	0.95
EDZ005VOID		68.5	0.95
ED0204VOID		296.3	0.95
EDZ003VOID		38.9	0.95
ED0202VOID		184.8	0.95
EDZ001VOID		29.9	0.95
BZ0N17VOID		33.3	0.95
BZ0N18VOID		124.1	0.95
DZ0N20VOID		190.4	0.95
DZ0N21VOID		149.0	0.95
DZ0N22VOID		80.3	0.95
SUBTOTAL		4353.2	
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>			
FFPTK		637.9	0.95
AD0201WB		1278.3	0.95
BDZ003WB		225.8	0.95
EDZ001WB		138.8	0.95
CDD02HEELTP		115.9	0.95
CDD02HEELTS		115.9	0.95
SUBTOTAL		2512.4	
TOTAL		49793.5	

Πίνακας Α.4.2 Διαμερίσματα Πλοίου



Σχήμα Α.4.1 Σχέδιο Γενικής Διάταξης Πλοίου



A.4.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	283.4	65.55	0.00	4.24	0
Provisions	160	55.11	0.00	6.54	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2552.4	59.12	0.00	10.44	0
Lightweight	6750	59.00	0.00	9.40	0
Displacement	9302.4	59.03	0.00	9.68	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	12.81 m
Trim	0.000 m	KG	9.68 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.12 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.12 m
Trimming moment	0 tonm		

Πίνακας A.4.3 Κατάσταση φόρτωσης Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	21.0	70.92	0.00	2.62	0
Provisions	16.0	55.11	0.00	6.54	0
Ballast	42.5	122.76	0	1.51	16.1
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2188.5	59.90	0	11.25	16.1
Lightweight	6750.0	59.00	0.00	9.40	0
Displacement	8938.5	59.22	0	9.85	16.1

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	12.78
Trim	0.000 m	KG	9.85
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	2.93
TA	5.247 m	GMCORR	-0.01
TF	5.247 m	GM	2.92
Trimming moment	-19 ton m		

Πίνακας Α.4.4 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	32.6	65.67	0.00	2.27	0
Provisions	16.0	55.11	0.00	6.54	0
Ballast	528.6	52.92	0.00	6.70	1380.25
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1696.2	58.38	0	7.06	11014.3
Lightweight	6750	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	8446.2	58.88	0	8.85	11014.3

**Loading Condition: Lghtdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	13.22 m
Trim	-0.707 m	KG	9.04 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.18 m
TA	5.371 m	GMCORR	-1.22 m
TF	4.664 m	GM	2.96 m
Trimming moment	-12766 tonm		

Πίνακας Α.4.5 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

A.5 TRANSFORMED ROPAX 05

A.5.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Hydrostatics

T (m)	DISP (t)	CB	LCB (m)	LCF (m)	TPC (t/cm)	MCT (tm/cm)	KMT (m)
1	1056.8	0.3569	59.657	60.59	13.3	56.6	31.295
1.5	1768.6	0.3998	60.074	60.69	15.1	69.9	24.293
2	2559.5	0.4348	60.254	60.67	16.5	81.3	20.471
2.5	3411.9	0.4643	60.341	60.43	17.6	92.1	17.930
3	4317.1	0.4900	60.344	60.3	18.5	101.3	16.038
3.5	5272.4	0.5132	60.252	59.08	19.8	117.0	14.982
4	6280.6	0.5352	60.054	59.00	20.5	125.3	13.859
4.5	7333	0.5556	59.821	57.88	21.6	141.7	13.352
5	8443.2	0.5759	59.466	56.19	22.9	163.9	13.021
5.5	9629.7	0.5972	58.892	53.08	24.8	203.2	13.023
6	10917.8	0.6207	58.049	51.44	26.3	236.9	12.753
6.5	12242.3	0.6426	57.366	52.22	26.6	245.1	12.263
7	13574.7	0.6618	56.934	53.74	26.6	244.5	11.769
7.5	14912.4	0.6786	56.694	54.70	26.9	250.5	11.455
8	16264.2	0.6940	56.565	55.53	27.2	257.1	11.239
8.5	17629.2	0.7081	56.517	56.35	27.4	263.6	11.092
9	19006.6	0.7210	56.531	57.10	27.7	269.3	10.998
9.5	20395.7	0.7331	56.595	57.81	27.9	274.6	10.948
10.0	21795.5	0.7443	56.696	58.50	28.1	279.6	10.933
10.5	23204.9	0.7547	56.826	59.15	28.3	284.2	10.946
11.0	24623.4	0.7645	56.979	59.77	28.5	288.4	10.981
11.5	26049.8	0.7737	57.148	60.36	28.6	292.3	11.035
12.0	27483.6	0.7823	57.330	60.92	28.7	296.0	11.107

Πίνακας Α.5.1 Υδροστατικός πίνακας

A.5.2 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

**SHIP MODEL ARRANGEMENT**

NAME	DES	VNET m <sup>3</sup>	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Diesel Oil (RHO=0.86)</b>			
CDD02DIESELT		34.5	0.95
CDDBDIESELSTORT		15.1	0.95
SUBTOTAL		49.5	
<b>CAPACITY OF Fresh Water (RHO=1)</b>			
AD0202FW		69.0	0.95
ED0201FW		82.8	0.95
SUBTOTAL		151.8	
<b>CAPACITY OF General spaces (RHO=1)</b>			
DD02NO1ROROSPACE		413.4	0.95
DD02NO2ROROSPACE		445.4	0.95
DD02NO3ROROSPACE		386.0	0.95
UPPERDECK		6531.3	0.95
SALOONDECK		6718.7	0.95
BRIDGEDECK		5845.2	0.95
SUBTOTAL		20339.9	
<b>CAPACITY OF Grey Water (RHO=1)</b>			
EDDBGRAY		293.0	0.95
<b>CAPACITY OF Heavy Fuel Oil (RHO=0.94)</b>			
CDDBHFOSERVTS		80.0	0.95
CDDBHFOSETLTP		80.0	0.95
EDD02HFSTORP		48.3	0.95

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
EDD02HFOSTORS		48.3	0.95
SUBTOTAL		256.5	

**CAPACITY OF Lubricating Oil (RHO=0.9)**

CDDBN01LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN02LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN03LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBN04LOCIRCT		7.5	0.95
CDDBLORNT		2.8	0.95
CDDBLORNTS		2.8	0.95
SUBTOTAL		35.8	

**CAPACITY OF Machinery Sp. (RHO=1)**

EDDBN01PUMP		69.1	0.85
CDDBN02PUMP		44.3	0.85
CDDBN03PUMP		37.2	0.85
BDD02AUXROOM		477.3	0.85
CDD02ENGROOM		2533.5	0.85
ADD02STEERGEAR		703.3	0.85
CNTR.CASING		553.0	0.85
CZ0TRIMROOM		424.7	0.85
FUNNEL1		1032.7	0.85
SUBTOTAL		5875.1	

**CAPACITY OF Machine Store (RHO=1)**

BDD02N02ENGSTORE		223.5	0.95
CDD02N01ENGSTORE		1444.6	0.95
BDD02POWERCONVRO OM		223.5	0.95
CDD02WORKSHOP		321.0	0.95
SUBTOTAL		2212.6	

**CAPACITY OF Ro-Ro Space (RHO=1)**

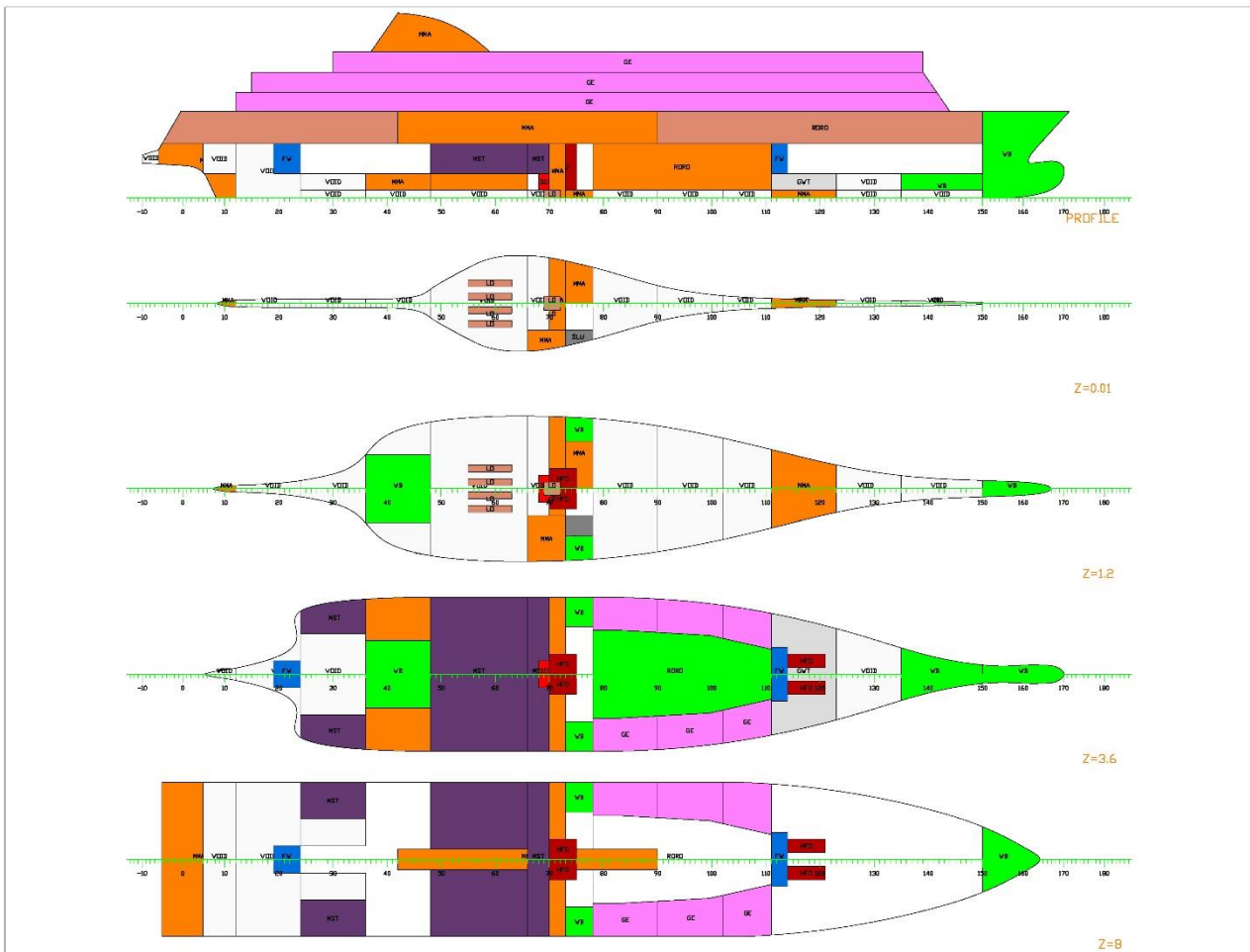
DDDBLHGAR		2042.3	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
AD03GARTOTAL		12168.6	0.95 T,0.95,5.018,0.9,5.247,0.9
SUBTOTAL		14210.9	

**CAPACITY OF Sludge (RHO=2.38)**

CDZ0SLUDGET		25.1	0.95
-------------	--	------	------

NAME	DES	VNET m3	PERM IPERM
<b>CAPACITY OF Void (RHO=1.025)</b>			
AD00N14VOID		899.9	0.95
AD02N15VOID		320.0	0.95
AN16VOID		59.8	0.95
BD02N13VOID		981.5	0.95
BD02N12VOID		287.7	0.95
BDDBN11VOID		67.1	0.95
CDZ010VOID		316.7	0.95
CDZ009VOID		73.6	0.95
DDZ008VOID		47.5	0.95
DDZ007VOID		25.3	0.95
DDZ006VOID		12.6	0.95
EDZ005VOID		69.1	0.95
ED0204VOID		299.0	0.95
EDZ003VOID		39.3	0.95
ED0202VOID		186.4	0.95
EDZ001VOID		30.2	0.95
BZ0N17VOID		33.6	0.95
BZ0N18VOID		125.2	0.95
DZ0N20VOID		192.2	0.95
DZ0N21VOID		150.4	0.95
DZ0N22VOID		81.0	0.95
SUBTOTAL		4298.4	
<b>CAPACITY OF Water Ballast (RHO=1.025)</b>			
FFPTK		643.5	0.95
AD0201WB		1201.4	0.95
BDZ003WB		225.8	0.95
EDZ001WB		140.0	0.95
CDD02HEELTP		115.2	0.95
CDD02HEELTS		115.2	0.95
SUBTOTAL		2441.0	
TOTAL		50189.6	

Πίνακας Α.5.2 Διαμερίσματα Πλοίου



Σχήμα Α.5.1 Σχέδιο Γενικής Διάταξης Πλοίου



A.5.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

**Loading Condition: Subdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	300.2	65.48	0.00	4.42	0
Provisions	217.0	55.75	0.00	5.98	0
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2626.1	59.12	0.00	10.24	0
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	9384.3	59.03	0.00	9.56	0

**Loading Condition: Subdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.400 m	KM	12.98 m
Trim	0.000 m	KG	9.56 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.41 m
TA	5.400 m	GMCORR	0.00 m
TF	5.400 m	GM	3.41 m
Trimming moment	-4 tonm		

Πίνακας A.5.3 Κατάσταση φόρτωσης Subdivision Draught

**Loading Condition: Partdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	31.6	65.47	0.00	2.25	0
Provisions	31.2	55.11	0.00	5.21	0
Ballast	84.5	93	0	1.64	821.5
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Cars	730.0	59.50	0.00	11.96	0
Trucks	1200.0	57.40	0.00	9.85	0
Deadweight	2256.3	59.90	0	10.92	821.5
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	9014.5	59.22	0	9.71	821.5

**Loading Condition: Partdraught**

FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.247 m	KM	12.95
Trim	0.000 m	KG	9.71
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	3.24
TA	5.247 m	GMCORR	-0.09
TF	5.247 m	GM	3.15
Trimming moment	9 ton m		

Πίνακας Α.5.4 Κατάσταση φόρτωσης Partial Draught

**Loading Condition: Lghtdraught**

NAME	MASS (t)	CGX (m)	CGY (m)	CGZ (m)	FREE S. MOMENT (tm)
Consumables	31.6	65.47	0.00	2.25	0
Provisions	31.2	55.11	0.00	5.21	0
Ballast	1528.8	57.19	0	6.89	1706.7
Luggage	56.0	62.50	0.00	18.60	0
Passengers	120.0	62.50	0.00	16.50	0
Crew	3.0	62.50	0.00	11.10	0
Deadweight	1770.6	57.84	0	7.81	1706.7
Lightweight	6758.2	59.00	0.00	9.30	0
Displacement	8528.8	58.76	0	8.99	1706.7

**Loading Condition: Lghtdraught**

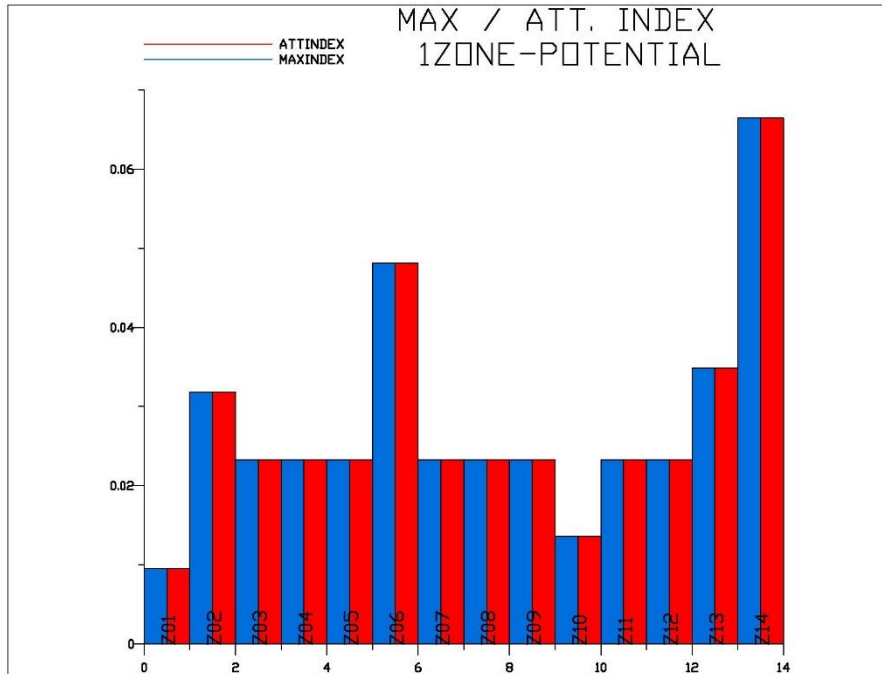
FLOATING POSITION			
Draught moulded	5.018 m	KM	13.15 m
Trim	-0.348 m	KG	8.99 m
Heel, PS=+	0.0 deg	GMO	4.16 m
TA	5.192 m	GMCORR	-1.26 m
TF	4.844 m	GM	2.91 m
Trimming moment	-5886 tonm		

Πίνακας Α.5.5 Κατάσταση φόρτωσης Lightest Service Draught

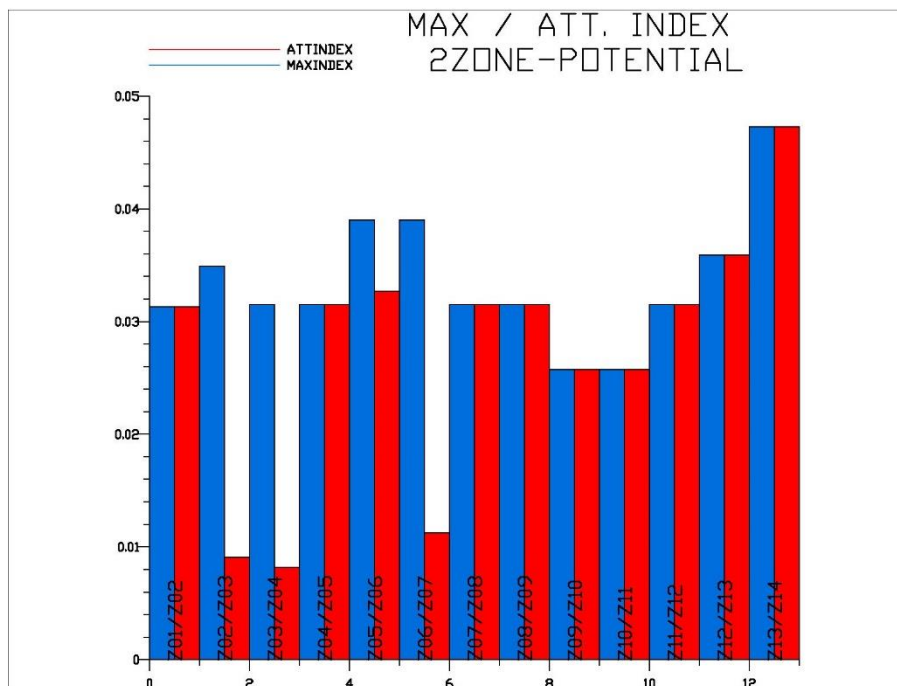
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΒΛΑΒΗ

B.1 TRANSFORMED RORAX 01

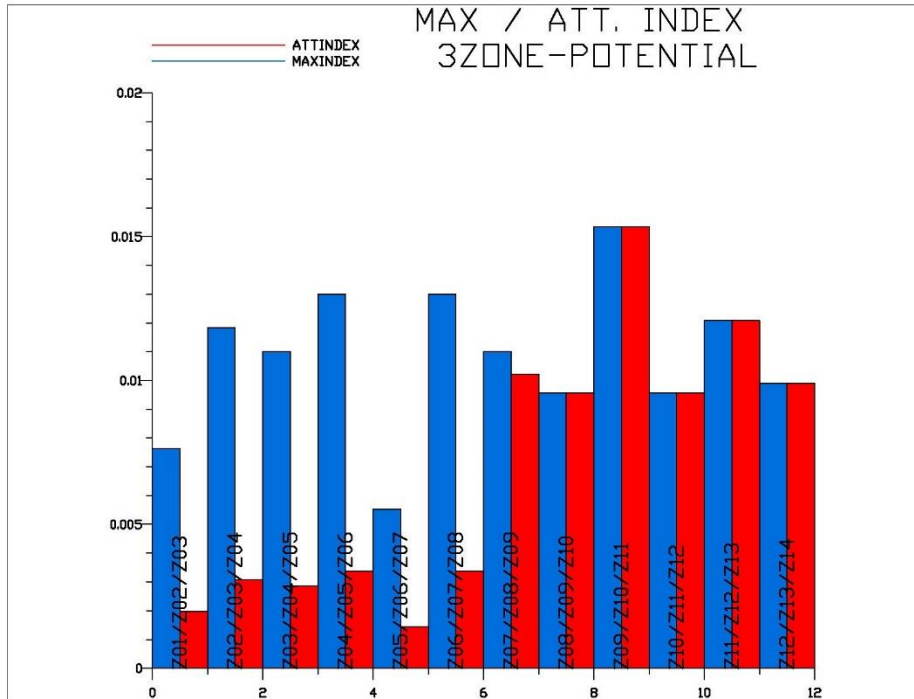
B.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ATTAINED INDEX VS. MAX INDEX



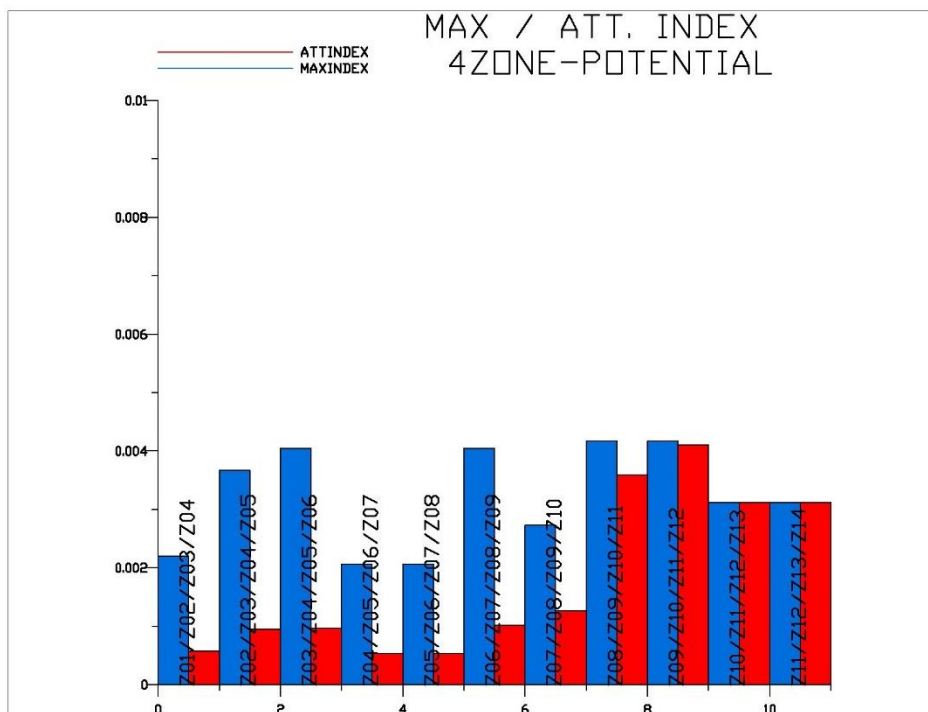
Διάγραμμα Β.1.1 Max/Att. Index 1-Zone damages



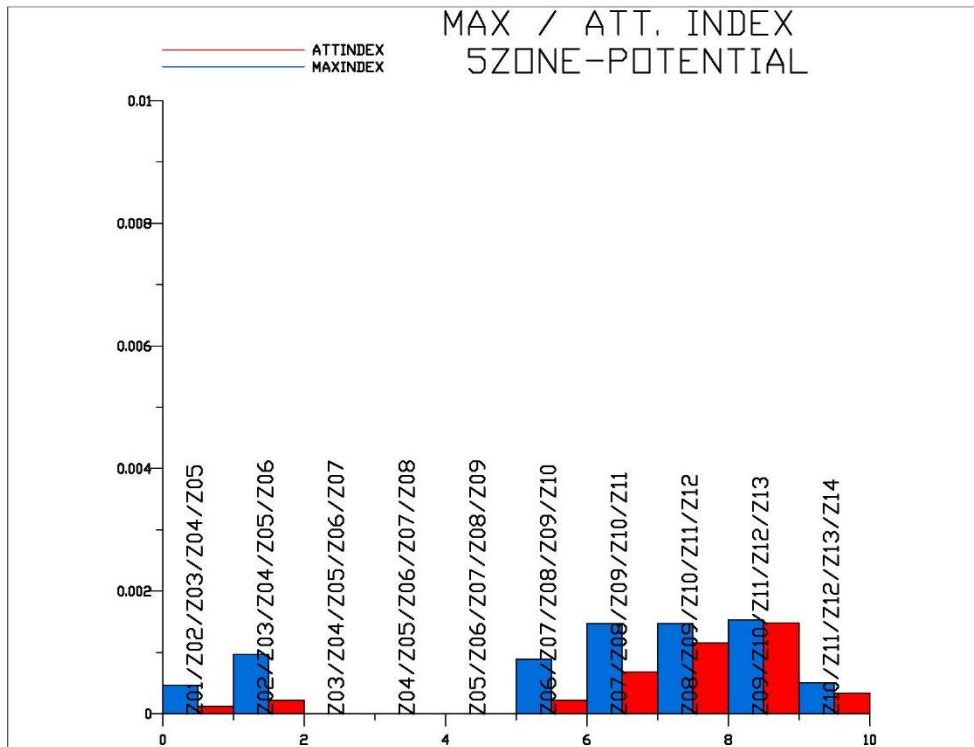
Διάγραμμα Β.1.2 Max/Att. Index 2-Zones damages



Διάγραμμα Β.1.3 Max/Att. Index 3-Zones damages



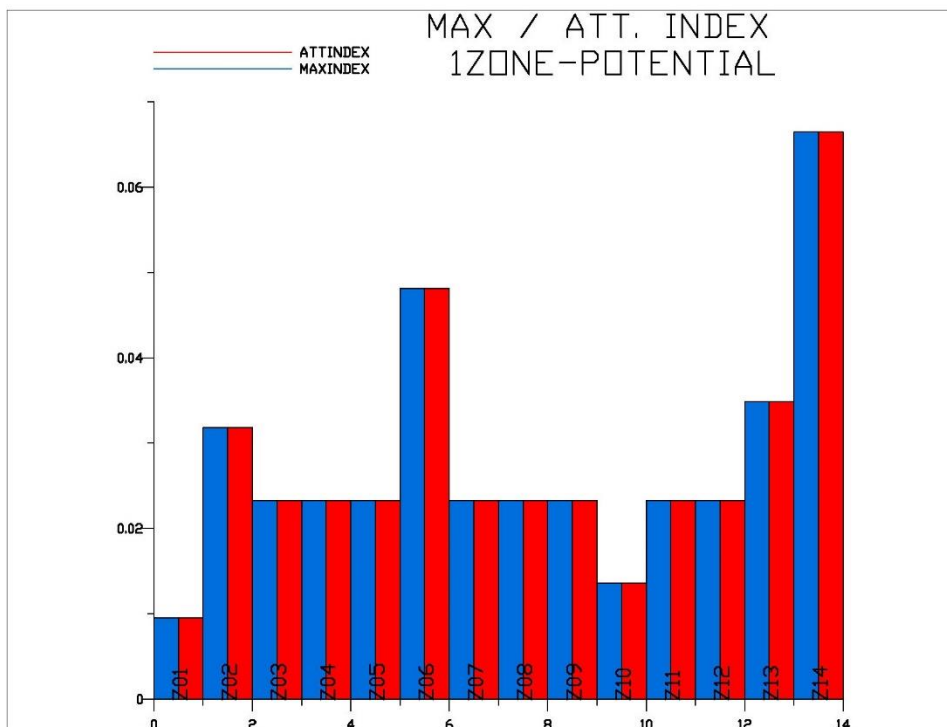
Διάγραμμα Β.1.4 Max/Att. Index 4-Zones damages



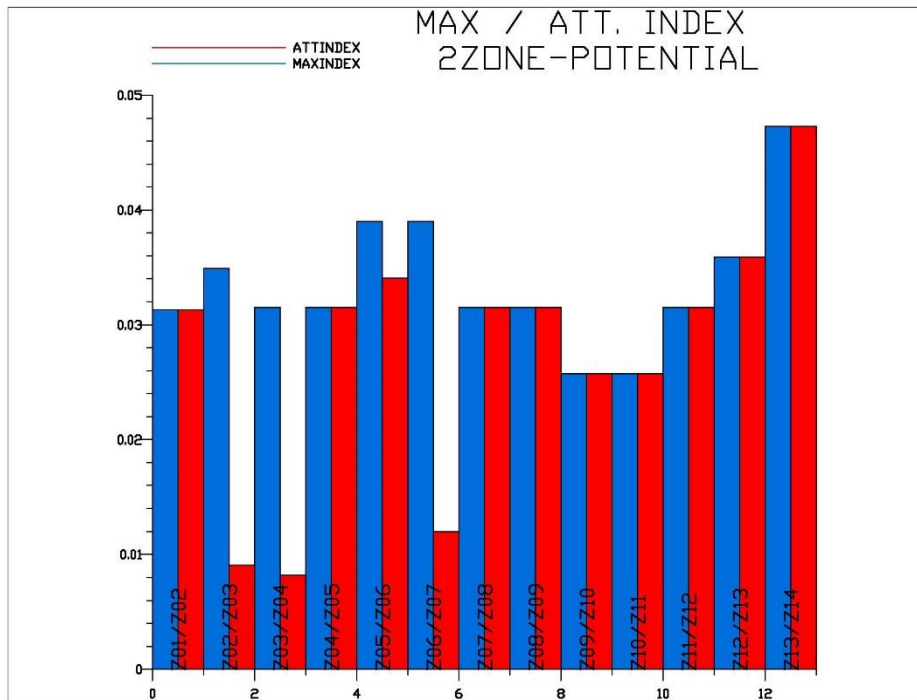
Διάγραμμα Β.1.5 Max/Att. Index 5-Zones damages

## B.2 TRANSFORMED ROPAX 02

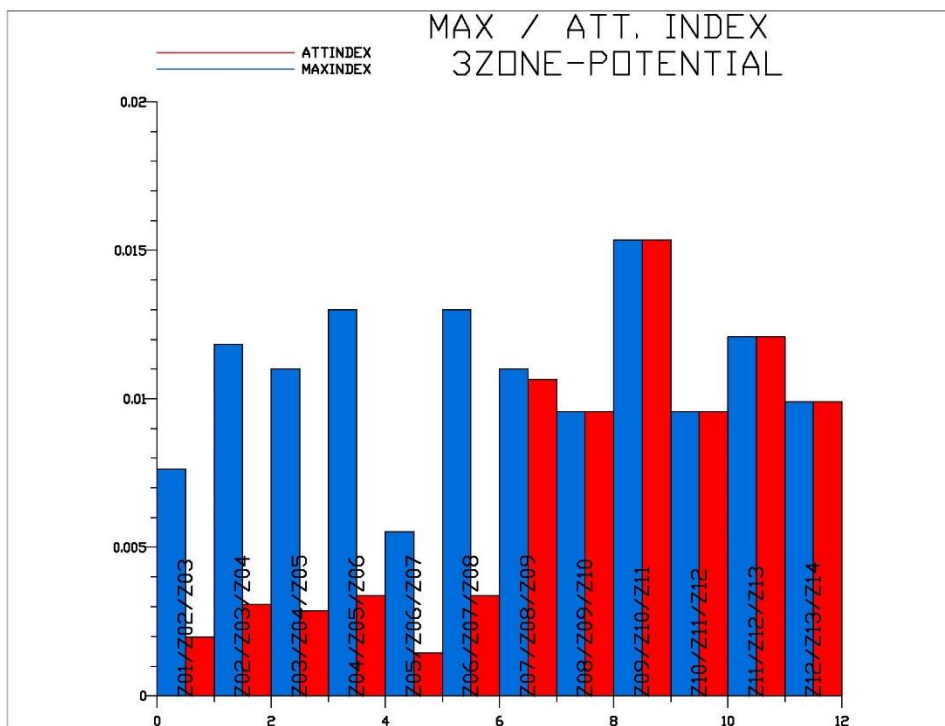
### B.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ATTAINED INDEX VS. MAX INDEX



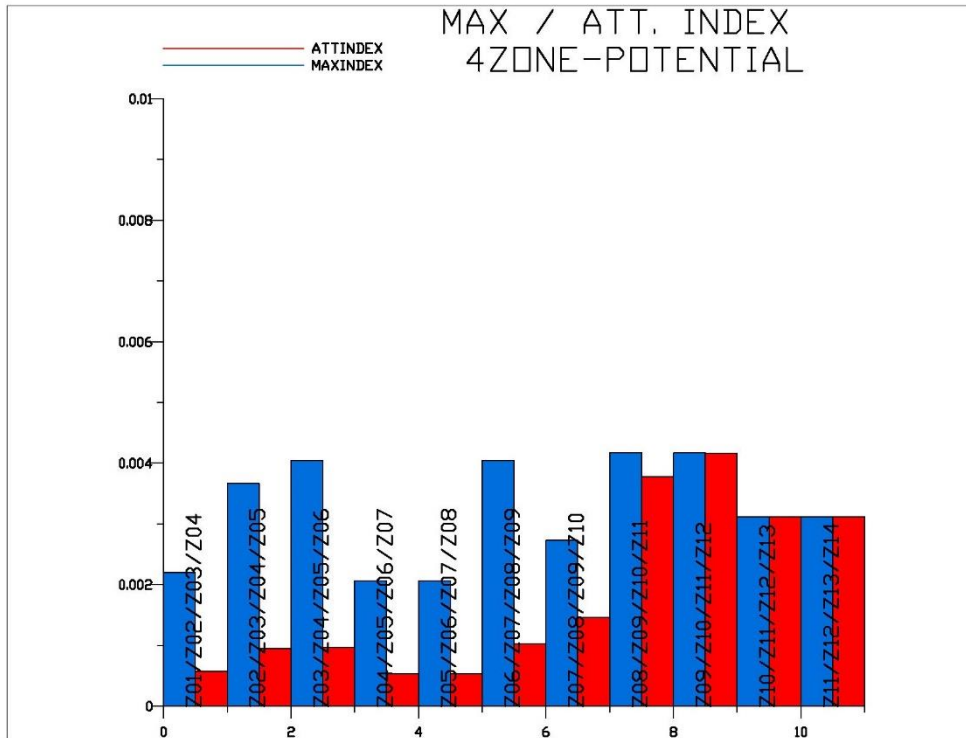
Διάγραμμα Β.2.1 Max/Att. Index 1-Zone damages



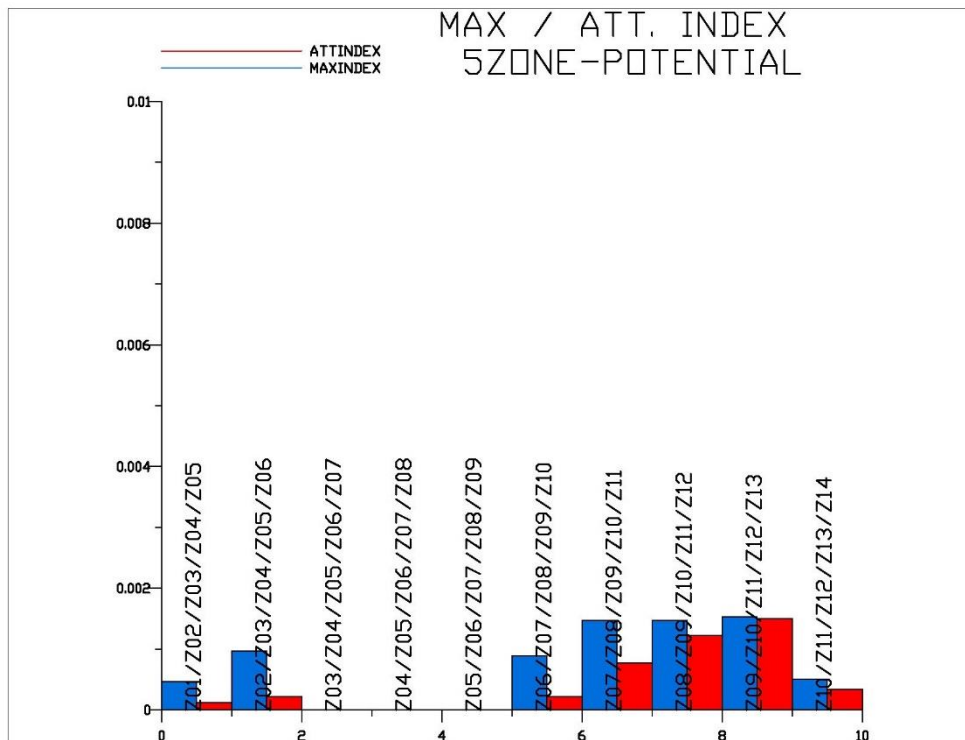
Διάγραμμα Β.2.2 Max/Att. Index 2-Zones damages



Διάγραμμα Β.2.3 Max/Att. Index 3-Zones damages



Διάγραμμα Β.2.4 Max/Att. Index 4-Zones damages

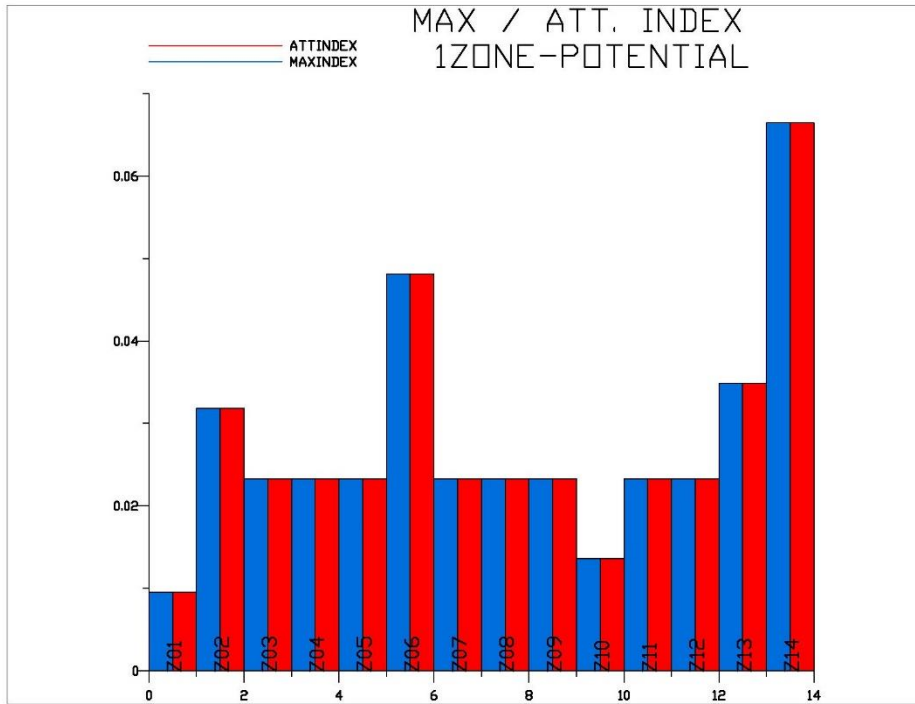


Διάγραμμα Β.2.5 Max/Att. Index 5-Zones damages

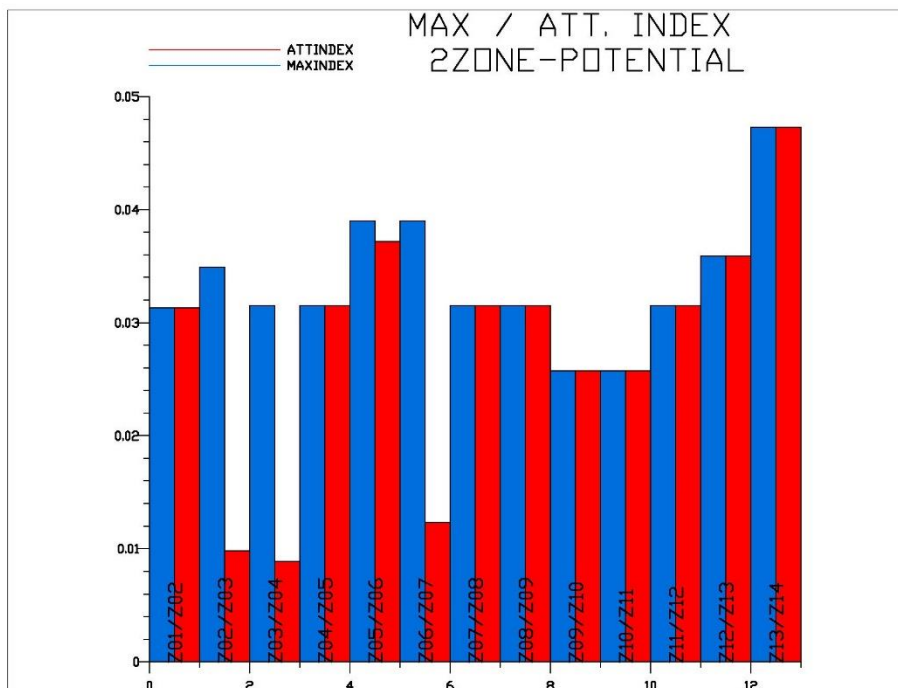


B.3 TRANSFORMED ROPAX 03

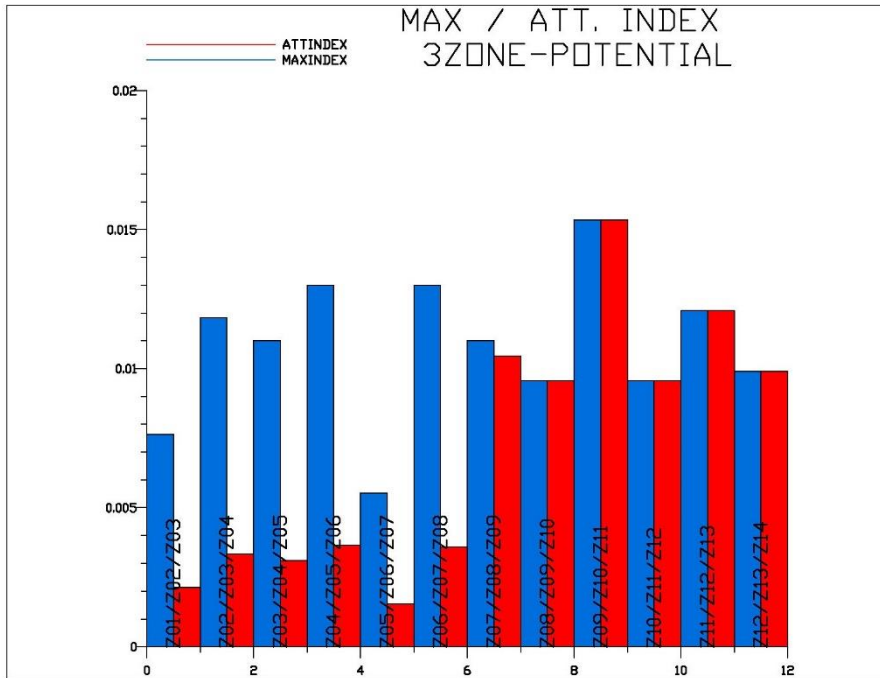
B.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ATTAINED INDEX VS. MAX INDEX



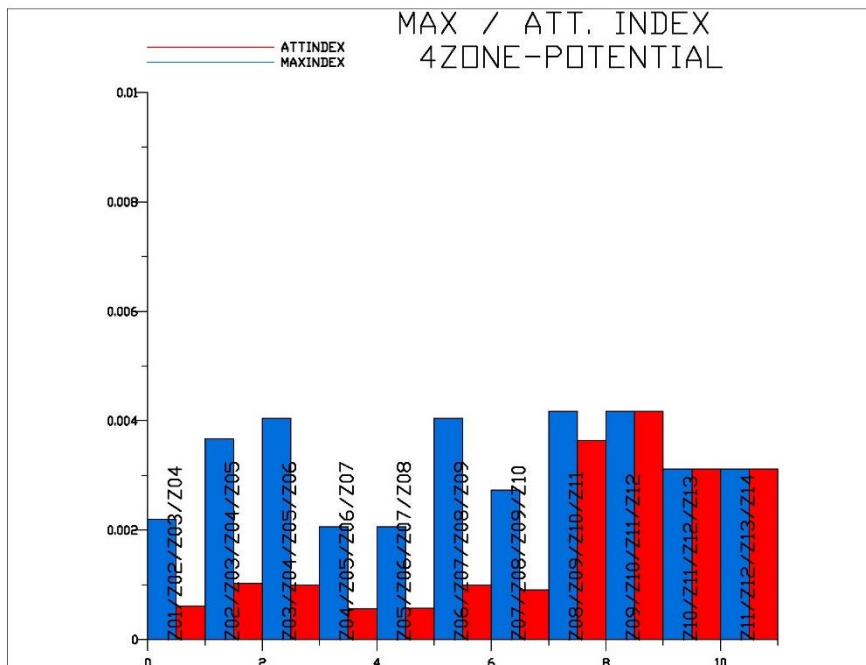
Διάγραμμα Β.3.1 Max/Att. Index 1-Zone damages



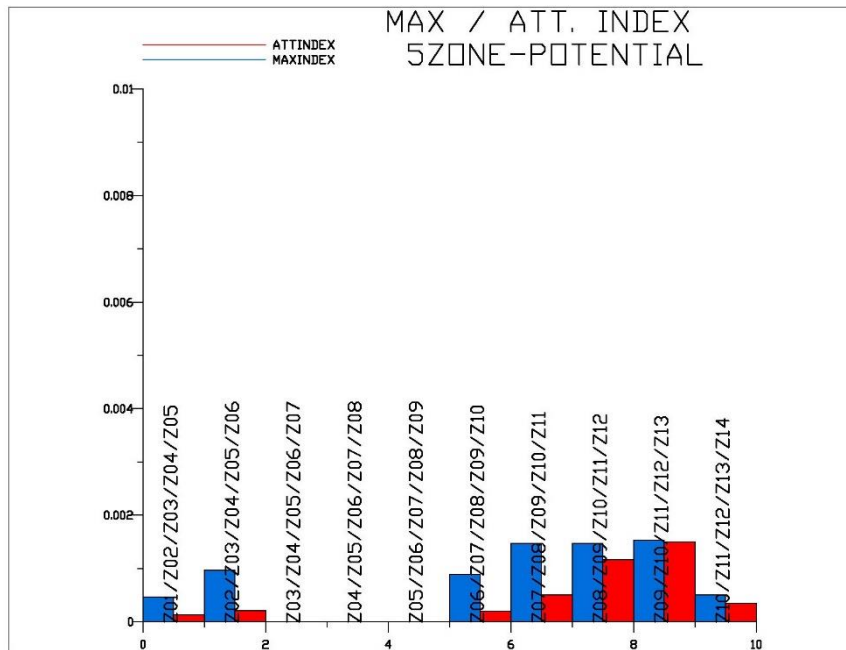
Διάγραμμα Β.3.2 Max/Att. Index 2-Zones damages



Διάγραμμα Β.3.3 Max/Att. Index 3-Zones damages



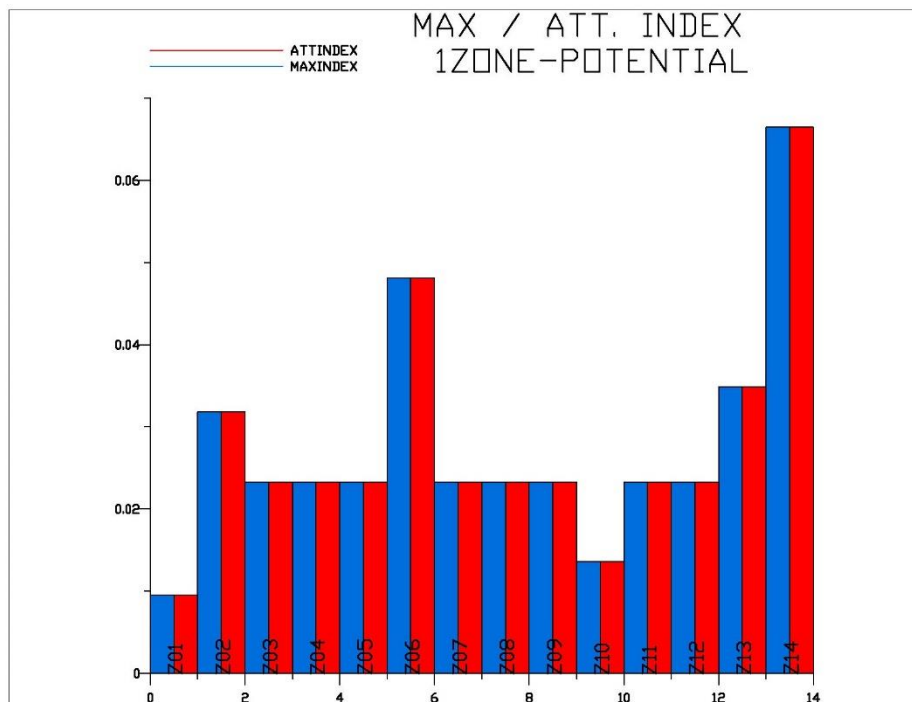
Διάγραμμα Β.3.4 Max/Att. Index 4-Zones damages



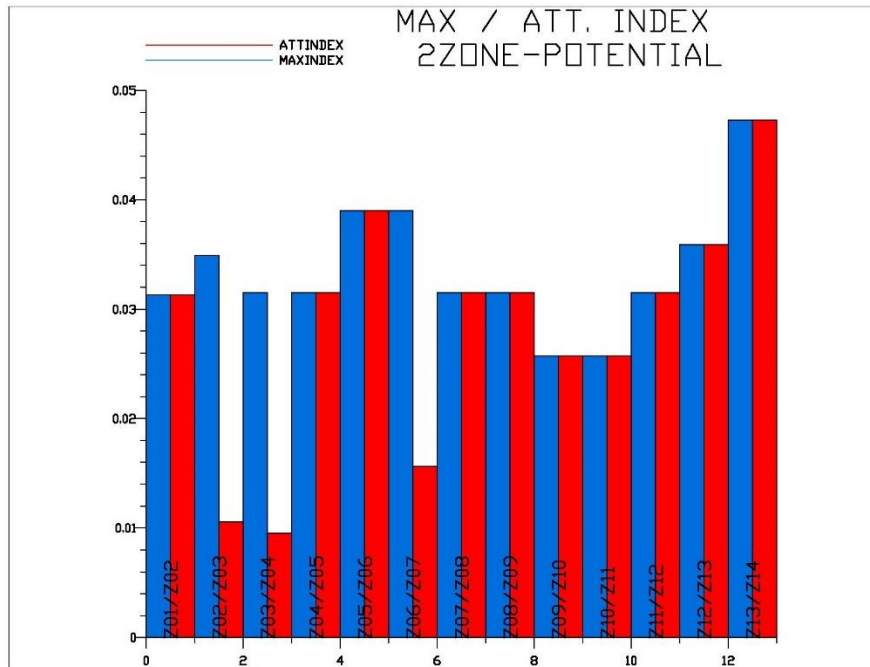
Διάγραμμα Β.3.5 Max/Att. Index 5-Zones damages

B.4 TRANSFORMED ROPAX 04

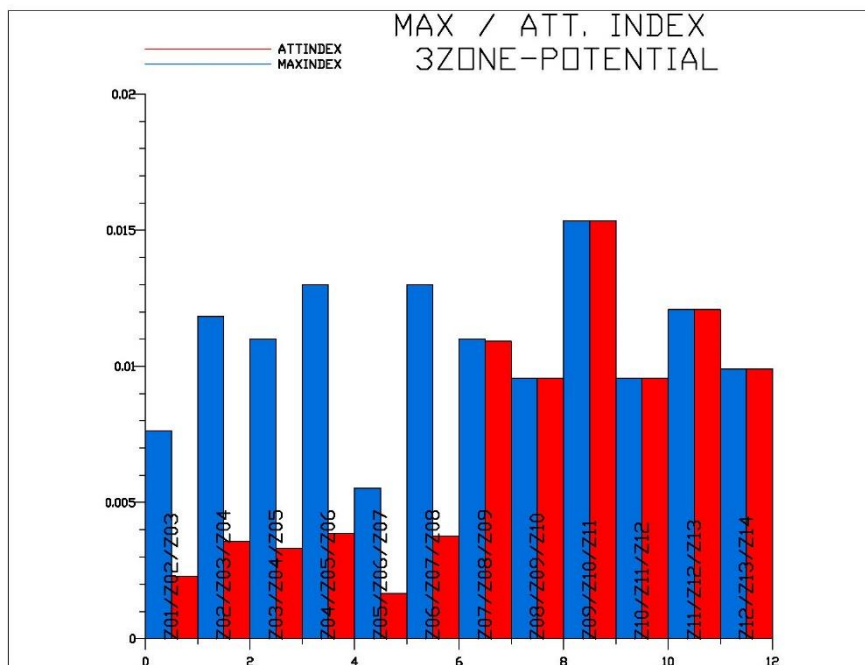
B.4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ATTAINED INDEX VS. MAX INDEX



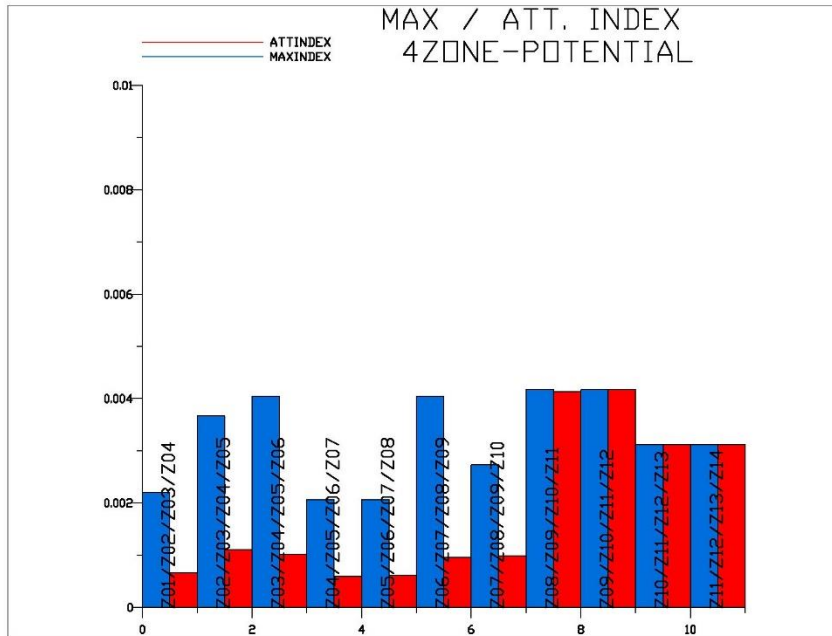
Διάγραμμα Β.4.1 Max/Att. Index 1-Zone damages



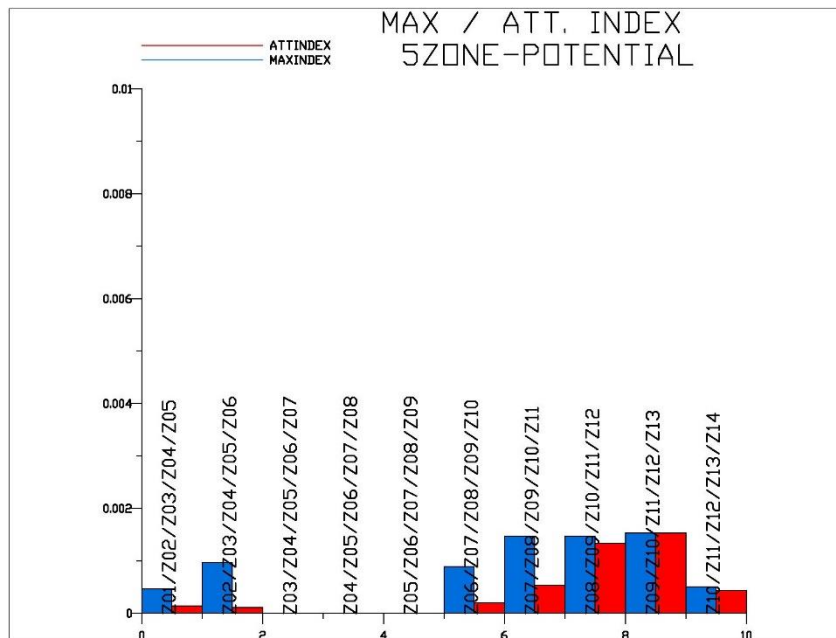
Διάγραμμα Β.4.2 Max/Att. Index 2-Zones damages



Διάγραμμα Β.4.3 Max/Att. Index 3-Zones damages



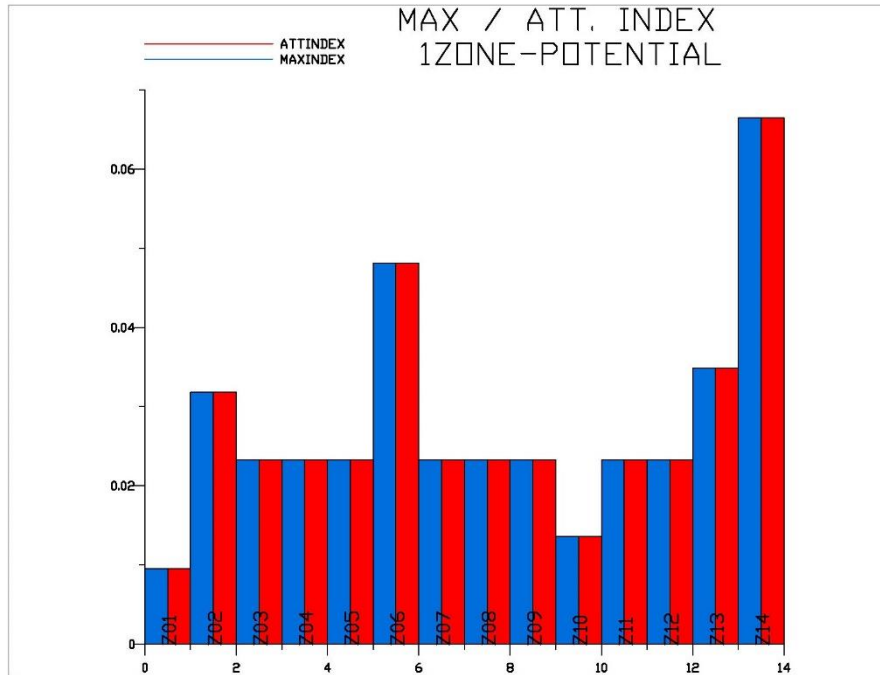
Διάγραμμα Β.4.4 Max/Att. Index 4-Zones damages



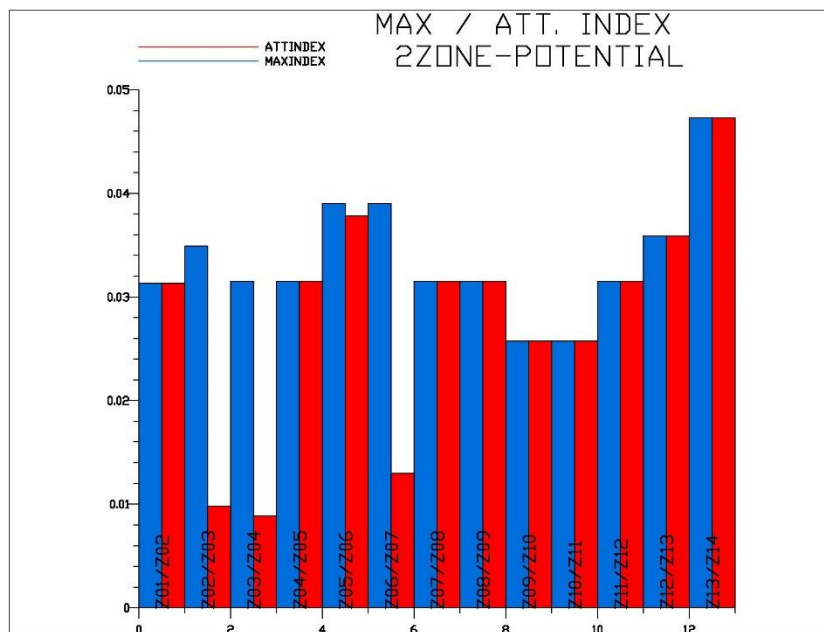
Διάγραμμα Β.4.5 Max/Att. Index 5-Zones damages

B.5 TRANSFORMED ROPAX 05

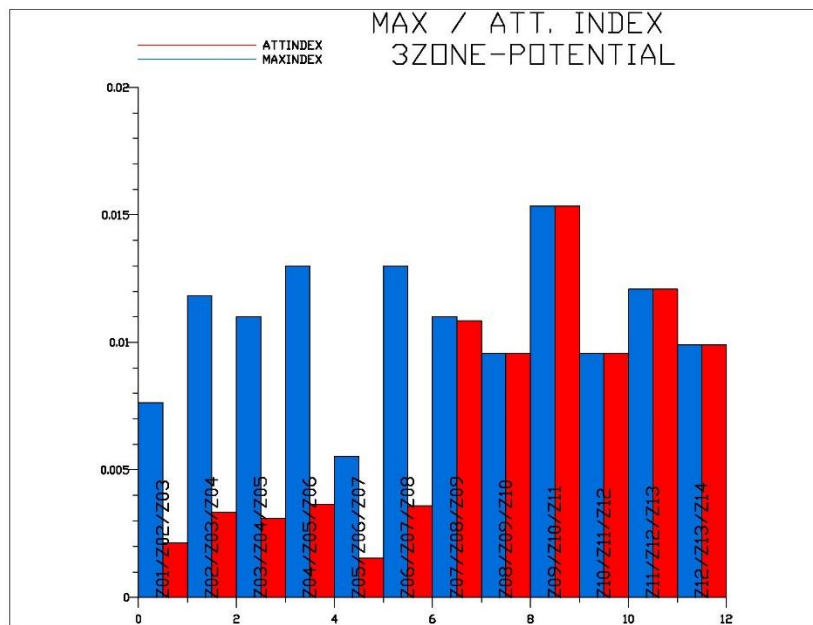
B.5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ATTAINED INDEX VS. MAX INDEX



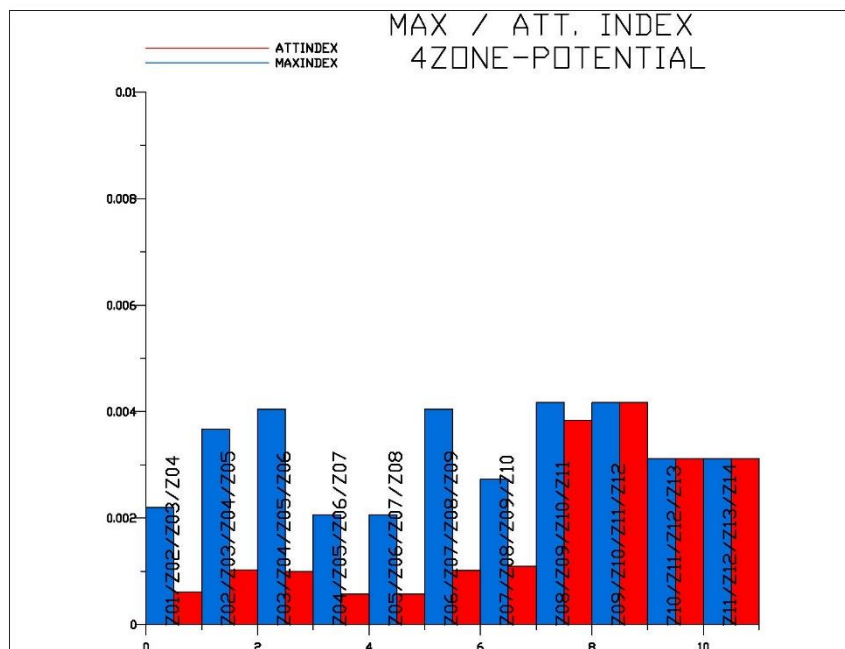
Διάγραμμα B.5.1 Max/Att. Index 1-Zone damages



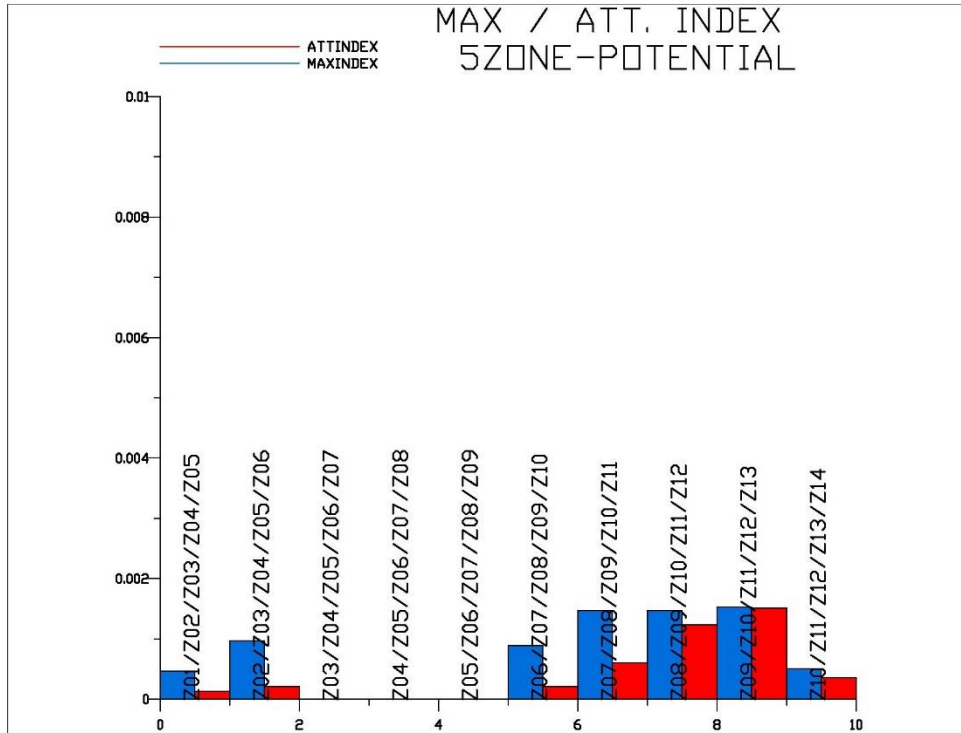
Διάγραμμα B.5.2 Max/Att. Index 2-Zones damages



Διάγραμμα Β.5.3 Max/Att. Index 3-Zones damages



Διάγραμμα Β.5.4 Max/Att. Index 4-Zones damages



Διάγραμμα Β.5.5 Max/Att. Index 5-Zones damages