



## **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

### **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΟΠΙΝ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ-ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**

#### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ-ΧΑΡΙΛΑΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ-ΠΑΠΑΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΟΥ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

Αθήνα 2019

---



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
I. Το Νομοθετικό Πλαίσιο της Ναυτιλίας .....	11
I.1. Ιστορικό Σημείωμα .....	11
I.2. Δομή του IMO.....	12
I.2.1. Επιτροπή Ασφάλειας (Maritime Safety Committee/MSC).....	13
I.3. Νηογνώμονες και Κανονισμοί Αυτών .....	15
I.4. IMO και Νηογνώμονες .....	15
II. Κανονισμοί Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης .....	17
II.1. Βασικοί Ορισμοί .....	17
II.2. Σύνομη Αναδρομή στους Κανόνες Ασφαλείας .....	19
II.3. Ντετερμινιστικοί και Πιθανοθεωρητικοί Κανονισμοί .....	23
II.4. SOLAS 1990.....	25
II.5. Stockholm Agreement.....	28
II.6. SOLAS 2009.....	31
II.7. Η Πορεία από τη SOLAS 1990 στη SOLAS 2009.....	36
III. Κανονισμοί για την Προστασία του Περιβάλλοντος.....	39
III.1. Πρωτόκολλο του Κιότο και Περιβαλλοντική Ευαισθητοποίηση .....	39
III.2. Σύμβαση MARPOL .....	40
III.3. MARPOL Annex VI.....	42
III.4. Κυριότεροι Ρύποι και Επιπτώσεις Αυτών .....	43
III.5. LNG: Ένα Πιθανό Βήμα στο Μέλλον.....	45
III.6. Δείκτης EEDI.....	50
III.6.1. Εφαρμογή Δείκτη EEDI .....	50
III.6.2. Υπολογισμός Δείκτη EEDI .....	51

IV. Κατασκευή Πρώτης Οικογένειας Εναλλακτικών Σχεδιάσεων .....	59
IV.1. Πατρικό Πλοίο .....	59
IV.2. Διαδικασία Εναλλακτικών Σχεδιάσεων.....	60
IV.2.1. Σύνομη Αναφορά στο Πρόγραμμα Nara.....	60
IV.3. Υπολογισμός Παραμέτρων Δείκτη EEDI.....	64
IV.4 Υπολογισμός Αντίστασης .....	71
IV.5. Υπολογισμός Ισχύος Πρόωσης.....	76
IV.6. Υπολογισμός Δείκτη EEDI .....	78
IV.7. Εκτίμηση Δυνατότητας Συμμόρφωσης με Μελλοντικές Απαιτήσεις EEDI .....	81
IV.8 Υπολογισμός Υδροστατικών Χαρακτηριστικών .....	93
IV.9 Έλεγχος Άθικτης Ευστάθειας.....	94
IV.10. Έλεγχος Ευστάθειας κατόπιν Βλάβης .....	98
V. Κατασκευή Δεύτερης Οικογένειας Εναλλακτικών Σχεδιάσεων.....	101
V.1. Δεύτερη Οικογένεια Εναλλακτικών Σχεδιάσεων.....	101
IV.2 Εκτίμηση Δυνατότητας Συμμόρφωσης με Μελλοντικές Απαιτήσεις EEDI .....	104
VI. Παρουσίαση της Επίδοσης των Σχεδιάσεων .....	107
VII. Σύγκριση Επίδοσης των Σχεδιάσεων .....	129
VIII. Τελικά Συμπεράσματα .....	147
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	151
Επιπλέον Βιβλιογραφία.....	153
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I</b> .....	155
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II</b> .....	161

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιδιώκεται η δημιουργία μιας σειράς παραλλαγών μιας δοσμένης αρχικής σχεδίασης πλοίου, ώστε να διερευνηθεί ποιά από αυτές παρουσιάζει τις υψηλότερες επιδόσεις στους τομείς της ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, επιλέγεται ένα μικρό Ε/Γ-Ο/Γ πλοίο, σχεδιασμένο για την κάλυψη των αναγκών των λεγόμενων επιδοτούμενων γραμμών του Αιγαίου. Αρχικά κατασκευάζεται μια σειρά από παραμετρικά μοντέλα-παραλλαγές της αρχικής σχεδίασης με αλλαγή των γραμμικών διαστάσεων του μοντέλου, ώστε να υπολογιστεί ο *Επιτευχθείς Δείκτης A* κάθε σχεδίασης και να αξιολογηθεί το επίπεδο ασφάλειας που προσφέρει κάθε μία από αυτές.

Ακολούθως, για κάθε ένα από τα παραμετρικά αυτά μοντέλα, υπολογίζεται ο δείκτης *EEDI*, ώστε να αξιολογηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα καθενός από αυτά.

Σε ένα τρίτο βήμα αξιολογούνται οι συνδυασμένες επιδόσεις ως προς τις παραπάνω απαιτήσεις και τελικώς επιλέγονται οι σχεδιαστικές λύσεις που ικανοποιούν με τον καλύτερο τρόπο και τις δύο απαιτήσεις.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά γενική ομολογία, η ναυτιλία είναι μια από τις απαιτητικότερες βιομηχανίες στον πλανήτη, λόγω των απαιτήσεων των πολυάριθμων κανονιστικών διατάξεων που διέπουν τόσο την κατασκευή, όσο και την λειτουργία των πλοίων. Συνεπώς καθίσταται αναγκαίο να ικανοποιούνται απαιτήσεις, οι οποίες είναι ταυτόχρονα πολυάριθμες, ιδιαίτερα αυστηρές και διαρκώς εξελισσόμενες. Δε θα ήταν υπερβολή μάλιστα να ειπωθεί πως πολλές φορές οι κανονισμοί είναι συχνά μεταξύ τους αντικρουόμενοι. Αυτός είναι και ο λόγος που πλέον κρίνεται επιβεβλημένη η συνολική θεώρηση των σχεδιαστικών παραμέτρων ενός πλοίου, με ταυτόχρονη εξέταση της αλληλεπίδρασης των διαφόρων σχεδιαστικών λύσεων. Οι δύο (ίσως πιο εμβληματικοί) στόχοι που καλείται να επιτύχει η σχεδίαση ενός ναυπηγού, είναι να παρέχεται το μεγαλύτερο δυνατό επίπεδο ασφάλειας, τόσο για το ίδιο το πλοίο, όσο και για τους επιβαίνοντες σε αυτό, και ταυτόχρονα το πλοίο να είναι φιλικό προς το περιβάλλον [1]. Κατευθυντήριες γραμμές για τα παραπάνω προσφέρουν κατά βάση οι διεθνείς συμβάσεις SOLAS (*Safety of Life At Sea*), για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, και MARPOL (*Maritime Pollution*), για τη προστασία του περιβάλλοντος, αντίστοιχα. Αμφότερες εκδίδονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό IMO (*International Maritime Organization*).





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από τη θέση αυτή επιθυμώ να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον Ομότιμο Καθηγητή κ. Α. Παπανικολάου, που μου πρότεινε το θέμα της παρούσας διπλωματικής και μου προσέφερε την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλο το διάστημα της εκπόνησής της, μέχρι την αφυπηρέτησή του.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γ. Ζαραφωνίτη που ανέλαβε έκτοτε την επίβλεψη της διπλωματικής, και τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Κ. Σπύρου και την Ερευνήτρια κ. Ε. Ηλιοπούλου.

Ευχαριστώ τους Υ.Δ. κ.κ. Αφροδίτη Κανελλοπούλου και Γεώργιο Δαφέρμο για την βοήθειά τους στην χρήση του προγράμματος Nara.

Ευχαριστώ, τέλος, το μέλος του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου κ. Αιμιλία Αλησαφάκη για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου πρόσφερε σε σχέση με τα αποτελέσματα της μεταπτυχιακής της εργασίας περί του δείκτη EEDI.



## I. Το Νομοθετικό Πλαίσιο της Ναυτιλίας

### I.1. Ιστορικό Σημείωμα

Δεδομένου ότι οι πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος ευθυγραμμίζονται με τη γενικότερη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, που σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί έναν νεότερο προβληματισμό, γίνεται σαφές ότι οι παλαιότεροι κανόνες που αφορούν την ναυτιλία είχαν σαν προτεραιότητα τα θέματα ασφάλειας. Δεν θα ήταν μάλιστα υπερβολή να ειπωθεί ότι παραδοσιακά η διαδικασία σχεδίασης των πλοίων καθοριζόταν σε μεγάλο βαθμό από τους περιορισμούς που έθεταν τα ζητήματα ασφαλείας στις σχεδιαστικές παραμέτρους του πλοίου. Οι περιορισμοί αυτοί απορρέουν κατά βάση από τις διατάξεις του *Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization/IMO)* και των νηογνωμόνων (*Classification Societies*). Ο λόγος της ύπαρξης των δύο αυτών ανεξάρτητων μεταξύ τους φορέων θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, ενώ ακόμη και σήμερα παρατηρείται μια εξειδίκευση του καθενός σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, δημιουργώντας ένα αρκετά πολύπλοκο νομοθετικό πλαίσιο στο οποίο καλείται να λειτουργήσει σήμερα η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα.

Να σημειωθεί τέλος ότι οι νεότερες αντιλήψεις προσπαθούν να μετασχηματίσουν τη σημασία της ασφάλειας, από έναν περιορισμό στις σχεδιαστικές τους επιλογές, σε μια επιπλέον σχεδιαστική παράμετρο, η οποία να συνεκτιμάται κατά τα στάδια της προκαταρκτικής μελέτης ενός πλοίου.

Σήμερα η παρέμβαση των διαφόρων κρατών στα θέματα που διέπουν την ναυτιλία είναι αρκετά εκτεταμένη, είτε μέσα από τη συμμετοχή τους στον *IMO*, για τον οποίο θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στη συνέχεια, είτε μέσω της κρατικής νομοθεσίας, που μπορεί να επιβάλλει επιπλέον απαιτήσεις τοπικού χαρακτήρα (*Regional Agreements*), σε σχέση με το διεθνές πλαίσιο. Παράδειγμα αποτελούν οι απαιτήσεις *OPA 90* που ισχύουν στις Η.Π.Α και που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος από μόλυνση της θάλασσας από πετρελαιοειδή προϊόντα που ενδέχεται να διαρρεύσουν από πλοία. Επίσης ενδέχεται κάποιες επιπρόσθετες απαιτήσεις να έχουν διακρατικό χαρακτήρα, με πιο χαρακτηριστική την περίπτωση της *Stockholm Agreement* που αποτέλεσε αρχικά συμφωνία μεταξύ 7 χωρών που βρέχονταν από την Βόρεια και την

Βαλτική Θάλασσα: Δανία, Σουηδία, Νορβηγία, Φινλανδία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία και Ιρλανδία και η οποία επέβαλε πρόσθετες απαιτήσεις για την ασφάλεια των επιβατηγών πλοίων που έπλεαν στην περιοχή μετά το τραγικό ατύχημα του Ε/Γ – Ο/Γ *ESTONIA* (περισσότερα για το θέμα αυτό θα αναφερθούν στην παράγραφο 2.5). Παρά ταύτα, η κατάσταση αυτή δεν ήταν πάντοτε δεδομένη. Στα πλαίσια του φιλελεύθερου πνεύματος που επικρατούσε μέχρι και τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η παρέμβαση του κράτους φάνταζε ασύμβατη, καθώς θεωρείτο ότι παραβίαζε τις αρχές του ελεύθερου ανταγωνισμού και προσέδιδε πλεονεκτήματα σε όσους εφάρμοζαν ελαστικότερους κανονισμούς, ενώ η επικρατούσα αντίληψη υπαγόρευε ότι τα άμεσα ενδιαφερόμενα μέρη, δηλαδή οι πλοιοκτήτες και οι ναυλωτές, είχαν κάθε λόγο να ενδιαφέρονται και εντέλει να εξασφαλίζουν την καλή κατάσταση του πλοίου, ώστε το φορτίο και οι επιβαίνοντες να φθάσει στον προορισμό του [2].

Η κατάσταση αυτή άρχισε να διαφοροποιείται με την βιομηχανική επανάσταση, οπότε παρατηρείται αφενός μεν η αύξηση της ποσότητας πρώτων υλών για την βιομηχανία και αντίστοιχα εμπορικών προϊόντων για τις αποικίες. Παράλληλα, την εποχή εκείνη αρχίζει να εμφανίζεται η βιομηχανική νομοθεσία, οι διατάξεις της οποίας σύντομα άρχισαν να επεκτείνονται και στη θάλασσα. Έτσι το 1850 στη Μεγάλη Βρετανία καθιερώνεται Ναυτικό τμήμα στο Υπουργείο Εμπορίου. Λίγα χρόνια νωρίτερα, το 1834 εκδίδονται οι κανόνες του Lloyd's Register, του πρώτου νηογνώμονα. Οι νηογνώμονες ήταν ιδιωτικοί οργανισμοί, που αναλάμβαναν να πληροφορήσουν τους ασφαλιστές για την κατάσταση του ασφαλιζόμενου πλοίου και της ποιότητας του εξοπλισμού του. Λειτουργούσαν δηλαδή παράλληλα με τους κρατικούς κανονισμούς [2].

Το ναυάγιο του Τιτανικού κατέστησε σαφή την ανάγκη να υπάρξει κοινή δράση και συντονισμός των νομοθετικών πρωτοβουλιών των επιμέρους χωρών, και το 1914 συγκλήθηκε η πρώτη διεθνής συνδιάσκεψη για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, η γνωστή SOLAS (*Safety of Life at Sea*). Η προσπάθεια αυτή εντατικοποιήθηκε και τελικά το 1948 οδήγησε στην ίδρυση, υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών του *Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού*, με την αρχική ονομασία *IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization)*. Αργότερα ο οργανισμός μετονομάστηκε σε *IMO (International Maritime Organization)*, ονομασία που διατηρεί και σήμερα [2].

## 1.2. Δομή του IMO [3]

Ο *IMO* υπάγεται στον Ο.Η.Ε, έχει την έδρα του στο Λονδίνο και απαρτίζεται από 169 χώρες και 3 συνδεδεμένα μέλη, ενώ μια σειρά από μη κυβερνητικούς οργανισμούς συμμετέχουν συμβουλευτικά στις εργασίες του, χωρίς να έχουν δικαίωμα ψήφου.

Ο *IMO* διαθέτει την Ολομέλεια (*Assembly*), το Συμβούλιο (*Council*) και 5 κύριες επιτροπές (*Committees*). Αυτές είναι:

- Ασφάλειας (*Safety*)
- Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (*Marine Environment Protection*)
- Νομικών Θεμάτων (*Legal*)
- Τεχνικής Συνεργασίας (*Technical Cooperation*)
- Διευκόλυνσης (*Facilitation*)

Η παρούσα εργασία αυτή έχει ως αντικείμενο κανονισμούς που προέρχονται από τις εργασίες των δύο πρώτων επιτροπών, για το λόγο αυτό θα γίνει μια σύντομη αναφορά σε αυτές, ενώ οι υπόλοιπες παραλείπονται.

### I.2.1. Επιτροπή Ασφάλειας (Maritime Safety Committee/MSC)

Τα θέματα των οποίων επιλαμβάνεται είναι:

- Κατασκευή και εξοπλισμός των πλοίων
- Βοηθήματα ναυσιπλοΐας
- Πληρώματα
- Κανόνες για την αποφυγή σύγκρουσης
- Διαχείριση επικίνδυνων φορτίων
- Διαδικασίες θαλάσσιας ασφάλειας και απαιτήσεις
- Υδρογραφικές πληροφορίες
- Τρόπος καταγραφής επικίνδυνων συμβάντων
- Διερεύνηση ατυχημάτων
- Εντοπισμός και διάσωση

Να σημειωθεί ότι η επιτροπή αυτή αποτελείται από 9 υποεπιτροπές με αρμοδιότητα τα ακόλουθα ζητήματα:

- Υγρά Χύδην και Αέρια (*Bulk Liquids and Gases/BLG*)
- Μεταφορά Επικίνδυνων Αγαθών σε Στερεά Μορφή και Εμπορευματοκιβωτίων (*Carriage of Dangerous Goods, Solid Cargoes and Containers/DSC*).

- Πυροπροστασία (*Fire Protection/FP*)
- Τηλεπικοινωνίες και Έρευνα και Διάσωση (*Radiocommunications and Search and Rescue/COMSAR*)
- Ασφάλεια της Ναυσιπλοΐας (*Safety of Navigation/NAV*)
- Σχεδίαση και Εξοπλισμός (*Ship Design and Equipment/DE*)
- Ευστάθεια, Γραμμές Φόρτωσης και Ασφάλεια Αλιευτικών Σκαφών (*Stability and Load Lines and Fishing Vessels Safety/SLF*)
- Πρότυπα εκπαίδευσης και Παρακολούθησης (*Standards of Training and Watchkeeping/STW*)
- Εφαρμογή από τη Χώρα της Σημαίας (*Flag State Implementatio /FSI*)

Στη συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες από τις κυριότερες συμβάσεις ασφάλειας πλοίων:

- Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα, 1960 και 1974 (*International Convention for the Safety of Life at Sea /SOLAS*)
- Διεθνής Σύμβαση για τη Γραμμή Φόρτωσης, 1966 (*International Convention on Load Lines/LL*)
- Διεθνείς Κανονισμοί για την Αποφυγή των Συγκρούσεων στη Θάλασσα, 1972 (*International Regulations for Preventing Collisions at Sea/COLREG*)
- Συνθήκη για τον Διεθνή Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών, 1976 (*Convention on the International Maritime Satellite Organization/ INMARSAT*)
- Διεθνής Σύμβαση για τα Πρότυπα Εκπαίδευσης, Πιστοποίησης και Παρακολούθησης των Ναυτικών, 1978 (*International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers/STCW*)
- Διεθνής Σύμβαση για τη Θαλάσσια Έρευνα και Διάσωση, 1979 (*International Convention on Maritime Search and Rescue/SAR*)

Τέλος, σε ότι αφορά τη λειτουργία του IMO, αξίζει να σημειωθεί ότι ο IMO υιοθετεί κανονισμούς, αλλά η εφαρμογή τους εναπόκειται στις Χώρες Μέλη. Σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη η ένταξη των διατάξεων αυτών στα πλαίσια της εθνικής νομοθεσίας κάθε χώρας, κάτι που ουσιαστικά γίνεται όταν η κάθε χώρα μέλος συνυπογράφει κάποιο κείμενο σύμβασης.

### I.3. Νηογνώμονες και Κανονισμοί Αυτών [3]

Καθώς η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη ενός πλοίου που θα ικανοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις απαιτήσεις που εκπορεύονται από τον ΙΜΟ, η αναφορά στους νηογνώμονες θα είναι σύντομη και γίνεται κατά βάση σε συνάρτηση με τη σχέση τους με τον ΙΜΟ και τα διαφορετικά τους καθήκοντα. Οι κανόνες των νηογνωμόνων εμπεριέχουν απαιτήσεις που αφορούν τα παρακάτω ζητήματα:

- Υλικά κατασκευής
- Κατασκευαστική δομή του πλοίου
- Κύρια και βοηθητικά μηχανήματα
- Συστήματα ελέγχου
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις

Στόχος των κανόνων αυτών είναι να εξασφαλίζεται επαρκής αντοχή για τη γάστρα του πλοίου και σωστή λειτουργία των κύριων και βοηθητικών μηχανημάτων του σκάφους. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα ζητήματα που εμπίπτουν στην δικαιοδοσία των νηογνωμόνων:

- Το πάχος των ελασμάτων
- Τα μεγέθη, οι αποστάσεις και οι συνδέσεις των ενισχυτικών
- Κατασκευαστικά στοιχεία του πηδαλίου
- Τύποι συγκόλλησης και μεγέθη
- Βάρος άγκυρας, μήκος και διάμετρος της αλυσίδας της

### I.4. ΙΜΟ και Νηογνώμονες

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι νηογνώμονες είναι προϊόντα της αντίληψης που επικρατούσε κατά την εποχή της ίδρυσης τους, ότι η παρέμβαση του κράτους θα ήταν επιζήμια για την ναυτιλία και ότι το κανονιστικό πλαίσιο για τη λειτουργία της θα προέκυπτε από τις ίδιες τις ανάγκες της αγοράς ή σε δεύτερο χρόνο, από οργανισμούς οι οποίοι θα ήταν ανεξάρτητοι, και ο στόχος τους θα ήταν ακριβώς η απρόσκοπτη λειτουργία του θαλάσσιου εμπορίου και η διασφάλιση της επένδυσης σε αυτό.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, το πλαίσιο που καθορίζει τις απαιτήσεις ασφαλείας και προστασίας του περιβάλλοντος εκπορεύεται από τον ΙΜΟ και τους νηογνώμονες. Έχει επικρατήσει οι διατάξεις που προέρχονται από τον ΙΜΟ να αποκαλούνται **κανονισμοί** (*regulations*), ενώ αυτές των νηογνωμόνων να αποκαλούνται **κανόνες** (*rules*), όπου η λέξη κανονισμοί θεωρείται πως έχει πιο επίσημη υπόσταση καθώς εκπορεύονται από *Κρατική Αρχή*.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι οι κανονισμοί του ΙΜΟ δεν αφορούν την κατασκευή της γάστρας και τα ζωτικά μηχανήματα του πλοίου. Αντίστοιχα οι κανονισμοί των νηογνωμόνων που καθορίζουν τα παραπάνω, έχουν έμμεση μόνο αναφορά στην προστασία της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Εκ πρώτης όψεως φαίνεται να υπάρχει ένας δυισμός μεταξύ των ρόλων που έχουν οι δύο αυτοί οργανισμοί. Σε κάθε περίπτωση αν και δεν φαίνεται ρητά μέσω συγκεκριμένων διατάξεων, οι κανόνες και οι κανονισμοί των παραπάνω θεσμών, έχουν μια σαφή αλληλοεπικάλυψη. Είναι αναμφισβήτητο ότι η εξασφάλιση ικανής αντοχής για ένα πλοίο είναι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος. Κάτι που ασφαλώς ισχύει και για τα θέματα που αφορούν τα μηχανήματα του πλοίου. Κατά συνέπεια, η επίτευξη των απαιτήσεων των κανόνων των νηογνωμόνων έχει ουσιώδη σημασία για την επίτευξη των στόχων που θέτει ο ΙΜΟ.

Ένα ακόμα πιο ουσιαστικό παράδειγμα που αποδεικνύει την αλληλεπίδραση ΙΜΟ-νηογνωμόνων, είναι η απαίτηση της SOLAS τα πλοία να έχουν κατασκευαστεί και να συντηρούνται ακολουθώντας τις απαιτήσεις αναγνωρισμένου νηογνώμονα.



## II. Κανονισμοί Ευστάθειας Κατόπιν Βλάβης

### II.1. Βασικοί Ορισμοί [4,5]

- Πλευστότητα (Floatability): Είναι η δυνατότητα που έχει ένα σώμα να διατηρεί την ισορροπία του στην όρθια θέση σε ήρεμη θάλασσα, κάτω από την επίδραση του βάρους του, της άντωσης του και ενδεχόμενων άλλων εξωτερικών επιδράσεων.
- Ευστάθεια (Stability): Είναι η δυνατότητα που έχει ένα σώμα να επανέρχεται στην αρχική του θέση μετά από την επιβολή μιας διαταραχής.
- Βλάβη (Damage): Οποιοδήποτε πλευρικό άνοιγμα επιφέρει την προοδευτική κατάκλυση των εσωτερικών χώρων ενός πλοίου. Οι λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβη είναι οι ακόλουθοι:
  - Σύγκρουση (Collision): Σύγκρουση με άλλο πλοίο, ανεξάρτητα από το εάν το υπό εξέταση πλοίο είναι το εμβολίζον ή το εμβολιζόμενο. Δεν περιλαμβάνει τον εμβολισμό από ναυάγιο.
  - Επαφή (Contact/Impact): Σύγκρουση με οποιοδήποτε σταθερό ή κινητό αντικείμενο, διάφορο αυτών που αναφέρονται στην Σύγκρουση και στην Προσάραξη (π.χ. προβλήτα, δεξαμενή άντλησης πετρελαίου κλπ.)
  - Προσάραξη (Grounding): Όταν το πλοίο εξωκοίλει ή έρχεται σε επαφή με το θαλάσσιο πυθμένα, υφάλους ή ναυάγια.
  - Πυρκαγιά (Fire): Ο όρος αυτός θα αφορά την περίπτωση που κάποια φωτιά είναι η αιτία για την αστοχία του περιβλήματος ενός πλοίου και της συνεπαγόμενης κατάκλυσης εσωτερικών του χώρων.
  - Έκρηξη (Explosion): Όπως με την πυρκαγιά.
  - Κατασκευαστική Αστοχία που δεν Οφείλεται σε Ατύχημα (Non Accidental Structural Failure/N.A.S.F): Αφορά την περίπτωση ρωγμών που ενδέχεται να προκαλέσουν λύση του περιβλήματος του πλοίου.

- Υδατοστεγής Υποδιαίρεση (Watertight Subdivision): Ο διαχωρισμός της εσωτερικής διαρρύθμισης του πλοίου σε στεγανά διαμερίσματα, με τέτοιον τρόπο ώστε να αποφεύγεται τόσο η βύθιση του πλοίου, λόγω απώλειας άντωσης σε περίπτωση προοδευτικής κατάκλυσης, ή η ανατροπή του λόγω έλλειψης ευστάθειας, σε περίπτωση που προκληθεί σε αυτό κάποιο ρήγμα.
- Επιβιωσιμότητα (Survivability): Η ικανότητα ενός πλοίου να διατηρεί την πλευστότητα και την ευστάθεια του κατόπιν βλάβης.
- (Subdivision Load Line): Είναι η ίσαλος με βάση την οποία προσδιορίζεται η υποδιαίρεση του πλοίου.
- Ανώτατη Έμφορτη Ίσαλος Γραμμή Υποδιαίρεσης (Deepest Subdivision Load Line): Είναι η ίσαλος που αντιστοιχεί στο μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα που επιτρέπεται από τους κανονισμούς υποδιαίρεσης και το οποίο θα πρέπει να αντιστοιχεί σε βύθισμα μικρότερο ή ίσο από αυτό που καθορίζεται από την Διεθνή Σύμβαση της Γραμμής Φόρτωσης του 1966.
- Κατάστρωμα Στεγανών Διαφραγμάτων (Bulkhead Deck): Είναι το ανώτατο κατάστρωμα μέχρι το οποίο φτάνουν οι στεγανές φρακτές.
- Γραμμή Ορίου Βύθισης (Margin Line): Η γραμμή του ορίου βύθισης προσδιορίζεται ώστε να διέρχεται από ύψος 76mm (3 inches) κάτω από το κατάστρωμα στεγανών φρακτών.
- Κατακλύσιμο Μήκος (Floodable Length): Ορίζεται για μια ορισμένη θέση κατά το διάμηκες του πλοίου και εκφράζει το μέγιστο τμήμα του πλοίου, που έχει σαν κέντρο το σημείο αυτό και που μπορεί να κατακλυσθεί, δίχως να βυθιστεί η γραμμή ορίου βύθισης του πλοίου.
- Κριτήριο Υπηρεσίας (Criterion of Service): Είναι ένας αριθμός που προκύπτει συναρτήσει του όγκου του πλοίου, του όγκου των χώρων επιβατών και του όγκου των χώρων μηχανών. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 23 (πλοία που προορίζονται κυρίως για τη μεταφορά φορτίου) και 123 (πλοία που προορίζονται κυρίως για τη μεταφορά επιβατών).
- Συντελεστής Υποδιαίρεσης (Factor of Subdivision): Ο συντελεστής υποδιαίρεσης εξαρτάται από το μήκος του πλοίου και από το κριτήριο υπηρεσίας που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο μήκος. Ο συντελεστής υποδιαίρεσης μειώνεται προοδευτικά με την αύξηση του μήκους του πλοίου.
- Επιτρεπόμενο Μήκος Υποδιαίρεσης (Permissible Length): Προκύπτει από το γινόμενο του αντίστοιχου κατακλύσιμου μήκους και του συντελεστή υποδιαίρεσης, σε κάθε σημείο του μήκους του πλοίου.

- Διαχωρητότητα (permeability): Η διαχωρητότητα ενός χώρου είναι το ποσοστό επί τοις εκατό του χώρου αυτού που μπορεί να κατακλυσθεί. Αν ένας χώρος επεκτείνεται και πάνω από τη γραμμή ορίου βύθισης, τότε για τον υπολογισμό της διαχωρητότητας λαμβάνεται υπόψη μόνο ο όγκος μέχρι το ύψος της γραμμής ορίου βύθισης.

## Π.2. Σύντομη Αναδρομή στους Κανόνες Ασφαλείας [2,6,7,8,9]

Στην διπλωματική αυτή γίνεται αναφορά κατά βάση στο νέο πιθανοθεωρητικό μοντέλο της SOLAS 2009 καθώς είναι αυτό που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς. Ως εκ τούτου θα γίνει μια σχετικά εκτενής αναφορά κυρίως σε αυτή τη μέθοδο. Παρά ταύτα είναι σημαντικό να προηγηθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των κανονισμών ασφαλείας και στη συνέχεια μια πιο διεξοδική αναφορά στις διατάξεις της SOLAS 1990 και της *Stockholm Agreement* καθώς επηρέασαν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη μορφή των σημερινών κανονισμών

Η πρώτη νομοθετική προσπάθεια για ανάπτυξη κανονισμών που αφορούσαν την ασφάλεια των πλοίων, έχει τις ρίζες της στη Μεγάλη Βρετανία, με την εισαγωγή το 1854 στην νομοθεσία περί εμπορικής ναυτιλίας (*Merchant Shipping Act*), της απαίτησης για τοποθέτηση φρακτών μπροστά και πίσω από το μηχανοστάσιο για πλοία μεταλλικής κατασκευής άνω των 100 τόννων. Επίσης απαιτείτο το πλοίο να διαθέτει μικρή φρακτή που να περικλείει το πίσω μέρος του άξονα. Σημειώνεται ότι η ύπαρξη πρωραίας φρακτής ήταν ήδη επιβεβλημένη. Για το λόγο αυτό, η παραπάνω απαίτηση έμεινε γνωστή ως *ο κανόνας των τεσσάρων διαφραγμάτων*. Παρά ταύτα, λίγα χρόνια αργότερα, ο κανονισμός αυτός έπαψε να ισχύει καθώς θεωρήθηκε ότι δεν οδηγούσε σε σημαντική αύξηση του επιπέδου ασφαλείας και παράλληλα περιόριζε σημαντικά την σχεδιαστική ελευθερία του ναυπηγού.

Το 1866 εκδίδεται Σύσταση από το *Ινστιτούτο Ναυπηγών της Μ. Βρετανίας*, για εγκατάσταση εγκάρσιων και διαμηκών φρακτών στα πλοία, τονίζοντας ότι ένα πλοίο, ιδιαιτέρως αν αυτό ήταν επιβατηγό, θα ήταν επιθυμητό να είναι σε θέση να επιπλέει ακόμα και όταν δύο παρακείμενα διαμερίσματα βρίσκονται σε ελεύθερη επαφή με τη θάλασσα (κάτι που θα αποτελεί απαίτηση ασφαλείας για πολλά ακόμη χρόνια), ενώ γίνεται και σύσταση για χρήση διπυθμένων για αύξηση της αντοχής και τον περιορισμό της κατάκλυσης του πλοίου σε περίπτωση προσάραξης.

Το 1882 ο νηογνώμονας *Lloyd's Register* όρισε την απαίτηση πλοία άνω των 85.4m να έχουν υποδιαίρεση με φρακτές ανάλογα με το μήκος τους. Το 1890 το Υπουργείο Εμπορίου της Βρετανίας συνέστησε επιτροπή που έμεινε γνωστή ως *First Bulkhead Committee*. Η επιτροπή αυτή διερεύνησε τον τρόπο με τον οποίο θα έπρεπε να είναι υποδιαιρεμένα τα πλοία για να επιβιώνουν σε περίπτωση κατάκλυσης δύο διαδοχικών διαμερισμάτων καθώς και την ανάγκη για πρόβλεψη κατάλληλων διατάξεων ώστε το

νερό να μπορεί να διαπεράσει μία διαμήκη φρακτή, με σκοπό να επιτυγχάνεται συμμετρική κατάκλυση και να αποφεύγεται η περίπτωση ανατροπής του πλοίου. Εδώ είναι και η πρώτη φορά που λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση για εξασφάλιση επαρκούς ευστάθειας του πλοίου, ενώ μέχρι τότε η μέριμνα των ναυπηγών εστίαζε στη μη βύθιση του πλοίου λόγω απώλειας άντωσης.

Το πολύνεκρο ναυάγιο του Τιτανικού το 1912 οδήγησε στη σύσταση της *Second Bulkhead Committee* η οποία εισήγαγε για πρώτη φορά τους ορισμούς των κατακλύσιμων μηκών (*Floodable Lengths*) και της οριακής γραμμής (*Margin Line*).

Το 1914 και πάλι, υπό την πίεση που είχε δημιουργήσει στην ναυπηγική κοινότητα το ναυάγιο του Τιτανικού, συγκαλείται η πρώτη διεθνής συνδιάσκεψη για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα (*SOLAS*). Η κυριότερη οδηγία που εκδόθηκε ήταν η στεγανή υποδιαίρεση να είναι ανάλογη με το μήκος του πλοίου και τον αριθμό των επιβατών. Η οδηγία αυτή δεν εφαρμόστηκε ποτέ, καθώς η έναρξη του πρώτου παγκοσμίου πολέμου είχε σαν επακόλουθο την απονέκρωση των δραστηριοτήτων αυτών. Η αυστηρότητα της υποδιαίρεσης μειωνόταν σταδιακά με μείωση του μήκους του πλοίου και με τη μετάβαση από ένα πλοίο με χαρακτήρα επιβατηγό, σε πλοίο με χαρακτήρα φορτηγού. Αυτό αποτέλεσε το λεγόμενο κριτήριο υπηρεσίας. Το κριτήριο υπηρεσίας χρησίμευε στον προσδιορισμό του συντελεστή υποδιαίρεσης, ο οποίος, πολλαπλασιαζόμενος επί το κατακλύσιμο μήκος, έδινε την τιμή του επιτρεπόμενου μήκους ενός διαμερίσματος. Στην ουσία δηλαδή τα πορίσματα της *SOLAS* έρχονταν να συνδυαστούν με αυτά της *Second Bulkhead Committee*.

Η διεθνής διάσκεψη της *SOLAS* συγκλήθηκε εκ νέου το 1929. Η διάσκεψη αυτή οδήγησε στην υιοθέτηση της λεγόμενης *Factorial Method* ώστε να αποφασιστούν τα σημεία που θα τοποθετούνταν οι φρακτές. Το κριτήριο για τα σημεία τοποθέτησης των φρακτών ήταν η τιμή του συντελεστή  $F$ . Πλοία με συντελεστή  $F$  μεταξύ 0.5 και 1 χαρακτηρίζονταν ως '*one compartment standard*', που σημαίνει ότι ήταν σχεδιασμένα με στόχο την επιβίωση τους σε περίπτωση κατάκλυσης ενός μόνο στεγανού διαμερίσματος. Πλοία με  $F$  που κυμαινόταν μεταξύ 0.33 και 0.5 χαρακτηρίζονταν ως '*two compartment standard*' που σημαίνει ότι ήταν σε θέση να επιβιώσουν σε κατάκλυση μέχρι δύο συνεχόμενων διαμερισμάτων. Τα επιβατηγά πλοία όφειλαν να ικανοποιούν την απαίτηση '*two compartment standard*', ενώ τα φορτηγά πλοία την απαίτηση '*one compartment standard*'.

Τονίζεται ότι μέχρι το σημείο αυτό, όλοι οι κανονισμοί και οι συστάσεις που προτείνονται έχουν ως στόχο να αποτρέψουν την βύθιση του πλοίου, το οποίο έχει υποστεί βλάβη λόγω απώλειας άντωσης, που οφείλεται στην κατάκλυση χώρων του. Αντιθέτως δεν υπήρξε καμία μέριμνα για την εξασφάλιση της ευστάθειας του πλοίου που έχει υποστεί βλάβη, το πρόβλημα δηλαδή της ανατροπής του πλοίου δε φαίνεται να απασχολεί ιδιαίτερος τους ναυπηγούς της εποχής εκείνης. Τα αίτια αυτής της καθυστέρησης πιθανώς οφείλονται στο γεγονός ότι λόγω της λεπτόγραμμης γάστρας

των επιβατηγών της εποχής εκείνης, σε συνδυασμό με το ότι η εσωτερική τους διαρρύθμιση δεν ευνοούσε την ασύμμετρη κατάκλυση, η πιθανότητα ανατροπής δεν ήταν μεγάλη.

Τελικά για πρώτη φορά απαιτήσεις σχετικές με την ευστάθεια του πλοίου υιοθετούνται το 1932, καθώς η βρετανική νομοθεσία υιοθέτησε απαίτηση για μέγιστη κλίση 7 μοιρών μετά από την κατάκλυση. Η απαίτηση αυτή ενσωματώθηκε και στην αναθεωρημένη SOLAS του 1948. Τη χρονιά εκείνη, όπως ειπώθηκε και πριν, ιδρύεται ο IMO (με την τότε ονομασία IMCO), ο οποίος και ενσωμάτωσε τις διατάξεις της SOLAS. Έτσι, οι διατάξεις αυτές αφενός μεν αποκτούν παγκόσμια ισχύ, αφετέρου δε οι τροποποιήσεις τους είναι αποτέλεσμα διαβουλεύσεων και προτάσεων των αντιπροσώπων των κυβερνήσεων των κρατών-μελών.

Το 1960 στην νέα SOLAS αποφασίζεται να προστεθεί η απαίτηση για ελάχιστο GM, το οποίο θα έπρεπε να ήταν τουλάχιστον 0.05 m, καθώς πλέον ήταν σαφές ότι θα έπρεπε να υπάρχει η δυνατότητα της αντιστάθμισης της επίδρασης των κυμάτων και των ανέμων επί του πλοίου που έχει υποστεί βλάβη.

Η επόμενη σημαντική εξέλιξη στα παραπάνω ήταν η συνειδητοποίηση ότι όλοι οι προαναφερθέντες κανονισμοί είχαν χαρακτήρα ημιεμπειρικό και οι σχέσεις που καθόριζαν την πορεία των υπολογισμών (διαστάσεις βλάβης, γωνία εγκάρσιας κλίσης, απαίτηση για ελάχιστο GM) είχαν δημιουργηθεί, κατά βάση, με τρόπο αυθαίρετο. Κατά συνέπεια τέθηκε το θέμα της δημιουργίας νέων κανονισμών που θα είχαν ως βάση ένα πιο επιστημονικά αποδεδειγμένο και παραδεκτό υπόβαθρο. Σημαντική συνεισφορά στην πορεία αυτή αποτέλεσαν οι εργασίες του Γερμανού καθηγητή *Kurt Wendel*, ο οποίος πρότεινε, για πρώτη φορά, ένα πιθανοθεωρητικό μοντέλο για τον καθορισμό της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Τα πορίσματα των εργασιών του τελικά υιοθετήθηκαν, μέσω διακήρυξης από τον IMO (*IMO Resolution A.265/1974*), ως εναλλακτική μέθοδος για τον υπολογισμό της ευστάθειας μετά από βλάβη σε επιβατηγά πλοία. Το τρωτό σημείο της προσέγγισης αυτής ήταν η πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς, που αποτέλεσε τροχοπέδη για την εκτεταμένη εφαρμογή της σε ικανό αριθμό επιβατηγών πλοίων. Παρά ταύτα, το 1992 θα υιοθετηθούν, για πρώτη φορά, σχετικοί κανονισμοί ευστάθειας κατόπιν βλάβης σε νεότευκτα φορτηγά πλοία άνω των 100m (μέχρι τότε όλοι οι προαναφερθέντες κανονισμοί αφορούσαν αποκλειστικά τα επιβατηγά και τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία). Με τον τρόπο αυτόν άνοιξε ο δρόμος για την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας σε όλα τα πλοία

Νεότερες εξελίξεις αφορούσαν την υιοθέτηση κριτηρίων για τα ενδιάμεσα στάδια της κατάκλυσης και για το εύρος της καμπύλης του μοχλοβραχίονα επαναφοράς.

- Νέα ατυχήματα θα οδηγήσουν σε επιπλέον τροποποιήσεις των κανονισμών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται (αν και δεν ήταν η αποκλειστική αιτία για τις τροποποιήσεις) το ατύχημα του Ε/Γ-Ο/Γ *Herald of Free Enterprise* το 1987

στο λιμάνι Zeebrugge του Βελγίου. Τα κριτήρια εισήχθησαν στο κείμενο της SOLAS 1974 και, παρά το γεγονός ότι δεν συγκλήθηκε νέα διάσκεψη, επικράτησε να αποκαλούνται *SOLAS 1990*. Είναι σημαντικό εδώ να γίνει μια παρατήρηση σε σχέση με τη φύση του παραπάνω ατύχηματος, καθώς το *Herald of Free Enterprise* βυθίστηκε λόγω ανθρώπινης αμέλειας. Συγκεκριμένα το πλοίο είχε αποπλεύσει από το Zeebrugge έχοντας ανοικτές τις προωαίες θύρες απο/επιβίβασης οχημάτων. Το αποτέλεσμα ήταν να κατακλυσθεί ο χώρος οχημάτων και το πλοίο να ανατραπεί. Παρά το γεγονός λοιπόν ότι επρόκειτο για ατύχημα, το οποίο θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί εάν το πλήρωμα τηρούσε με πιο σχολαστικό τρόπο τις διαδικασίες ασφαλείας, εντούτοις κατέδειξε με πολύ οδυνηρό τρόπο ένα σχεδιαστικό ελάττωμα των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων, αυτό της αδυναμίας να περιοριστεί η κίνηση του νερού που ενδεχομένως να κατακλύσει τον χώρο οχημάτων του πλοίου, είτε λόγω ρήγματος είτε λόγω εισχώρησης νερού από τα ανοίγματα που ένα Ε/Γ-Ο/Γ πλοίο οφείλει να έχει για τη μεταφορά του φορτίου του εντός και εκτός του πλοίου, με αποτέλεσμα αυτό τελικά να ανατραπεί. Κατά συνέπεια οι κανονισμοί θα έπρεπε να αναθεωρηθούν σε πιο αυστηρό πλαίσιο.

Επόμενο ατύχημα-σταθμός στην εξέλιξη της υιοθέτησης κανονισμών για την ασφάλεια των πλοίων ήταν η ανατροπή του Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου *Estonia* στην Θάλασσα της Βαλτικής, το 1994. Το ναυάγιο αυτό οδήγησε στη σύσταση από τον IMO μιας Επιτροπής Ειδικών (*Panel of Experts/PoE*), το οποίο εκτός των άλλων πρότεινε την εξέταση της ευστάθειας θεωρώντας μια ορισμένη ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων. Τελικά το ατύχημα αυτό είχε τα εξής αποτελέσματα:

- Η πρόταση για εξέταση της ευστάθειας θεωρώντας μια ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων δεν γίνεται αποδεκτή από τον IMO. Το γεγονός αυτό ώθησε μια σειρά από χώρες να προχωρήσουν σε μια συμφωνία τοπικού χαρακτήρα για την υιοθέτηση της εξέτασης της ευστάθειας του πλοίου θεωρώντας μια ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων, μιας παραλλαγής της πρότασης του PoE. Η συμφωνία αυτή έγινε γνωστή με το όνομα *Συνθήκη της Στοκχόλμης (Stockholm Regional Agreement)* και είχε σαν αποτέλεσμα για πρώτη φορά να εφαρμόζονται διαφορετικά κριτήρια ευστάθειας στην Βόρεια και στην Νότια Ευρώπη. Τα κράτη της Βόρειας Ευρώπης που υπέγραψαν τη Συνθήκη της Στοκχόλμης ήταν: Δανία, Σουηδία, Νορβηγία, Φινλανδία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία και Ιρλανδία [6].
- Ένα δεύτερο σημείο, που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι για πρώτη φορά δόθηκε η δυνατότητα στον πλοιοκτήτη να αποδείξει με πειραματικό τρόπο την ευστάθεια του υπό μελέτη πλοίου μέσω πειραμάτων, ως εναλλακτική μέθοδος σε σχέση με την υπολογιστική μέθοδο [5,6,7,8].

- Σημειώνεται ακόμη, πως παρά τον αρχικά τοπικό χαρακτήρα της Συνθήκης της Στοκχόλμης, σύντομα υιοθετήθηκε από μια σειρά κρατών πέρα από την ΕΕ, όπως τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία, ενώ το ναυάγιο του *Express Samina*, το 2000 στην Πάρο, είχε σαν συνέπεια την επιτάχυνση της εφαρμογής των απαιτήσεων αυτών και στη Νότια Ευρώπη [7].

Τελικώς η μεγάλη ποικιλία των κανονισμών, που προκύπτει αφενός μεν από τη διαφοροποίηση των κανονισμών σε Βορρά-Νότο (και αυτό μόνο σε ευρωπαϊκό επίπεδο), αλλά και από τις διαφοροποιήσεις των απαιτήσεων μεταξύ επιβατηγών και φορτηγών πλοίων, οδήγησε τελικά στην ανάγκη ανάπτυξης ενός νέου εναρμονισμένου πλαισίου το οποίο θα εξάλειφε τις διαφορετικές θεωρήσεις, τόσο μεταξύ των διαφόρων τύπων πλοίων, όσο και μεταξύ των διαφόρων γεωγραφικών χώρων. Αυτό κατέστη δυνατό με την νέα διακήρυξη της SOLAS, που τέθηκε σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2009 [5,7,8].

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι SOLAS 1990, Stockholm Agreement και SOLAS 2009, αφού πρώτα γίνει μια αναφορά στη βασική κατηγοριοποίηση των κανονισμών που αφορούν την ευστάθεια των πλοίων μετά από βλάβη που είναι αυτή των ντετερμινιστικών και των πιθανοθεωρητικών κανονισμών. Οι δύο πρώτες περιπτώσεις υπάγονται στην πρώτη κατηγορία, ενώ η νεότερη SOLAS 2009 υπάγεται στην τελευταία κατηγορία.

### Π.3. Ντετερμινιστικοί και Πιθανοθεωρητικοί Κανονισμοί

Στην περίπτωση των λεγόμενων ντετερμινιστικών (προσδιοριστικών) κανονισμών, η διαδικασία που ακολουθείται για την αξιολόγηση του επιπέδου ασφαλείας του εκάστοτε υπό εξέταση πλοίου είναι σε γενικές γραμμές η ακόλουθη: Αρχικά προδιαγράφεται το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος βλάβης (οι διαστάσεις, ανάλογα και με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις αναφέρονται στη συνέχεια). Με βάση αυτές τις διαστάσεις καθορίζονται οι πιθανές περιπτώσεις βλάβης, δηλαδή κάθε συνδυασμός στεγανών διαμερισμάτων που μπορούν να υποστούν ταυτόχρονα βλάβη και κατάκλυση. Τέλος, για κάθε συνδυασμό περίπτωσης βλάβης και κατάστασης φόρτωσης του πλοίου, ελέγχεται αν αυτό ικανοποιεί τα κριτήρια ευστάθειας με βάση τις απαιτήσεις των κανονισμών (συνήθως επρόκειτο για ένα συνδυασμό απαιτήσεων σχετικά με τη μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς  $GZ_{max}$ , μέγιστης αποδεκτής γωνίας εγκάρσιας κλίσης  $\theta_{max}$  και ελάχιστου μετακεντρικού ύψους  $GM$ ) [2,4,5,7,8].

Στην περίπτωση των πιθανοθεωρητικών κανονισμών, [2,4,5,7,8] οι διαστάσεις της βλάβης δεν λαμβάνονται σταθερές, αλλά αντίθετα γίνεται χρήση συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας σε ότι αφορά τόσο τη θέση της βλάβης, όσο και την έκταση της βλάβης κατά μήκος του πλοίου, την εγκάρσια εισχώρηση και την καθ' ύψος

έκταση αυτής. Οι συναρτήσεις αυτές έχουν προκύψει από στατιστική ανάλυση δεδομένων από παλαιότερες συγκρούσεις πλοίων. Στη συνέχεια υπολογίζεται η πιθανότητα να εμφανιστεί κάθε περίπτωση βλάβης και η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου εφόσον αυτή παρουσιαστεί. Τέλος αθροίζονται τα γινόμενα των πιθανοτήτων να συμβεί το κάθε σενάριο βλάβης επί την πιθανότητα να επιβιώσει το πλοίο για όλες τις περιπτώσεις. Το άθροισμα αυτό συνιστά έναν δείκτη που καλείται *Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης (Attained Subdivision Index)*, και θα πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη αυτής ενός άλλου δείκτη που καλείται *Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης (Required Subdivision Index)* και αποτελεί στην ουσία την ελάχιστη απαίτηση για το επίπεδο ασφαλείας που θα πρέπει να προσφέρει το πλοίο. Η μεθοδολογία αυτή θα αναλυθεί πολύ διεξοδικότερα στα ακόλουθα κεφάλαια.

Στη συνέχεια καταγράφονται μια σειρά από σχόλια σχετικά με τις δύο αυτές μεθοδολογίες:

- Είναι σαφές ότι η πρώτη μεθοδολογία έχει ημι-εμπειρικά χαρακτηριστικά, ενώ κατά γενική παραδοχή η πιθανοθεωρητική μέθοδος εισάγει ένα πιο επιστημονικά αποδεκτό πλαίσιο, όπως χρήση της στατιστικής ανάλυσης για την εκτίμηση της πιθανότητας να υπάρχει ρήγμα συγκεκριμένων διαστάσεων σε συγκεκριμένη θέση [5,7,8].
- Η πιθανοθεωρητική μέθοδος εξασφαλίζει ότι το πλοίο επιτυγχάνει ένα «συνολικά αποδεκτό» επίπεδο ασφαλείας, μέσω της άθροισης των επιμέρους πιθανοτήτων. Αυτό όμως, δεν αποκλείει την μη επιβίωση σε μια σειρά από περιπτώσεις. Αντίθετα η ντετερμινιστική μέθοδος δεν επιτρέπει κάτι τέτοιο, δεδομένου ότι ένα αποδεκτό πλοίο θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ευστάθειας ακόμη και για τον δυσμενέστερο συνδυασμό αρχικής κατάστασης πλεύσης και περίπτωσης βλάβης [5,7,8].
- Ο αριθμός των βλαβών με βάση τους ντετερμινιστικούς κανονισμούς είναι σχετικά μικρός και κατά συνέπεια σχετικά εύκολα διαχειρίσιμος από τον μελετητή. Αντιθέτως οι πιθανοθεωρητικοί κανονισμοί απαιτούν τη μελέτη πολλαπλάσιων περιπτώσεων βλάβης, γεγονός που εξηγεί το λόγο για τον οποίο, αν και η ανάπτυξη τους ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και η εισαγωγή τους στο πλαίσιο του IMO έγινε το 1974, καθυστέρησαν να βρουν ευρεία απήχηση και τελικά η μετατροπή τους σε υποχρεωτικούς κανονισμούς έγινε το 2009 [7]. Στην ουσία η εφαρμογή τους κατέληγε σε εξάρτηση από την ανάπτυξη της τεχνολογίας υπολογιστών και τη μείωση του υπολογιστικού χρόνου ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



## Π.4. SOLAS 1990

Η έκδοση αυτή της SOLAS (στην πραγματικότητα είναι τροποποίηση της υπάρχουσας SOLAS 1974 και όχι νέα διακήρυξη) περιέχει τα ακόλουθα νέα στοιχεία:

- Τα κριτήρια της SOLAS 1974 εξέταζαν μόνο την τελική κατάσταση ισορροπίας του πλοίου μετά από τη βλάβη. Στις τροποποιήσεις της (SOLAS 1990 και SOLAS 1992) πλέον αξιολογούνταν η εναπομένουσα ευστάθεια του πλοίου μετά από τη βλάβη, καθώς και η συμπεριφορά του πλοίου στα ενδιάμεσα στάδια της κατάκλυσης πριν την εξισορρόπηση [5].
- Κάθε πλοίο στην άθικτη κατάσταση θα πρέπει να επιτυγχάνει επαρκή ευστάθεια, ώστε σε κάθε περίπτωση, μετά από βλάβη να είναι σε θέση να επιβιώσει μετά από την κατάκλυση ενός ή δύο παρακείμενων διαμερισμάτων. Ο αριθμός των διαμερισμάτων, την κατάκλυση των οποίων θα πρέπει να αντέξει το πλοίο καθορίζεται από τον συντελεστή υποδιαίρεσης  $F$ . Αναλυτικότερα, για  $0.5 < F \leq 1$ , το πλοίο θεωρείται προδιαγραφής ενός διαμερίσματος. Δηλαδή απαιτείται να επιβιώνει μετά από την κατάκλυση ενός οποιουδήποτε στεγανού διαμερίσματος. Αντίστοιχα, για  $0.33 < F \leq 0.5$ , το πλοίο θεωρείται προδιαγραφής δύο διαμερισμάτων. Δηλαδή απαιτείται να επιβιώνει μετά από την κατάκλυση οποιουδήποτε συνδυασμού δύο παρακείμενων υδατοστεγών διαμερισμάτων. Παρατηρεί κανείς ότι ο αριθμός των στεγανών διαμερισμάτων, σε περίπτωση κατάκλυσης των οποίων θα πρέπει να επιβιώνει το πλοίο, αντιστοιχεί στον στρογγυλοποιημένο αντίστροφο του συντελεστή  $F$ . Ο συντελεστής υποδιαίρεσης προκύπτει από το μήκος του πλοίου και για δεδομένο μήκος από το αντίστοιχο κριτήριο υπηρεσίας (*Criterion of Service/Cs*) [2,4,5].
- Στη SOLAS 1990 προδιαγράφονται οι διαστάσεις της υποθετικής βλάβης για την οποία θα γίνεται η εξέταση του πλοίου. Αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια σε μορφή πίνακα [5].

Επίπεδο Αναφοράς	Διάσταση Βλάβης
Διαμήκης Έκταση	$\min\{0.03L+3[m]/11[m]\}$
Εγκάρσια Έκταση	$B/5[m]$ από το εξωτερικό περίβλημα
Κατακόρυφη Έκταση	Από τη βασική γραμμή αναφοράς ( $BL$ ) προς τα πάνω χωρίς περιορισμό

Σημειώνεται πάντως ότι, σε περίπτωση που μια βλάβη μικρότερης έκτασης επιφέρει πιο δυσμενείς επιπτώσεις (σε ότι αφορά τη μείωση του GM και την εγκάρσια κλίση), λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς αυτή η μικρότερης έκτασης βλάβη.

- Στη SOLAS 1990 ορίζονται οι ακόλουθες διαχωρητότητες (χώρου και επιφάνειας), ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί το εκάστοτε διαμέρισμα του πλοίου. Κατά συνέπεια οι διαχωρητότητες είναι σταθερές και ανεξάρτητες του βυθίσματος του πλοίου. Ενδεικτικά καταγράφονται κάποιες τιμές στον ακόλουθο πίνακα [5]:

Χώροι	Διαχωρητότητα
Φορτίο, γαιάνθρακες, αποθήκη	0.6
Ενδιαίτηση	0.95
Μηχανές	0.85
Υγρά	0 ή 0.95 [το αυστηρότερο]

- Τα πλοία που συμμορφώνονταν με τη SOLAS 1990, θα έπρεπε να ικανοποιούν στο μέγιστο βύθισμα τους μια σειρά από ντετερμινιστικά κριτήρια που αφορούν το μοχλοβραχίονα επαναφοράς *GZ*. Αναλυτικά: [4,5,7,]
  - Στην τελική κατάσταση ισορροπίας μετά από την κατάκλυση, το κατάστρωμα στεγανών διαφραγμάτων θα πρέπει να απέχει τουλάχιστον 0.076 m, από την ίσαλο.
  - Η τελική γωνία κλίσης δε θα πρέπει να υπερβαίνει τις 7°, ή 15° σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις.
  - Το τελικό μετακεντρικό ύψος έπρεπε να είναι τουλάχιστον 0.05m.
  - Αργότερα έγινε αντιληπτό πως θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη επιπρόσθετα με τα προηγούμενα, τόσο η περίπτωση ασύμμετρης κατάκλυσης, όσο και τα ενδιάμεσα στάδια της κατάκλυσης.
  - Υιοθέτηση ενός ελάχιστου εύρους ευστάθειας 15°. Σε περίπτωση που το πλοίο χαρακτηριζόταν ως *one compartment flooding*, η μέγιστη τελική γωνία ισορροπίας δεν μπορούσε να είναι μικρότερη από 7°, ενώ σε περίπτωση *two compartment flooding* η μέγιστη τελική γωνία ισορροπίας δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 12°.

- Η επιφάνεια κάτω από το μοχλοβραχίονα επαναφοράς θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 0.015 m rad.
- Η μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα δεν έπρεπε να είναι μικρότερη από 0.1m, ενώ θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη κατά τουλάχιστον 0.04m από το μοχλοβραχίονα της μεγαλύτερης από τις ακόλουθες ροπές:
  1. Λόγω μετακίνησης επιβατών προς τη μια πλευρά
  2. Λόγω καθέλκυσης σωστικών λέμβων
  3. Λόγω ανέμου
- Το εναπομένον μετακεντρικό ύψος δε θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.05m.
- Τα χαρακτηριστικά του ενδεχόμενου ρήγματος θεωρούνταν δεδομένα και όπως έχουν αναφερθεί παραπάνω.
- Η ημερομηνία συμμόρφωσης ενός πλοίου με τους κανονισμούς SOLAS 1990 ορίστηκε μέσω πιθανοθεωρητικού μοντέλου [6].
- Σημειώνεται ότι το κρίσιμο σημαντικό ύψος κύματος πέραν του οποίου ένα πλοίο SOLAS 1990 ανατρέπεται (σε περίπτωση που έχει συμβεί βλάβη) τέθηκε υπό αμφισβήτηση, με μια σειρά από πειράματα να δείχνουν ανατροπή για σημαντικό ύψος κύματος μεταξύ 1.0 και 1.5m, με την εκτίμηση πάντως ότι η πραγματική τιμή θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 3m [2].
- Η θέση των στεγανών φρακτών καθοριζόταν από το συντελεστή υποδιαίρεσης *F factor*. Η σχεδιαστική αυτή φιλοσοφία ήταν εξαρχής αμφιλεγόμενη, καθώς δεν ήταν ξεκάθαρο αν η τοποθέτηση των φρακτών σε μικρότερες αποστάσεις οδηγούσε σε ασφαλέστερα πλοία. Ο βασικός λόγος στον οποίο οφείλεται αυτή η σύγχυση έχει να κάνει με το γεγονός, ότι μικρή απόσταση φρακτών αυξάνει τον κίνδυνο να τρωθεί μια φρακτή και να κατακλυσθούν ταυτόχρονα δύο διαμερίσματα, κάτι που θα είχε καταστροφικές συνέπειες σε περίπτωση πλοίου 'one compartment standard', και που θα μπορούσε να αποφευχθεί σε περίπτωση που η απόσταση των φρακτών μεταξύ τους ήταν μεγαλύτερη. Κατά συνέπεια στους κανονισμούς προδιαγραφόταν το ελάχιστο επιτρεπτό μήκος διαμερίσματος [2].

## II.5. Stockholm Agreement

Στην εισαγωγή που προηγήθηκε έγινε ιδιαίτερη αναφορά στο ατύχημα του Estonia, το οποίο εν πολλοίς μπορεί να θεωρηθεί ότι ήταν ιδιαίτερα εμβληματικό καθώς άλλαξε σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο που μέχρι τη στιγμή εκείνη αντιμετωπιζόταν το ζήτημα της ασφάλειας και επέφερε μεγάλες αλλαγές σε μια σειρά από τομείς, όπως τον τρόπο εκτίμησης της ασφάλειας των πλοίων, την υποχρέωση των πλοιοκτητών να προχωρήσουν σε τροποποιήσεις ήδη υπάρχοντων πλοίων και στην υιοθέτηση νέων μεθοδολογιών για την αξιολόγηση των επιδόσεων των πλοίων.

Στον απόηχο του ναυαγίου η ναυτιλιακή κοινότητα προχώρησε σε αρκετά γρήγορες αποφάσεις σε σχέση με τη σχετικά μεγάλη περίοδο κυοφορίας που χαρακτήριζε άλλες περιόδους. Σύντομα συστάθηκε το ΡοΕ, όπως ειπώθηκε και πριν, το οποίο έκανε την ρηξικέλευστη πρόταση, ένα οχηματαγωγό πλοίο να μπορεί να ικανοποιεί τους κανονισμούς θεωρώντας ότι στους χώρους οχημάτων του βρίσκεται μια ποσότητα νερού. Το 1995 συγκλήθηκε συνδιάσκεψη της SOLAS η οποία εξέτασε το ζήτημα, όμως δεν υπήρξε συμφωνία από όλες τις χώρες για την υιοθέτηση της πρόσθετης αυτής απαίτησης. Ως εκ τούτου, υιοθετήθηκαν τροποποιήσεις από τον IMO που είχαν παγκόσμιο χαρακτήρα και μια σειρά από επιπλέον απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από ορισμένες χώρες σε τοπικό επίπεδο.

- Σε ότι αφορούσε τον IMO, συμφωνήθηκε η επίσπευση της συμμόρφωσης όλων των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων με τις προδιαγραφές της SOLAS 1990, ακόμη κι αν είχαν ναυπηγηθεί πριν την εφαρμογή της. Για πρώτη φορά λοιπόν η ναυπηγική βιομηχανία έδειξε να απομακρύνεται με τόση αυστηρότητα από το δόγμα του λεγόμενου *Grandfather's Clause*, δηλαδή του άτυπου κανόνα ότι τυχόν τροποποιήσεις κανονισμών δεν ίσχυαν για τα πλοία που είχαν ναυπηγηθεί πριν από την ημερομηνία έναρξης ισχύος αυτών, ή έστω δινόταν στους πλοιοκτήτες μια μεγάλη περίοδος που θα τους επέτρεπε να προχωρήσουν σε έναν αρκετά μακροχρόνιο προγραμματισμό της συμμόρφωσης των πλοίων τους ή της σταδιακής τους απόσυρσης. Στην προκειμένη περίπτωση, η διαδικασία, αν και δεν ήταν ακαριαία, χαρακτηρίστηκε από ταχύτερους ρυθμούς σε σχέση με άλλες περιπτώσεις. Η εσπευσμένη περίοδος συμμόρφωσης ορίστηκε να είναι το διάστημα μεταξύ της 1<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 1998 και 1<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2010. Η περίοδος κατά την οποία το κάθε σκάφος θα έπρεπε να προσαρμοστεί καθοριζόταν από την ηλικία του πλοίου, τον αριθμό των επιβαινόντων και την τιμή του δείκτη A/Amx [6]. Η σημασία του δείκτη αυτού δεν ήταν να παρέχει ένα μέτρο της ασφάλειας που προσφέρει το πλοίο, αλλά μια ένδειξη ιεράρχησης της σειράς με την οποία τα πλοία θα έπρεπε να προσαρμοστούν στις νέες απαιτήσεις. Επιπλέον με προσθήκες στην SOLAS (*SOLAS 1995, Resolution 14*) επιτράπηκε για πρώτη φορά να χρησιμοποιηθούν μοντέλα ενός υπό εξέταση πλοίου για να αποδειχτεί εάν αυτό ικανοποιεί τα προκαθορισμένα κριτήρια,

εισάγοντας μια νέα φιλοσοφία στον έλεγχο της ασφάλειας του πλοίου, την αξιολόγηση με βάση την επίδοση (*Performance Based Analysis*). Η αξιολόγηση αυτή μπορούσε να πραγματοποιηθεί είτε με χρήση μοντέλων (*Physical Model Experiments*), είτε με αριθμητικές προσομοιώσεις (*Numerical Simulations*). Άλλη μια σημαντική τροποποίηση που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1995 είναι το γεγονός ότι όλα τα Ε/Γ-Ο/Γ πλοία που προορίζονταν για τη μεταφορά 400 και πλέον επιβατών θα έπρεπε να συμμορφώνονται υποχρεωτικά με τις προδιαγραφές κατάκλυσης δύο παρακείμενων διαμερισμάτων [6].

- Μια σειρά από χώρες της Βόρειας και Δυτικής Ευρώπης δεν θεώρησαν αρκετή την προσαρμογή με τη SOLAS 1990 και προχώρησαν σε μια συμφωνία τοπικού χαρακτήρα η οποία θα υιοθετούσε την πρόταση του PoE για εξέταση του πλοίου θεωρώντας μια ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων. Αυτή η συμφωνία ονομάστηκε *Συνθήκη της Στοκχόλμης* και συνήφθηκε από τις χώρες: Δανία, Σουηδία, Νορβηγία, Φινλανδία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία και Ιρλανδία [6].
- Κρίσιμος παράγοντας για την επιβίωση ή όχι ενός πλοίου Ε/Γ-Ο/Γ που έχει υποστεί βλάβη κρίθηκε ότι ήταν η συσσώρευση νερού σε κάποιο από τα καταστρώματα οχημάτων του. Θεωρώντας ότι το πλοίο βρίσκεται σε θαλασσοταραχή, μια σειρά από δοκιμές έδειξαν ότι η γωνία εγκάρσιας κλίσης του πλοίου αυξανόταν με την πάροδο του χρόνου, έως μια κρίσιμη τιμή (*Point of no Return*) [6]. Η ίδια θεώρηση έγινε για τη σχέση μεταξύ της αύξησης της ποσότητας του νερού στο πλοίο και του χρόνου. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι η ανατροπή συνέβαινε σε γωνία εγκάρσιας κλίσης κοντά σε αυτήν που αντιστοιχούσε στη μέγιστη τιμή του μοχλοβραχίονα επαναφοράς. Κατά συνέπεια μπορούσε με απλό τρόπο να υπολογιστεί η ποσότητα του νερού που προκαλούσε την κλίση αυτή με χρήση μεθόδων της υδροστατικής. Η μεθοδολογία αυτή ονομάστηκε *Static Equivalent Method/SEM*. Τελικά η ποσότητα του νερού στο κατάστρωμα οχημάτων δινόταν ως συνάρτηση του σημαντικού ύψους κύματος από τον επόμενο τύπο [6]:

$$h_{crit} = f(Hs) = 0.085 \cdot (Hs_{crit})^{1.3}$$

Σημειώνεται ότι η θεώρηση λάμβανε ένα ρήγμα στο πλοίο σε σημείο κατώτερο του καταστρώματος οχημάτων και ταυτόχρονα μια ποσότητα νερού στα (άθικτα) καταστρώματα οχημάτων.

- Η πίεση για άμεσες λύσεις δεν επέτρεψε την περαιτέρω εξέλιξη της SEM. Τελικώς επιλέχθηκε να ληφθεί υπόψη αντί της ποσότητας του συσσωρευμένου νερού, το ύψος αυτού. Ορίστηκε κατά συνέπεια μια μέγιστη τιμή (0.5m), ενώ η τιμή για την οποία θα γίνονταν οι υπολογισμοί για κάθε

πλοίο ήταν συνάρτηση του σημαντικού ύψους κύματος (κυμαινόταν μεταξύ 1.5 και 4m) και του εναπομένοντος ύψους εξάλων του πλοίου (κυμαινόταν από 0.3 έως 2m). Για ενδιάμεσες τιμές γινόταν διπλή γραμμική παρεμβολή [6].

Μερικά σχόλια που αφορούν τη συνθήκη της Στοκχόλμης παρουσιάζονται στη συνέχεια [6]:

- Ήταν η πρώτη φορά που λήφθηκε υπόψη μια ποσότητα νερού στο κατάστρωμα οχημάτων και μάλιστα σε συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του πλοίου (εναπομένον ύψος εξάλων), όσο και με τη θάλασσα περιοχή στην οποία προοριζόταν να λειτουργήσει το πλοίο.
- Παρά ταύτα, η συνθήκη κρίθηκε υπερβολικά αυστηρή, καθώς θεωρούσε ότι τα πλοία που πληρούσαν τις προδιαγραφές SOLAS 1990 μπορούσαν να αντέξουν σε θάλασσες με σημαντικό ύψος κύματος μέχρι 1.5m (η κατώτερη τιμή της απαίτησης, όπως φάνηκε παραπάνω), κάτι που δείχνει να υποεκτιμά τις επιδόσεις των πλοίων αυτών των προδιαγραφών. Επιπλέον η τιμή των 0.5 m, που θεωρείται η μέγιστη του συσσωρευμένου νερού, προέκυψε από πειράματα σε πλοία που διέθεταν μια σειρά από διαφράγματα στα καταστρώματα οχημάτων τους. Ως εκ τούτου το ύψος του νερού ήταν υψηλότερο.
- Γενικά τα περισσότερα πλοία, που είχαν ναυπηγηθεί με βάση τις προδιαγραφές της SOLAS 1990 μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της Συνθήκης της Στοκχόλμης με μικρές μόνο μετατροπές. Αντιθέτως τα πλοία προδιαγραφών SOLAS 1974 έπρεπε να υποστούν σοβαρές μετατροπές, ωθώντας κάποια από αυτά να πωληθούν σε άλλες χώρες, στις οποίες δεν ίσχυε η συνθήκη της Στοκχόλμης, αν και σε κάθε περίπτωση θα ήταν υποχρεωμένα στο επόμενο διάστημα να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις της SOLAS 1990.
- Οι κυριότερες μετατροπές για συμμόρφωση με τη Συνθήκη της Στοκχόλμης ήταν: η προσθήκη sponsons, ducktail και/ή κινούμενων θυρών στα καταστρώματα οχημάτων, η δημιουργία εκτεταμένων side casings σε αυτά, ή ακόμα και η μείωση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου ώστε να προκύψει μικρότερο βύθισμα και τελικά μεγαλύτερο ύψος εξάλων. Μία εκτίμηση που έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 2000 υπολογίζει πως περίπου το 80% του στόλου των Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων της Βαλτικής Θάλασσας και της Βόρειας Θάλασσας υπέστη σημαντικές και πολυδάπανες μετατροπές προκειμένου να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις της τοπικής αυτής συμφωνίας. Ενδεικτικά οι επιπτώσεις από τις πιο συνηθισμένες μετατροπές καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα [6].

Μετατροπή	Επιπτώσεις
<b>Κινούμενες θύρες σε χώρους Ro-Ro</b>	Μείωση μεταφορικής ικανότητας ( <i>Lane Meters</i> )
	Αύξηση του συνολικού χρόνου απο/επιβίβασης ( <i>Turnaround Time</i> )
<b>Side Cassings σε χώρους Ro-Ro</b>	Μείωση μεταφορικής ικανότητας ( <i>Lane Meters</i> )
	Αύξηση του συνολικού χρόνου απο/επιβίβασης ( <i>Turnaround Time</i> )
<b>Πλευρικά Sponsons</b>	Μείωση Υπηρεσιακής Ταχύτητας
	Αύξηση Κατανάλωσης Καυσίμου
	Μειωμένη Άνεση Επιβατών λόγω Αυξημένης Ταχύτητας Επαναφοράς

## Π.6. SOLAS 2009 [9]

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε μια συνολική επισκόπηση της εξέλιξης των κανονισμών που διέπουν την ασφάλεια των πλοίων έναντι βλάβης. Στην παρούσα παράγραφο γίνεται μια σύντομη αναφορά αποκλειστικά στην πιθανοθεωρητική μέθοδο, καθώς είναι αυτή που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της παρούσης εργασίας για την εκτίμηση του επιπέδου ασφάλειας που προσφέρει το δοσμένο επιβατηγό πλοίο.

Η διατύπωση ενός πιθανοθεωρητικού μοντέλου για την εκτίμηση της ευστάθειας ενός πλοίου κατόπιν βλάβης γίνεται για πρώτη φορά στις εργασίες του Kurt Wendel που δημοσιεύονται το 1960 και το 1968. Λίγα χρόνια μετά, το 1974, ο IMO υιοθετεί το πιθανοθεωρητικό μοντέλο ως εναλλακτική μέθοδο για την εκτίμηση της ευστάθειας μετά από βλάβη σε επιβατηγά πλοία (*Resolution A265, 1974*). Παρά το γεγονός ότι οι κανονισμοί αυτοί δεν βρήκαν αρχικά μεγάλη απήχηση στη μελέτη επιβατηγών πλοίων, αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη κανονισμών ευστάθειας μετά από βλάβη φορτηγών πλοίων (SOLAS, *Μέρος B1, Κεφάλαιο II-1*). Άλλη μια εφαρμογή της πιθανοθεωρητικής μεθόδου ήταν οι διατάξεις της MARPOL 73/78, όπου με βάση αυτή μπορούσε να γίνει εκτίμηση του κινδύνου εκροής ποσότητας φορτίου στο περιβάλλον μετά από σύγκρουση ή πρόσκρουση πλοίων μεταφοράς υγρού φορτίου. Η ανάγκη για την δημιουργία ενός κοινού πλαισίου τόσο για τα επιβατηγά, όσο και για τα φορτηγά πλοία οδήγησε στην ανάπτυξη του ευρωπαϊκού προγράμματος **HARDER** το οποίο μετά από στατιστική επεξεργασία στοιχείων από συγκρούσεις

Διερεύνηση της Ευστάθειας κατόπιν βλάβης και Ενεργειακής Αποδοτικότητας Επιβατηγού – Οχηματαγωγού Πλοίου

πλοίων διατύπωσε τις κατάλληλες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για τη θέση και έκταση μιας ενδεχόμενης βλάβης. Οι προτάσεις αυτές ήταν η απαρχή της διαδικασίας για μια εκτεταμένη συζήτηση στα πλαίσια του IMO, που είχε σαν τελική κατάληξη την υιοθέτηση του κοινού πιθανοθεωρητικού πλαισίου για επιβατηγά και φορτηγά πλοία (*Resolution MSC. 216(82)*) που τέθηκε σε ισχύ την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009. Έκτοτε η επιστημονική έρευνα πάνω στα ζητήματα αυτά είναι σε διαρκή εξέλιξη, καθώς, ενώ η χρησιμότητα του μοντέλου αυτού δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, υπάρχουν ενστάσεις ως προς τους συντελεστές που χρησιμοποιούνται, επειδή θεωρείται ότι υπάρχει μια υπερεκτίμηση της πιθανότητας επιβίωσης του πλοίου. Νεότερα ατυχήματα όπως η βύθιση του ιταλικού κρουαζιερόπλοιου *Costa Concordia* στις αρχές του 2012, ίσως αποτελέσουν την απαρχή για νέες τροποποιήσεις των διατάξεων. Σε κάθε περίπτωση το θέμα αυτό σε σχέση με τους κανονισμούς ευστάθειας κατόπιν βλάβης είναι αρκετά νέο και ενδέχεται να υπάρξουν αρκετές εξελίξεις στο μέλλον.

Όπως αναφέρθηκε και πριν, η πιθανοθεωρητική μέθοδος που χρησιμοποιείται στην παρούσα έκδοση της SOLAS βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις εργασίες του καθηγητή Kurt Wendel.

- Η βασική ιδέα της μεθόδου του Wendel είναι ότι ο βαθμός ασφάλειας ενός πλοίου μπορεί να εκφραστεί ως ο λόγος του αριθμού ρηγμάτων από τα οποία το πλοίο επιβιώνει προς το σύνολο των ρηγμάτων που ενδέχεται να συμβούν.
- Η θέση και το μέγεθος του εκάστοτε ανοίγματος θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές.
- Η πιθανότητα κατάκλυσης ενός χώρου ισούται με την πιθανότητα να συμβούν όλα τα δυνατά ρήγματα, που να οδηγούν το χώρο αυτόν σε επικοινωνία με τη θάλασσα.
- Όπως φάνηκε και από τις διατάξεις των προηγούμενων εκδόσεων της SOLAS, η τελική έκβαση του συμβάντος θα εξαρτηθεί από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι το αρχικό μετακεντρικό ύψος, τα χαρακτηριστικά του μοχλοβραχίονα επαναφοράς, το βύθισμα και η διαχωρητικότητα του πλοίου καθώς και οι διαστάσεις του ρήγματος. Στη μέθοδο αυτή οι προηγούμενοι παράγοντες εκφράζονται σαν κατανομές πιθανότητας, σε μια προσπάθεια να εκφραστεί με ποσοτικό τρόπο η πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου σε περίπτωση κατάκλυσης ενός εκάστοτε χώρου.

Κατά συνέπεια, χρησιμοποιώντας τη θεωρία πιθανοτήτων προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Συμβολίζεται με  $P$  η πιθανότητα η κατάκλυση να περιορίζεται σε ένα διαμέρισμα ή σε μια ομάδα διαμερισμάτων. Προφανώς ισχύει  $0 \leq P \leq 1$ .
- Συμβολίζεται με  $s$  η (δεσμευμένη) πιθανότητα το σκάφος να επιβιώσει σε περίπτωση που ισχύει το παραπάνω σενάριο.



- Με βάση τον τύπο της ολικής πιθανότητας, αθροίζοντας όλα τα γινόμενα  $P \cdot s$  προκύπτει η συνολική πιθανότητα επιβίωσης του πλοίου για όλα τα σενάρια βλάβης. Το άθροισμα αυτό καλείται Επιτευχθείς Δείκτης Υποδιαίρεσης (*Attained Subdivision Index/A index*) και δίνεται ως

$$A = \sum P \cdot s$$

- Για κάθε πλοίο προσδιορίζεται ένας Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης (*Required Subdivision Index/R index*), ο οποίος σχετίζεται με μεγέθη σημαντικά για την ασφάλεια του πλοίου, όπως είναι το μήκος του πλοίου και ο αριθμός επιβατών.
- Για να εξασφαλιστεί ότι ένα πλοίο συμμορφώνεται με τις διατάξεις του κανονισμού θα πρέπει:  $A \geq R$ .
- Σημειώνεται ότι τα παραπάνω ισχύουν για περιπτώσεις πλευρικών συγκρούσεων. Για προσaráξεις δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι τώρα κάποια πιθανοθεωρητική μεθοδολογία και ως εκ τούτου, η επιβιωσιμότητα των πλοίων έναντι προσάραξης εξασφαλίζεται μέσω διπυθμένου επαρκούς ύψους.

Πιο αναλυτικά η μέθοδος περιέχει τα ακόλουθα σημεία:

- Ο δείκτης  $A$  που κατέχει θέση «μέτρου» της συνολικής πιθανότητας επιβίωσης του εκάστοτε υπό μελέτη πλοίου δίνεται από τον τύπο:

$$A = \sum w f_i \cdot A_i$$

όπου  $A_i$  είναι οι επιτευχθέντες δείκτες σε κάθε βύθισμα, και  $w f_i$  είναι οι συντελεστές βάρους που αντιστοιχούν στις εξεταζόμενες καταστάσεις πλευσης. Επιλέγονται λοιπόν τρία βυθίσματα που αφορούν το πλοίο πριν από την ενδεχόμενη βλάβη. Αυτά είναι:

- $d_s$  : Το βύθισμα που αντιστοιχεί στην Έμφορτη Ίσαλο Θέρους.
- $d_l$  : Το βύθισμα που αντιστοιχεί σε κατάσταση ερματισμού.
- $d_p$  : Αντιστοιχεί σε ενδιάμεσο βύθισμα και ο υπολογισμός του γίνεται με εφαρμογή του τύπου :

$$d_p = d_l + 0,6 \cdot (d_s - d_l)$$

- Σημειώνεται ότι στα δύο μεγαλύτερα βυθίσματα, το πλοίο θεωρείται ισοβύθιστο (εκτός από την περίπτωση που η διαγωγή (*trim*) ξεπερνά το 0.5% του μήκους υποδιαίρεσης του πλοίου. Αντιθέτως για το  $d_l$  λαμβάνεται υπόψη η πραγματική διαγωγή που το πλοίο έχει σε αυτό το βύθισμα/κατάσταση φόρτωσης.
- Στα βυθίσματα αυτά αντιστοιχούν οι επιτευχθέντες δείκτες  $A_s$ ,  $A_l$  και  $A_p$ , αντίστοιχα.

- Οι συντελεστές βαρύτητας επιλέγονται να είναι 0.2 για το  $d_l$  και 0.4 για τα  $d_s$  και  $d_p$  αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε έναν ενδεικτικό καταμερισμό του χρόνου λειτουργίας του πλοίου σε κάθε ένα από τα βυθίσματα αυτά.
- Με βάση τα παραπάνω ισχύει η ισότητα

$$A = \sum wf_i \cdot A_i = 0.4 \cdot A_s + 0.4 \cdot A_p + 0.2 \cdot A_l$$

- Η πιθανότητα επιβίωσης του σκάφους για κάθε περίπτωση βλάβης δίνεται από τον τύπο:

$$s_i = \min(s_{\text{intermediate},i} \cdot s_{\text{final},i} \cdot s_{\text{nom},i})$$

όπου:

- $s_{\text{intermediate},i}$  αντιπροσωπεύει την πιθανότητα επιβίωσης κατά την διάρκεια των μεταβατικών σταδίων κατάκλυσης. Στην περίπτωση φορτηγών πλοίων λαμβάνεται  $s_{\text{intermediate},i} = 1$ , ενώ στην περίπτωση επιβατηγών πλοίων λαμβάνεται:

$$s_{\text{intermediate},i} = \left[ \frac{GZ_{\max}}{0.05} \cdot \frac{Range}{7} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Στη σχέση αυτή το  $GZ_{\max}$  λαμβάνει μέγιστη τιμή 0.05m και το  $Range$  (εύρος θετικής ευστάθειας μετά από βλάβη) μέγιστη τιμή 7°. Εάν εμφανιστεί μεταβατική γωνία εγκάρσιας κλίσης μεγαλύτερη από 15° θέτουμε  $s_{\text{intermediate},i} = 0$ .

- $s_{\text{final},i}$  είναι η πιθανότητα επιβίωσης στο τελικό στάδιο κατάκλυσης:

$$s_{\text{final},i} = \left[ \frac{GZ_{\max}}{0.12} \cdot \frac{Range}{16} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Στη σχέση αυτή το  $GZ_{\max}$  λαμβάνει μέγιστη τιμή 0.12m και το  $Range$  16°.

- $s_{\text{nom},i}$  είναι η πιθανότητα επιβίωσης υπό την επίδραση εγκάρσιας ροπής. Για φορτηγά πλοία λαμβάνεται  $s_{\text{nom},i} = 1$ , ενώ στην περίπτωση επιβατηγών πλοίων

$$s_{\text{nom},i} = \frac{(GZ_{\max} - 0.04) \cdot \Delta}{M_{\text{heel}}}$$

όπου  $M_{\text{heel}}$  είναι η μέγιστη από τις ροπές εγκάρσιας κλίσης που ενδέχεται να οφείλονται είτε στον άνεμο, είτε στη μετακίνηση επιβατών, είτε στην καθέλκυση σωστικών μέσων.

- Ο δείκτης  $s$  λαμβάνεται ίσος με μηδέν στις ακόλουθες περιπτώσεις:
  - Βύθιση καιροστεγών ανοιγμάτων, μέσω των οποίων ενδέχεται να σημειωθεί προοδευτική κατάκλυση του πλοίου.

- Βύθιση χώρων απ' όπου γίνεται χειρισμός βαλβίδων και υδατοστεγών θυρών.
  - Βύθιση οδών διαφυγής επιβατών.
- Ο Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης δίνεται ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του υπό εξέταση πλοίου, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Τύπος Πλοίου	Απαιτούμενος Δείκτης Υποδιαίρεσης	Επεξηγήσεις
<b>Φορτηγά πλοία</b> $L > 100m$ , με	$R = 1 - \frac{128}{L + 152}$	
<b>Φορτηγά πλοία</b> $80 < L < 100[m]$ με	$R = 1 - \frac{1}{1 + \frac{L}{100} \cdot \frac{R_0}{1 - R_0}}$	$R_0$ η τιμή που δίνει ο τύπος για φορτηγά με $L > 100m$
<b>Επιβατηγά πλοία</b>	$R = 1 - \frac{5000}{L + 2.5 \cdot N + 15225}$	$N = N_1 + 2N_2$ $N_1$ ο αριθμός επιβατών για τους οποίους διατίθενται σωσίβιες λέμβοι $N_2$ ο αριθμός των επιπλέον επιβατών.

- Το μέγιστο προβλεπόμενο μήκος βλάβης τίθεται ίσο με 60m.
- Σημειώνεται ότι για να αντιμετωπιστεί η πιθανότητα ένα πλοίο να επιτυγχάνει ικανοποίηση της απαίτησης  $A \geq R$ , έχοντας έναν πολύ υψηλό επιτευχθέντα δείκτη σε κάποια βυθίσματα και αντίστοιχα έναν πολύ χαμηλό συντελεστή σε κάποια άλλα, επιλέχθηκε για κάθε ένα βύθισμα να ισχύει η απαίτηση ο αντίστοιχος επιτευχθείς δείκτης να μην είναι μικρότερος από  $0.9 \cdot R$  για την περίπτωση των επιβατηγών πλοίων και  $0.5 \cdot R$  για τα φορτηγά πλοία. Επιπλέον, η βασική απαίτηση για τους δείκτες πλαισιώνεται από μια σειρά πρόσθετων διατάξεων ντετερμινιστικού τύπου. Συγκεκριμένα, για πλοία που μεταφέρουν 36 και πλέον επιβαίνοντες απαιτείται να έχουν  $s_i > 0.9$ , για βλάβες συγκεκριμένης έκτασης, ανάλογα με το μήκος του πλοίου και τον αριθμό των επιβαινόντων, ενώ πλοία που μεταφέρουν 400 και πλέον επιβαίνοντες θα πρέπει να έχουν  $s_i = 1$  για κάθε βλάβη που περιλαμβάνει

διαμερίσματα εντός του  $0.08 \cdot L$  από την προραία κάθετο και για τα τρία βυθίσματα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι ένα πλοίο που διαθέτει τον απαιτούμενο Δείκτη Υποδιαίρεσης δε θα κινδυνεύσει από βλάβες μικρής σχετικά έκτασης.

- Οι διαχωρητότητες των χώρων φορτίου του πλοίου δεν θεωρούνται σταθερές αλλά δίνονται στον ακόλουθο πίνακα συναρτήσει του βυθίσματος:

Χώροι	Διαχωρητότητες		
	$d_s$	$d_p$	$d_l$
Χώροι Ξηρού Φορτίου	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.95</b>
Χώροι Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.95</b>
Χώροι Ro-Ro	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.95</b>
Δεξαμενές Φορτίου	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.95</b>

- Οι πιθανοθεωρητικοί κανονισμοί δεν αφορούν την εκτίμηση του αποτελέσματος που θα είχε ενδεχόμενη προσάραξη του πλοίου. Ως εκ τούτου, το ζήτημα αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση διπύθμενου. Οι σχετικές διατάξεις ορίζονται στον Κανονισμό 9 της SOLAS 2009.

## Π.7. Η Πορεία από τη SOLAS 1990 στη SOLAS 2009

Εάν ληφθούν υπόψη οι ντετερμινιστικοί τύποι που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς που αφορούν την SOLAS 2009, είναι έκδηλο το γεγονός ότι έλκουν την καταγωγή τους από αντίστοιχες διατάξεις της SOLAS 1990. Μερικές παρατηρήσεις ως προς αυτό το θέμα είναι οι εξής:

- Όπως ειπώθηκε και πριν, η διάκριση ανάμεσα σε επιβατηγό και σε φορτηγό πλοίο είναι έκδηλη και στην SOLAS 2009, κατά βάση με τους διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του απαιτούμενου δείκτη υποδιαίρεσης  $R$  για επιβατηγά και για φορτηγά πλοία, αποτελώντας στην ουσία μια ενσωμάτωση της φιλοσοφίας του *Κριτηρίου Υπηρεσίας*, ενός δηλαδή από τα παλαιότερα εργαλεία για τον υπολογισμό της ασφάλειας ενός πλοίου και στην τελευταία αυτή εκδοχή κανονισμών, διαβαθμίζοντας στην ουσία την αυστηρότητα στην απαιτούμενη ασφάλεια ανάλογα με το χαρακτήρα του πλοίου. Επιπλέον παρατηρείται αυστηροποίηση του δείκτη ανάλογα με την αύξηση του

αριθμού των επιβαινόντων στο πλοίο (σε αναλογία με την αυστηροποίηση του Κριτηρίου Υπηρεσίας με την αύξηση του αριθμού επιβαινόντων που τότε εκφραζόταν με το αν το πλοίο θεωρούταν περισσότερο επιβατηγό ή φορτηγό, καθώς πιο παλαιά ο μεικτός χαρακτήρας των πλοίων αποτελούσε μια συνήθη πρακτική, με έμφαση άλλες φορές στον επιβατηγό και άλλες φορές στον φορτηγό χαρακτήρα του πλοίου). Παρά ταύτα, μπορεί να εντοπιστεί ένα νεωτερικό στοιχείο που είναι η αυστηροποίηση των απαιτήσεων με βάση τον αριθμό των επιβατών για τους οποίους δεν διατίθενται σωσίβιες λέμβοι (δεδομένης της ανάπτυξης των τελευταίων ετών και σωστικών μέσω όπως τα *life rafts*).

- Στους παλαιότερους κανονισμούς, η σημασία του μήκους του πλοίου γινόταν φανερή από το γεγονός ότι η αύξησή του οδηγούσε σε χαμηλότερους *Συντελεστές Υποδιαίρεσης* και, κατά συνέπεια, σε μικρότερα *Επιτρεπόμενα Μήκη Διαμερίσματος* και σε αυστηρότερες διατάξεις σχετικές με τον αριθμό των διαμερισμάτων, την κατάκλυση των οποίων το πλοίο θα μπορεί να υποστεί ικανοποιώντας ταυτόχρονα τους κανονισμούς. Στην SOLAS 2009, με την τοποθέτηση του μήκους στον παρανομαστή του δείκτη  $R$ , η πρόβλεψη αυτή μετασχηματίζεται στην απαίτηση για υψηλότερο δείκτη.
- Στους τύπους που δίνουν τους συντελεστές  $s$  για το εκάστοτε βύθισμα έχουμε ουσιαστικά ενσωμάτωση των νετερμινιστικών κριτηρίων της SOLAS 1990. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ο τύπος:

$$s_{intermediate} = \left[ \frac{GZ_{max}}{0.05} \cdot \frac{Range}{7} \right]^{\frac{1}{4}}$$

όπου ανατρέχοντας στη *SOLAS 1990* η ελάχιστη τιμή του  $GZ$  είναι 0.05 και του  $Range$   $7^\circ$ , τιμές που υπεισέρχονται και στον αντίστοιχο τύπο.

- Η απαίτηση που υπάρχει στη *SOLAS 1990* για προσδιορισμό του  $GZ_{req}$  μέσω του τύπου

$$GZ_{req} = \frac{HeelingMoment}{\Delta} + 0.04$$

μεταφέρεται σχεδόν αυτούσια στην *SOLAS 2009* μέσω της υιοθέτησης του συντελεστή

$$s_{nomi} = \frac{(GZ_{max} - 0.04) \cdot \Delta}{M_{heel}}$$

- Σε αντίθεση με τη SOLAS 1990, στη SOLAS 2009 οι διαχωρητότητες των χώρων φορτίου δεν διατηρούνται σταθερές, αλλά μεταβάλλονται με βάση το βύθισμα το πλοίου.
- Οι τιμές που καθορίζουν την έκταση της βλάβης παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις καθώς στην SOLAS 2009 λαμβάνεται μέγιστο μήκος βλάβης τα 60 m και εγκάρσια εισχώρηση ίση με  $B/2$ , σε σχέση με τις τιμές της SOLAS 1990 που όριζαν μήκος βλάβης ίσο με  $\min\{0.03L+3[m]/11[m]\}$  και εγκάρσια εισχώρηση ίση με  $B/5$ .

### III. Κανονισμοί για την Προστασία του Περιβάλλοντος

#### III.1. Πρωτόκολλο του Κιότο και Περιβαλλοντική Ευαισθητοποίηση

Η παράγραφος αυτή έχει χαρακτήρα ενδεικτικό και στόχο να δώσει μια εικόνα για την προσπάθεια περιορισμού της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Παρά το γεγονός ότι δεν έχει εφαρμογή στις θαλάσσιες μεταφορές, η υιοθέτηση του δείκτη EEDI, για τον οποίο θα γίνει αναφορά στη συνέχεια, εξετάζεται σε σχέση με αυτήν την παράμετρο καθώς το πνεύμα που διατρέχει αυτή τη Συμφωνία είναι κοινό και στην περίπτωση της υιοθέτησης του δείκτη EEDI.

Το *Πρωτόκολλο του Κιότο* [3,10] υπογράφηκε τον Δεκέμβριο του 1997 και σηματοδοτούσε την συμφωνία των βιομηχανικών χωρών να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία έχουν θεωρηθεί υπεύθυνα για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω του ομώνυμου φαινομένου. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συμφωνία αυτή είναι ετεροβαρής, υπό την έννοια ότι τα μέτρα αφορούν κατά βάση τις βιομηχανικές χώρες, οι οποίες καλούνται να λάβουν τα αυστηρότερα μέτρα, ενώ για τις μη βιομηχανικές χώρες υπάρχει πρόβλεψη ότι οι εκπομπές τους ενδέχεται να αυξηθούν. Κάποια χαρακτηριστικά σημεία της συμφωνίας είναι τα ακόλουθα:

1. Κάθε βιομηχανική χώρα θέτει έναν στόχο για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2008 και διατήρηση της μείωσης αυτής μέχρι το 2012. Οι συνολικές εκπομπές για κάθε χώρα μετρούνται με βάση την εκπομπή των αερίων CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs (hydrofluorocarbons), PFCs (perfluorocarbons), SF<sub>6</sub> (Sulfur hexafluoride) [3].
2. Καθιερώνονται διαφοροποιημένοι εθνικοί στόχοι για κάθε βιομηχανική χώρα, ενώ, ειδικά για την Ε.Ε, η επίτευξη του στόχου που της αντιστοιχεί μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιώντας τους διαφοροποιημένους εθνικούς στόχους μείωσης εκπομπών [3].
3. Υπάρχει μέριμνα για μεταφορά τεχνογνωσίας και χρηματοδότησης των αναπτυσσόμενων χωρών, για τις οποίες δεν υπάρχει απαίτηση να μειώσουν την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου, στα πλαίσια μιας ισορροπημένης διεθνούς ανάπτυξης [3].

4. Σημαντικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι η μείωση των εκπομπών ενθαρρύνεται να επιτευχθεί μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (φιλοσοφία που όπως θα δούμε ακολουθεί ξεκάθαρα η MARPOL με την υιοθέτηση του δείκτη EEDI) και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
5. Ένα σημείο της συμφωνίας, που έχει επικριθεί έντονα, είναι η δυνατότητα που δίνει η Σύμβαση στην εμπορία ρύπων μεταξύ χωρών που υπερβαίνουν το όριο και αυτών που δεν το υπερβαίνουν [3].
6. Το Πρωτόκολλο του Κιότο περιέχει προβλέψεις για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις αεροπορικές μεταφορές μέσω του (ICAO- *International Civil Aviation Organization*) και στις μεταφορές δια θαλάσσης (ανήκει στη σφαίρα ευθύνης του IMO και ως εκ τούτου θα εξεταστεί διεξοδικά στη συνέχεια).

#### Άλλες Σημαντικές Πρωτοβουλίες [3]

- Τον Δεκέμβριο του 2010 τα μέλη της *UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)*, αποφάσισαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας που αντιστοιχούσε στην έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης κατά 2°C (κάτι τέτοιο συνεπάγεται την ανάγκη μέχρι το έτος 2050 να έχει επιτευχθεί μείωση το λιγότερο κατά 50% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990).
- Ο στόχος αυτός θα ήταν και πάλι ετεροβαρής, καθώς θα υποχρέωνε τις ανεπτυγμένες χώρες να περιορίσουν τις εκπομπές τους κατά 80-95% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2050.
- Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αποφασίσει να προχωρήσει σε μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, μέχρι το έτος 2050 (*Λευκή Βίβλος για τις Μεταφορές - White Paper 2011*).

### III.2. Σύμβαση MARPOL [39,11]

Η Διεθνής Σύμβαση *MARPOL (Maritime Pollution Convention)*, υιοθετήθηκε από τον IMO το 1973. Γενεσιουργό αίτιο για την υιοθέτηση αυτής ήταν το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου *Torrey Canyo* το 1967 στο βρετανικό κανάλι. Η προσάραξη του δεξαμενόπλοιου *Argo Merchant* το 1976 και του *Amoco Cadiz* το 1978 οδήγησαν στην τροποποίηση της σύμβασης το 1978. Η βασική απαίτηση που υιοθετήθηκε τότε ήταν οι δεξαμενές έρματος να είναι ξεχωριστές από τις δεξαμενές φορτίου, ενώ καθορίζονται και απαιτήσεις ευστάθειας κατόπιν βλάβης (σημειώνεται ότι η



ευστάθεια κατόπιν βλάβης για τα δεξαμενόπλοια καθορίζεται από τη Σύμβαση MARPOL και όχι από τη SOLAS, γεγονός που επιτείνει την πολυπλοκότητα των κανονισμών που διέπουν τη σχεδίαση και τη λειτουργία των πλοίων). Το 1993 εισάγονται νέες τροποποιήσεις της *MARPOL 73/78* (όπως αποκαλείται μέχρι σήμερα), σύμφωνα με τις οποίες τα νεότευκτα πλοία είναι υποχρεωμένα να διαθέτουν διπλά τοιχώματα ή εναλλακτική σχεδίαση, η οποία να παρέχει ισοδύναμο βαθμό προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος έναντι ρύπανσης. Τέλος, μετά το ατύχημα του δεξαμενόπλοιου *Erika* το 1999, ο IMO προχώρησε σε άλλη μια αναθεώρηση της σύμβασης *MARPOL 73/78* επισπεύδοντας τη συμμόρφωση των ήδη υπαρχόντων πλοίων. Επιπλέον τροποποιήσεις της Σύμβασης ενσωματώθηκαν στην έκδοση του Δεκεμβρίου του 2003.

Από τα παραπάνω προκύπτει η καθοριστική σημασία που είχε για την σύμβαση *MARPOL* το θέμα της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πετρελαιοειδή, καθώς εκτός των άλλων στην προηγούμενη παράγραφο τονίστηκε ότι οι τροποποιήσεις της *MARPOL* έρχονταν ως συνέχεια ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων που είχαν σαν αποτέλεσμα ρύπανση των υδάτων. Αργότερα φάνηκε η σημασία της πρόληψης της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και από άλλους ρυπαντές και κυρίως της ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια των μηχανών των πλοίων κάτι που αποτελεί και αντικείμενο της εργασίας αυτής. Η σύμβαση υποδιαιρείται σε 6 παραρτήματα, κάθε ένα από τα οποία στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος έναντι μιας μορφής ρύπανσης. Αναλυτικότερα [4]:

1. Κανονισμοί για την αποφυγή της Ρύπανσης από Πετρελαιοειδή (2/10/1983)
2. Κανονισμός για την Αποφυγή της Ρύπανσης από Επιβλαβείς Υγρές Ουσίες σε Χύδην Μορφή (6/4/1987)
3. Κανονισμός για την Αποφυγή της Ρύπανσης από Επιβλαβείς Ουσίες που μεταφέρονται δια Θαλάσσης σε Συσκευασμένες Μορφές ή σε Εμπορευματοκιβώτια, Φορητές Δεξαμενές ή Οδικά και Σιδηροδρομικά Βαγόνια (1/7/1992)
4. Κανονισμοί για την Αποφυγή της Ρύπανσης από Λύματα Πλοίων (27/9/2003)
5. Κανονισμοί για την Αποφυγή της Ρύπανσης από Απορρίμματα Πλοίων (31/12/1988)
6. Κανονισμοί για την Αποφυγή της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης από τα Πλοία (19/5/2005)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η Σύμβαση χαρακτηρίζει μια σειρά από περιοχές της υφηλίου ως περιοχές υψηλότερης προστασίας ως προς την εκπομπή καυσαερίων με περιεκτικότητα σε θεικές ενώσεις και σε οξειδία του αζώτου. Στη συνέχεια θα γίνει μια αναλυτικότερη αναφορά στο γεγονός αυτό.

### III.3. MARPOL Annex VI [4,11]

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ασχολούμαστε μόνο με την τελευταία κατηγορία ρύπανσης. Για τον λόγο αυτόν θα γίνει μια πιο αναλυτική περιγραφή του Παραρτήματος VI. Όπως ειπώθηκε και πριν, οι στόχοι για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που προτάθηκαν από το Πρωτόκολλο του Κιότο, αφορούσαν και την ναυτιλία μέσω της αντίστοιχης νομοθεσίας του IMO. Ως εκ τούτου, τον Δεκέμβριο του 2003 η Ολομέλεια του IMO υιοθέτησε την *Resolution A.963(23)*, η οποία καθόριζε την πολιτική του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία μέσω της *Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC)*. Τελικώς, η απόφαση αυτή οδήγησε, δύο χρόνια αργότερα, στην έκδοση του Παραρτήματος VI που καθόριζε τις απαιτήσεις τις σχετικές με την αποφυγή της ρύπανσης της ατμόσφαιρας.

Σε αυτό προβλέπεται ο εφοδιασμός των πλοίων με τα ακόλουθα:

- Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPP), για πλοία άνω των 400gt, τα οποία εκτελούν διεθνείς πλόες.
- Διεθνές Πιστοποιητικό Μηχανής για την Πρόληψη Ρύπανσης του Αέρα (EIAPP) για μηχανές πλοίων άνω των 130 kW.
- Τεχνικό Φάκελο Μηχανής, για τις εν λόγω μηχανές πλοίων, σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NO<sub>x</sub>.
- Βιβλίο Καταγραφής Παραμέτρων Μηχανής για τις εν λόγω μηχανές.
- Βιβλίο Καταγραφής Ουσιών που καταστρέφουν το Οζόν.
- Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου και Αντιπροσωπευτικό Δείγμα καυσίμου.
- Γραπτή Διαδικασία Αλλαγής Καυσίμου και Καταγραφής αυτής για πλοία που χρησιμοποιούν ξεχωριστούς τύπους καυσίμων, προκειμένου να συμμορφωθούν με τον Κανονισμό 14.3 και να εισέλθουν σε ή να εγκαταλείψουν Ειδική Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών SO<sub>x</sub>.
- Εγχειρίδιο Λειτουργίας Κατασκευαστή για τον Αποτεφρωτήρα, για πλοία που διαθέτουν τέτοιο εξοπλισμό, σύμφωνα με τον Κανονισμό 16.
- Σχέδιο Διαχείρισης Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOC), για πετρελαιοφόρα μεταφοράς αργού πετρελαίου, σύμφωνα με τον Κανονισμό 15.

Όπως γίνεται φανερό, οι διατάξεις του παραρτήματος αρχικά αφορούσαν τον περιορισμό της απελευθέρωσης στην ατμόσφαιρα πτητικών οργανικών ενώσεων από τα φορτία των δεξαμενοπλοίων, καθώς και θεικών (SO<sub>x</sub>) και νιτρικών (NO<sub>x</sub>) οξειδίων που εκπέμπονται από τις μηχανές τους. Επιπλέον το παράρτημα περιείχε

προβλέψεις για τον περιορισμό της καταστροφής του στρώματος του όζοντος από αέρια όπως τα halons και τα chlorofluorocarbons, απαγορεύοντας την εγκατάσταση αντίστοιχων συστημάτων σε νέα πλοία και ορίζοντας την απομάκρυνση ήδη εγκατεστημένων περί το έτος 2020.

Όπως αναφέρθηκε και πριν, η Σύμβαση ορίζει μια σειρά από περιοχές, τις λεγόμενες περιοχές ελέγχου εκπομπής (*ECA- Emission Control Areas*) στις οποίες οι απαιτήσεις είναι αυστηρότερες σε σχέση με ό,τι ισχύει σε παγκόσμια κλίμακα. Οι περιορισμοί αφορούν κατά βάση τις εκπομπές σε θειικά ( $SO_x$ ) και νιτρικά οξείδια ( $NO_x$ ).

Σε επόμενη παράγραφο δίνονται τα όρια για την εκπομπή των  $SO_x$  και  $NO_x$  και μια συνοπτική αναφορά στα μέτρα περιορισμού τους. Κατά βάση, επειδή τα μέτρα περιορισμού των εκπομπών τους δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, δεν πρόκειται να γίνει άλλη αναφορά σε αυτά εκτός από μια αναφορά στον βαθμό που αλληλεπιδρούν με τα μέτρα για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων.

Σε ότι αφορά, πιο συγκεκριμένα, τα μέτρα για τον περιορισμό των Αερίων του Θερμοκηπίου (*Greenhouse Gases/GHG*), στην 62<sup>η</sup> Σύνοδο της MEPC τον Ιούλιο του 2011, υιοθετήθηκαν τα ακόλουθα «τεχνικά μέτρα» για τη μείωση των εκπομπών  $CO_2$  από τα πλοία υπό το γενικό τίτλο «Κανονισμοί Ενεργειακής Αποδοτικότητας των Πλοίων». Τα μέτρα αυτά αποτέλεσαν το νέο Κεφάλαιο 4 του Παραρτήματος VI της Δ.Σ. MARPOL [3,12].

Τα πλοία προβλέπεται να είναι εφοδιασμένα με [3,12]:

- Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (*IEEC*) για νέα πλοία άνω των 400gt, τα οποία εκτελούν διεθνείς πλόες.
- Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του Πλοίου (*SEEMP*) για νέα και υπάρχοντα πλοία άνω των 400gt.
- Τεχνικό Φάκελο Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (*EEDI Technical File*), στον οποίο καταγράφεται η διαδικασία υπολογισμού του επιτευχθέντος EEDI.

#### III.4. Κυριότεροι Ρύποι και Επιπτώσεις Αυτών

Οι κυριότεροι ρυπογόνοι παράγοντες που προέρχονται από τις θερμικές μηχανές με τις οποίες είναι εφοδιασμένα τα πλοία για την πρόωση και για τις βοηθητικές τους λειτουργίες και τα αποτελέσματα που προκαλούν είναι οι ακόλουθοι [13]:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>): Συγκαταλέγεται στην κατηγορία των αερίων του θερμοκηπίου (*Greenhouse Gases*), τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.
- Οξειδία του Αζώτου (NO<sub>x</sub>): Οφείλονται στις συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στους θαλάμους καύσης των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (*Internal Combustion Engines*). Συνεισφέρουν στο σχηματισμό της αιθαλομίχλης (*smog*) καθώς και του όζοντος στην Τροπόσφαιρα (*Ground Level Ozone*), που είναι και το πλέον επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία [15].
- Οξειδία του Θείου (SO<sub>x</sub>): Η ποσότητα που εκπέμπεται είναι ευθέως ανάλογη της ποσότητας σε θείο που περιέχεται στο καύσιμο. Ευθύνονται για το φαινόμενο της όξινης βροχής και για προβλήματα της ανθρώπινης υγείας.

Οι επιλογές που προσφέρονται για τη συμμόρφωση των πλοίων με τις απαιτήσεις Marpol Annex VI είναι οι ακόλουθες [14]:

- Χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε S (*Low Sulphur Diesel Fuel*).
- Χρήση εναλλακτικών καυσίμων (LNG/Methanole).
- Χρήση τεχνολογιών που οδηγούν σε περιορισμό των εκπομπών (*Abatement Technologies*).

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφεται η αξιολόγηση των διάφορων δυνατών καυσίμων σε σχέση με το *Heavy Fuel Oil/HFO*, σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις από τις απαιτούμενες μετατροπές στον μηχανολογικό εξοπλισμό των πλοίων.

**Πίνακας 3.1 [13]**

Σύγκριση των δυνατών καυσίμων με έμφαση σε περιβαλλοντικά κριτήρια

	Επίδοση συγκρινόμενη με την χρήση HFO			
Εναλλακτική	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	CO <sub>2</sub>
LNG	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Πολύ Καλή	Καλή
MGO	Καλή	Κακή	Κακή	Κακή
HFO/Scrubber	Καλή	Πολύ Κακή	Καλή	Κακή

**Πίνακας 3.2 [13]**

Σύγκριση των δυνατών καυσίμων με έμφαση σε οικονομικά κριτήρια

	Επίδοση συγκρινόμενη με την χρήση HFO		
Εναλλακτική	Μεταφορική Ικανότητα	Κόστος Επένδυσης	Λειτουργικά Έξοδα
LNG	Μείωση	Πολύ Υψηλό	Χαμηλό
MGO	Δε Μειώνεται	Χαμηλό	Πολύ Υψηλό
HFO/Scrubber	Περιορισμένη Μείωση	Υψηλό	Μέτριο

Οι κυριότεροι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης εναλλακτικής λύσης είναι [13]:

- Το κόστος των απαραίτητων μετατροπών
- Ο χρόνος που ένα πλοίο υπολογίζεται να βρίσκεται εντός περιοχής ECA
- Το κόστος των εναλλακτικών καυσίμων (LNG και Methanole σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα (MDO, MGO, HFO))

**III.5. LNG: Ένα Πιθανό Βήμα στο Μέλλον**

Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες για χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (*Liquefied Natural Gas/LNG*) για την πρόωση πλοίων έχουν ενταθεί, σε βαθμό που πολλοί ειδικοί θεωρούν τη σημερινή περίοδο, περίοδο μετάβασης για την ναυτιλία, αντίστοιχη αυτής κατά την οποία συντελέστηκε η μετάβαση από τις *Μηχανές Εξωτερικής Καύσεως* (παλινδρομικές ατμομηχανές, ατμοστρόβιλοι) στις *Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως* (παλινδρομικές μηχανές Diesel, αεριοστρόβιλοι).

- Η χρήση φυσικού αερίου για την πρόωση των πλοίων υπολογίζεται ότι επιφέρει μείωση των εκπομπών  $\text{NO}_x$  κατά 90% ενώ οι εκπομπές τόσο των  $\text{SO}_x$  όσο και των PM είναι αμελητέες χωρίς μάλιστα να υπάρχει απαίτηση πρόσθετων καταλυτών (*abatement technologies*). Επιπλέον η μείωση στις εκπομπές του  $\text{CO}_2$  εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 20%, λόγω της μικρότερης περιεκτικότητας του καυσίμου σε C σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα [13].
- Η εκπομπή οξειδίων του Θείου ( $\text{SO}_x$ ) είναι ανάλογη της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο. Κατά συνέπεια η χρήση καυσίμων όπως LNG έχει σαν

συνέπεια ουσιαστικά την εκμηδένιση των εκπομπών σε SO<sub>x</sub>. Παρά ταύτα, όπως θα φανεί και στην πορεία, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η χρήση βαρέως καυσίμου (*Heavy Fuel Oil*) για την έναρξη της καύσης του LNG (*Pilot Fuel*) [13].

- Η εκπομπή των οξειδίων του Αζώτου (NO<sub>x</sub>) είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης που επικρατεί εντός του θαλάμου καύσεως, ενώ σχετίζεται και με την περίσσεια αέρα στο θάλαμο καύσης. Τα όρια που τίθενται από τον IMO (*Tier III*) σε ότι αφορά την εκπομπή NO<sub>x</sub> μπορούν να επιτευχθούν με χρήση τεχνολογίας SCR (*Selective Catalyst Reduction*) ή EGR (*Exhaust Gas Recirculation*). Σε περίπτωση χρήσης καυσίμου όπως το LNG, δεν υπάρχει λόγος χρήσης των τεχνολογιών αυτών, εκτός από την περίπτωση που η ναυτική μηχανή προορίζεται να κάνει χρήση τόσο LNG, όσο και HFO ή MDO (*Dual/Tri Fuel Engines*) [13].
- Οι εκπομπές PM οφείλονται σε ατελή καύση εντός του θαλάμου καύσης των κυλίνδρων, καθώς η υψηλή θερμοκρασία και πίεση που επικρατεί εκεί προκαλεί την διάσπαση των στοιχείων του καυσίμου πριν την έναυση του. Ένας επιπλέον παράγοντας που σχετίζεται με την παραγωγή PM είναι και η περιεκτικότητα σε S. Κατά συνέπεια αυτός είναι άλλος ένας λόγος για τον οποίο οι μηχανές που χρησιμοποιούν αέριο καύσιμο (LNG/Methanole) πλεονεκτούν, καθώς περιορίζουν τις εκπομπές σε PM κατά περίπου 85% [13].

### Πίνακας 3.3 [15]

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε ρύπου και μέτρα περιορισμού

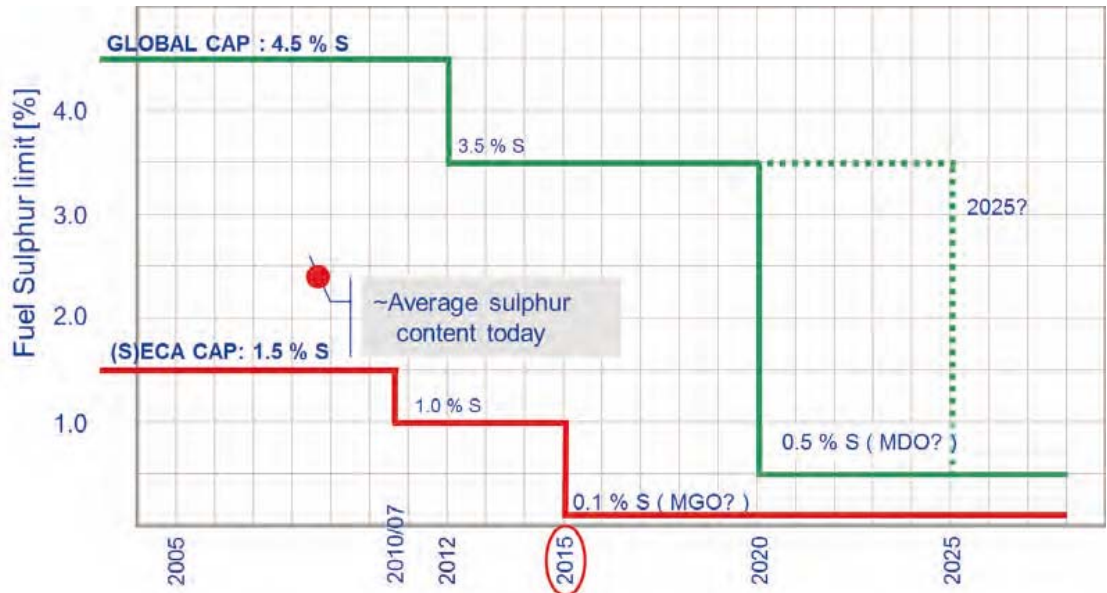
Τύπος Ρύπου	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Νομοθετική Πρωτοβουλία (IMO)
NO <sub>x</sub>	Όξινη βροχή Ευτροφισμός Νέφος	Περιορισμοί στην εκπομπή τους (Tier II & Tier III)
SO <sub>x</sub>	Όξινη βροχή	Ανακήρυξη περιοχών SECA
CO <sub>2</sub>	Φαινόμενο Θερμοκηπίου- Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη	Δείκτης EEDI
Particulate Matter (PM)	Αναπνευστικά προβλήματα	Πιθανή ένταξη διατάξεων σε Tier II

Σημειώνεται ότι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αναφορά γίνεται μόνο στον περιορισμό της εκπομπής CO<sub>2</sub>. Ο βασικός λόγος γι' αυτήν την επιλογή έχει να κάνει με το γεγονός ότι σε ό,τι αφορά τις άλλες κατηγορίες ρύπων, αυτές είναι κατά βάση συνάρτηση της σύστασης του καυσίμου ή σχετίζονται με την διαδικασία της καύσης, και κατά συνέπεια ο περιορισμός τους στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην βελτίωση της ποιότητας της καύσης, σε χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα στα εν λόγω στοιχεία ή ακόμη και σε τοποθέτηση καταλυτών στις μηχανές των πλοίων (π.χ. Scrubber/SOX – SCR/ NOX). Αντιθέτως στην περίπτωση του δείκτη EEDI που υιοθετήθηκε για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου, όπως θα δούμε αργότερα, υπεισέρχονται παράγοντες που αφορούν τη μορφή της γάστρας. Κατά συνέπεια σχετίζονται άμεσα με επιλογές που γίνονται στα πρώτα στάδια της σχεδίασης της γάστρας του πλοίου, ενώ οι παράγοντες που σχετίζονται με τον μηχανολογικό εξοπλισμό του πλοίου περνάνε σε δεύτερη μοίρα. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, στον υπολογισμό του δείκτη υπεισέρχονται κατά κύριο λόγο οι διαστάσεις του πλοίου, η μορφή της γάστρας του (με χρήση των συντελεστών μορφής  $C_B, C_M, C_P, C_{WL}$ ) καθώς και η απαιτούμενη ισχύς, η οποία είναι και αυτή συνάρτηση της ταχύτητας και των διαστάσεων του πλοίου. Σε κάθε περίπτωση, ακόμη και έτσι, στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη η χρήση διαφόρων καινοτόμων συσκευών καθώς και το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και ως εκ τούτου και της παραγωγής CO<sub>2</sub> μέσω κατάλληλων διορθωτικών συντελεστών, όπως θα φανεί και στη συνέχεια.

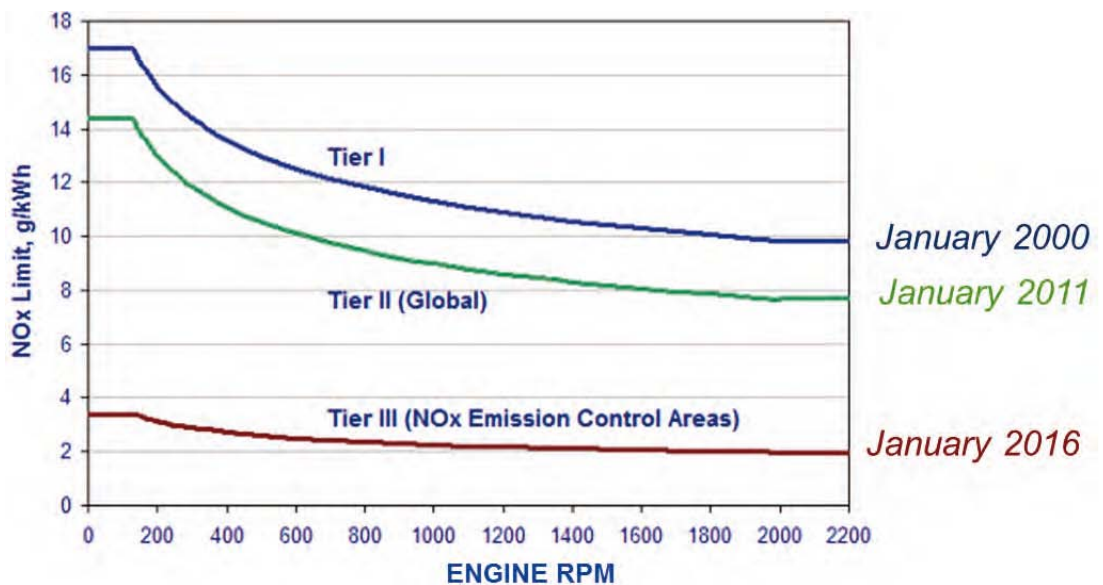


Παγκόσμιος χάρτης με τις υπάρχουσες (Βαλτική Θάλασσα, Βόρεια Θάλασσα και περιοχή ECA της Βόρειας Αμερικής) και τις ενδεχόμενες μελλοντικές ECA [13].

Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί [13], υπάρχουν δύο κομβικές ημερομηνίες σε ότι αφορά τους περιορισμούς στην περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα. Η πρώτη ήταν το έτος 2015, οπότε η απαίτηση για περιεκτικότητα σε περιοχές ECA μειώθηκε από 1% σε 0.1%, ενώ το έτος 2020 αναμένεται να απαιτηθεί μείωση της επιτρεπόμενης περιεκτικότητας, σε όλον τον υπόλοιπο πλανήτη από 3.5% σε 0.5%, με την απαίτηση για τις περιοχές ECA να παραμένει σταθερή.



Στο διάγραμμα που ακολουθεί [13] σημειώνονται οι απαιτήσεις του IMO σε ότι αφορά τα όρια των εκπομπών σε οξείδια του αζώτου NO<sub>x</sub>. Όπως φαίνεται τα όρια είναι συνάρτηση των στροφών της κύριας μηχανής και της χρονικής φάσης κατά την οποία γίνεται η εξέταση (*Tier I, Tier II, Tier III*).





Μια ενδεικτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που έχει η εφαρμογή των πρόσθετων απαιτήσεων στις περιοχές ECA προκύπτει από μια πρόβλεψη για τα αποτελέσματα που θα επιφέρει η εφαρμογή της στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής. Σύμφωνα με αυτήν περίπου πέντε εκατομμύρια άνθρωποι θα απαλλαγούν από παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος, ενώ θα υπάρχει μια μείωση στους πρόωρους θανάτους κατά 12.000 έως 31000 [13]. Επιπλέον παρά το γεγονός ότι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική ανακούφιση αφορά κατά βάση την παραθαλάσσια ζώνη, εντούτοις εκτιμάται ότι θετικά αποτελέσματα θα υπάρξουν και σε μια ευρεία έκταση της ενδοχώρας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνουν δύο σημαντικές παρατηρήσεις:

- Ο IMO δίνει την δυνατότητα σε ένα πλοίο που κινείται σε περιοχή ECA να χρησιμοποιεί καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο μεγαλύτερη από αυτή που ορίζεται για τις περιοχές ECA, εφόσον έχει εγκατεστημένο μηχανολογικό εξοπλισμό που οδηγεί σε περιορισμό της περιεκτικότητας των καυσαερίων στα επίπεδα της απαίτησης για τις περιοχές ECA. Αυτός είναι ο γενικός κανόνας, που όμως δεν μπορεί να αποκλείσει την πιθανότητα η νομοθεσία μιας χώρας να επιβάλλει πρόσθετες απαιτήσεις. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η απαίτηση της τοπικής νομοθεσίας που ισχύει στην Καλιφόρνια, και η οποία απαιτεί η περιεκτικότητα του θείου στα καύσιμα να είναι η προδιαγραφόμενη από τον IMO χωρίς την αποδοχή της λύσης των *Abatement Technologies*, κάτι που εξαναγκάζει την ναυτιλία να οδηγηθεί σε χρήση άλλων καυσίμων για τη συγκεκριμένη περιοχή.
- Σημαντική θέση στην παρούσα εργασία καταλαμβάνουν οι εκπομπές σε CO<sub>2</sub>, καθώς αυτές είναι που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του δείκτη EEDI, ο οποίος σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη μορφολογία της γάστρας του εκάστοτε πλοίου. Οι εκπομπές σε SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM δε σχετίζονται με τη μορφολογία της γάστρας αλλά με τις συνθήκες της καύσης (θερμοκρασία, πίεση), την περιεκτικότητα τους στο καύσιμο και την πιθανή χρήση *Abatement Technologies*. Παρά ταύτα η συνοπτική αναφορά σε αυτές δε σχετίζεται μόνο με την αναγκαία πληρότητα στην παρουσίαση των όσων περιέχονται στο Annex VI της MARPOL αλλά και για να γίνει σαφής η αλληλεπίδραση των διαφόρων παραγόντων μεταξύ τους, καθώς όπως θα φανεί στην πορεία η επιλογή κάθε καυσίμου επηρεάζει την εκπομπή CO<sub>2</sub> και κατά συνέπεια και τον επιτευχθέντα δείκτη EEDI. Αυτό σημαίνει ότι ενδεχόμενη προσπάθεια για μείωση των εκπομπών SO<sub>x</sub> μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ως προς τον EEDI. Κάτι που αποδεικνύει για άλλη μια φορά την ανάγκη για καλύτερο συντονισμό των δράσεων και των διατάξεων των διαφόρων επιτροπών του IMO, ώστε να μην υπάρχουν αλληλοσυγκρουόμενοι μεταξύ τους κανονισμοί.

### III.6. Δείκτης EEDI

Ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (*Energy Efficiency Design Index EEDI*) υιοθετήθηκε προκειμένου να προωθηθούν αποδοτικότερες, δηλαδή λιγότερο ρυπογόνες μηχανές και εν γένει εξοπλισμός, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος. Στην ουσία ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας ανά τόνο και ναυτικό μίλι, για πλοία διαφόρων κατηγοριών και μεγεθών [4, 12, 17, 18, 19].

Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι ο δείκτης *EEDI* αξιολογεί την επίδοση ενός πλοίου, θέτοντας ένα ανώτατο όριο, δηλαδή θα πρέπει ο Επιτευχθείς Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (*Attained Energy Efficiency Design Index*) για κάθε πλοίο να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο Απαιτούμενο Δείκτη (*Required Energy Efficiency Index*) χωρίς όμως να προδιαγράφει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί αυτό να επιτευχθεί (σχεδίαση της γάστρας, ανάπτυξη αποδοτικότερων μηχανών ή χρήση εναλλακτικών καυσίμων) [12].

Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2013 και για ένα διάστημα δύο ετών (φάση 0), τα νέα πλοία θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από μια γραμμή αναφοράς (*Reference Line*), που έχει καθοριστεί για κάθε είδος πλοίου. Το επιτρεπόμενο επίπεδο θα γίνεται αυστηρότερο κάθε 5 χρόνια. Κατά συνέπεια την φάση 0, θα ακολουθήσουν οι φάσεις 1 (1/1/2015 – 31/12/2019), 2 (1/1/2020 -31/12/2024) και 3 (1/1/2025 - ). Με τον τρόπο αυτό ο IMO σκοπεύει να ωθήσει την ναυτιλιακή αγορά σε μια αέναη προσπάθεια ανάπτυξης και υιοθέτησης καινοτόμων και περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών, ήδη από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης και της σχεδίασης ενός πλοίου [12, 18, 19].

Η υιοθέτηση του συντελεστή μείωσης θα οδηγήσει το έτος 2030, οπότε και η γραμμή αναφοράς θα λάβει την τελική τιμή της, σε μείωση της κατά 30%, ενώ υπολογίζεται να εκπέμπονται 180-240 χιλιάδες tons  $CO_2$  λιγότεροι απ' ότι εκπέμπονταν κατά τη χρονιά που υιοθετήθηκε το μέτρο (2013) [12].

#### III.6.1. Εφαρμογή Δείκτη EEDI [3,12,19]

- Ο δείκτης EEDI βρίσκει εφαρμογή σε όλα τα πλοία χωρητικότητας άνω των 400 GT, τα οποία εκτελούν διεθνή δρομολόγια.
- Η εφαρμογή αφορά κατηγορίες πλοίων όπως: Bulk Carriers, Tankers, Containerships, General Cargo, Refrigerated Cargo Carrier, Combination Carriers, Ro-Ro, Ro-Pax κλπ.
- Εξαιρούνται: Πλοία των οποίων η πρόωση γίνεται με χρήση στροβίλου, με πρόωση *diesel-electric*, καθώς και άλλων υβριδικών συστημάτων πρόωσης.
- Ο δείκτης εφαρμόζεται μόνο σε νεότευκτα πλοία. Η πιο πρόωρη ημερομηνία στην οποία ένα νεότευκτο πλοίο κλήθηκε να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις του δείκτη ήταν η 1/1/2013.

### III.6.2. Υπολογισμός Δείκτη EEDI

Από τις 2 Μαρτίου 2012 ισχύει η οδηγία MEPC 212(63), 2012 *Guidelines on the Method of Calculation of the Attained EEDI for New Ships*. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού του EEDI για νέα πλοία σύμφωνα με τον τύπο (1) [12, 17, 18, 19]:

$$\frac{\left( \prod_{j=1}^n f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} *) + \left( \prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPEI} P_{PEI(i)} - \sum_{i=1}^{nPEI} f_{PEI(i)} \cdot P_{AEPEI(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}}{f_i \cdot f_c \cdot f_j \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Για κάθε ένα πλοίο υπολογίζεται η τιμή του δείκτη EEDI. Η τιμή αυτή θεωρείται ότι αποτελεί τον *Επιτευχθέντα EEDI (Attained EEDI)*. Στη συνέχεια αυτή θα πρέπει να συγκριθεί με την απαιτούμενη από τον IMO αποδεκτή τιμή για το πλοίο αυτό (*Required EEDI*) και να μην την ξεπερνά. Η μαθηματική έκφραση της σχέσης αυτής είναι ως ακολούθως:

- $AttainedEEDI \leq RequiredEEDI$  [12]
- $Required EEDI = ReferenceLineValue = a \cdot b^{-c}$  [19]

Ο Required EEDI είναι συνάρτηση της μεταφορικής ικανότητας (*DWT*) του πλοίου και στη ουσία εκφράζει ένα όριο (*Reference Line*), πέραν του οποίου η ενεργειακή αποδοτικότητα του υπό εξέταση πλοίου παύει να θεωρείται αποδεκτή. Το όριο αυτό έχει προκύψει με στατιστική ανάλυση της αποδοτικότητας των υπαρχόντων πλοίων. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται ότι το επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας των νεότευκτων πλοίων δεν θα είναι χαμηλότερο από τα σημερινά όρια [12].

Ο τύπος που δίνει τον Required EEDI είναι  $a \cdot b^{-c}$ . Οι τιμές των συντελεστών αυτών δίνονται στον ακόλουθο πίνακα για κάθε κατηγορία πλοίου [19]

ShipType defined in regulation 2	a	b	c
Bulk Carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
Gas Carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
Container Ship	174.22	DWT of the ship	0.201
General Cargo Shp	107.48	DWT of the ship	0.216
Refrigerated Cargo Carrier	227.01	DWT of the ship	0.244

Combination Carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488
Ro-Ro Cargo Ship (Vehicle Carrier)	$(DWT / GT)^{-0.7} \cdot 780.36$ where $DWT / GT < 0.3$ 1812.03, where $DWT / GT \geq 0.3$	DWT of the ship	0.471
Ro-Ro Cargo Ship	1405.15	DWT of the ship	0.498
Ro-Ro Passenger Ship	752.16	DWT of the ship	0.381
LNG	2253.7	DWT of the ship	0.474
Cruise Passenger Ship having non conventional propulsion	170.84	GT of the ship	0.214

Στην ουσία δηλαδή, ο δείκτης EEDI αποτελεί μια έκφραση της σχέσης κόστους προς όφελος (*cost-benefit*) που επιφέρει στην κοινωνία η μεταφορά προϊόντων με πλοία. Αυτό προκύπτει από τον ίδιο τον ορισμό του δείκτη, που δίνει τη συνολική ποσότητα CO<sub>2</sub> που παράγει ένα πλοίο (κόστος) δια το γινόμενο της μεταφορικής του ικανότητας επί την ταχύτητα του (όφελος). Αποτελεί δηλαδή ένα μέτρο της ενεργειακής αποδοτικότητας του κάθε πλοίου καταγράφοντας το CO<sub>2</sub> που παράγεται για τη μεταφορά μιας ποσότητας φορτίου με το συγκεκριμένο πλοίο για ένα δοσμένο χρονικό διάστημα [3,12,19].

Πρόθεση του IMO είναι το επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας των νεότευκτων πλοίων να αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου. Ως εκ τούτου έχει υιοθετηθεί ένα σχέδιο για σταδιακή μείωση του Required EEDI, ώστε η ναυπηγική βιομηχανία να πρέπει να υιοθετεί διαρκώς πιο αποδοτικές σχεδιαστικές λύσεις. Ο τύπος που δίνει τον αναθεωρημένο Required EEDI μιας εκάστης χρονικής περιόδου δίνεται παρακάτω:

- $Required\ EEDI = (1 - X / 100) \cdot ReferenceLineValue$  [12,19]

Ο δείκτης X εκφράζει το επί τοις εκατό ποσοστό μείωσης της *Reference Line Value* σε κάθε χρονική περίοδο ανάλογα με τον τύπο του υπό μελέτη πλοίου. Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι τιμές του X.

**Πίνακας 3.4 [18]**

Τιμές δείκτη X ανά τύπο πλοίου και ανά φάση εφαρμογής

Τύπος Πλοίου	Μέγεθος	Φάση 0 (1/1/2013 – 31/12/2014)	Φάση 1 (1/1/2015 – 31/12/2019)	Φάση 2 (1/1/2020 – 31/12/2024)	Φάση 3 (1/1/2025 -)
Containership	>15000 DWT	0	10	20	30
	10000-15000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30
General Cargo Ship	>15000 DWT	0	10	15	30
	3000-15000 DWT	n/a	0-10	0-15	0-30
Refrigerated Cargo Ship	>5000 DWT	0	10	15	30
	3000-15000 DWT	n/a	0-10	0-15	0-30
Combination Carrier	>20000 DWT	0	10	20	30
	4000-20000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30
Ro-Ro Cargo Ship	>2000 DWT	n/a	0	15	30
Ro-Ro Passenger Ship	>2000 DWT	n/a	0	15	30

Σημείωση: Οι ενδείξεις του πίνακα n/a, σημαίνουν ότι στην δεδομένη φάση δεν είχε αποφασιστεί συμμόρφωση με τον δείκτη EEDI για τη συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων. Παρατηρεί κανείς δε, τη χαρακτηριστική καθυστέρηση στην εφαρμογή του δείκτη στα πλοία τύπου Ro-Ro και Ro-Pax.

Στη συνέχεια αναλύονται διεξοδικά οι όροι που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του δείκτη EEDI.

*Συντελεστής  $C_F$  [12]*

Είναι αδιάστατος συντελεστής ο οποίος χρησιμεύει στην μετατροπή της ποσότητας του καυσίμου που καταναλώνεται (σε gr) σε εκπεμπόμενο CO<sub>2</sub> (σε gr). Οι τιμές του ποικίλλουν ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι τιμές του συντελεστή  $C_F$  για τα κυριότερα ναυτιλιακά καύσιμα.

**Πίνακας 3.5**

Συντελεστές  $C_F$  για κάθε καύσιμο [17]

Τύπος Καυσίμου	Κωδικοποίηση	Περιεκτικότητα σε C	$C_F$ (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	0.8744	3.206
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.8594	3.151
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.8493	3.1144
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.8122	3.000
	Butane	0.8264	3.030
Liquefied Natural Gas (LPG)		0.7500	2.750
Methanol		0.3750	1.375
Ethanol		0.5217	1.913

*Πρόσθετο/Νεκρό Βάρος (Deadweight) [12]*

Ορίζεται να είναι η διαφορά σε tons, του εκτοπίσματος ενός πλοίου (*Displacement*) σε νερό με σχετική πυκνότητα  $1.025 \frac{kg}{m^3}$  στο έμφορτο βύθισμα θέρους, και του βάρους του άφορτου πλοίου (*Lightship*).

### Χωρητικότητα (*Capacity*) [12]:

Υπολογίζεται για κάθε είδους πλοίο ως ακολούθως:

- Για πλοία τύπου: Bulk Carriers, Tankers, LNG Carriers, Ro-Ro cargo ships, General Cargo, Refrigerated Carriers, και Combination Carriers, ως χωρητικότητα λαμβάνεται το Deadweight του εκάστοτε πλοίου.
- Για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (*containerships*) η χωρητικότητα υπολογίζεται ως το 70% του DWT του πλοίου.
- Αμιγή Ε/Γ πλοία (*Passenger Ships*). Ως χωρητικότητα λαμβάνεται η ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage), όπως αυτή ορίζεται από την Διεθνή Σύμβαση Καταμέτρησης του 1969, Annex I, regulation 3.
- *Ro-Ro passenger ships (Ro-Pax)*. Αρχικά ίσχυε ότι και για τα Ε/Γ πλοία. Τελικώς επικράτησε η χρήση του DWT ως χωρητικότητα, όπως ισχύει και για τα πλοία τύπου Ro-Ro cargo, με χρήση όμως διορθωτικού συντελεστή  $f_{CRo-Pax}$ , η σημασία του οποίου θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

### Ταχύτητα Αναφοράς $V_{ref}$ [12]

Ως ταχύτητα αναφοράς ορίζεται η ταχύτητα του πλοίου, μετρούμενη σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (κόμβοι-*knots*), σε βαθιά νερά και σε έμφορτη κατάσταση που αντιστοιχεί στη χωρητικότητα, όπως ορίστηκε παραπάνω, υποθέτοντας ήρεμο καιρό χωρίς αέρα και ρεύματα.

### Ισχύς $P$ [12, 17]

Ορίζεται η ισχύς των κύριων και των βοηθητικών μηχανών (σε KW). Σε ότι αφορά τον τύπο υπολογισμού του EEDI σημειώνονται τα εξής:

- Ο δείκτης  $ME$  αναφέρεται στην κύρια/κύριες μηχανή/μηχανές. Για κάθε κύρια μηχανή η ισχύς  $P_{ME(i)}$  λαμβάνεται ίση με το 75% της μέγιστης συνεχούς ισχύος της μηχανής  $MCR$
- Ο δείκτης  $AE$  αναφέρεται στις βοηθητικές μηχανές. Η ισχύς τους καθορίζεται από την απαιτούμενη βοηθητική ισχύ για την παροχή του μέγιστου κανονικού φορτίου που είναι απαραίτητο ώστε το πλοίο να πλεύσει στην ταχύτητα αναφοράς, όπως αυτή ορίστηκε προηγουμένως. Στην βοηθητική ισχύ περιλαμβάνεται η ισχύς των μηχανημάτων που σχετίζονται με την πρόωση του πλοίου και την ενδιαίτηση των επιβαίνόντων. Η ισχύς των

βοηθητικών μηχανών δίνεται ως συνάρτηση της ισχύος των κύριων μηχανών από τους παρακάτω τύπους:

- Για  $MCR_{ME} \leq 10000kW$ ,  $P_{AE} = \left( 0.025 \cdot \left( \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PT(i)}}{0.75} \right) \right) + 250$
- Για  $MCR_{ME} \geq 10000kW$ ,  $P_{AE} = \left( 0.025 \cdot \left( \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PT(i)}}{0.75} \right) \right)$
- Για Ro-Ro passenger πλοία είχε προταθεί ο τύπος:  $P_{AE} = 0.866 \cdot GT^{0.732}$  [16]. Παρά ταύτα στις οδηγίες του IMO δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί και κατά συνέπεια στην εργασία αυτή λαμβάνεται ο τύπος που δίνει την ισχύ των βοηθητικών μηχανών σαν συνάρτηση της ισχύος των κύριων μηχανών.
- Ο δείκτης *PTI* αναφέρεται στην περίπτωση ύπαρξης κινητήρα ισχύος (*Power Take In*), που συμβάλλει στην ενίσχυση της προωστήριας ισχύος [12].
- Ο δείκτης *PTO* αναφέρεται στην περίπτωση ύπαρξης γεννήτριας ισχύος (*Power Take Off*), που προκαλεί απώλεια της προωστήριας ισχύος [12].
- Ο δείκτης *i* εννοεί την άθροιση όλων των μηχανών μέχρι του συνολικού αριθμού τους [12].

### Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου (*SFC*) [12]

Πρόκειται για την πιστοποιημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου σε g/kWh. Όπως και στους προηγούμενους ορισμούς οι δείκτες *ME* και *AE* αναφέρονται στην κύρια και στις βοηθητικές μηχανές αντίστοιχα. Να σημειωθεί πως σε ό,τι αφορά την ειδική κατανάλωση των βοηθητικών μηχανών ( $SFC_{AE}$ ), αυτή προκύπτει ως ο μέσος όρος σταθμισμένος με βάση την ισχύ των επιμέρους βοηθητικών μηχανημάτων ( $SFC_{AE(i)}$ ).

Επιπλέον στον τύπο υπεισέρχονται μια σειρά από διορθωτικοί συντελεστές οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια [12]:



*Διορθωτικός Συντελεστής  $f_j$  [12]*

Χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθούν υπόψη σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες των πλοίων, που τα οδηγούν στο να παρουσιάζουν πλεόνασμα στην εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πλοία που σχεδιάζονται για πλεύση σε πάγο. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο συντελεστής  $f_j$  είναι η μονάδα  $f_{j_{\max}} = 1$

*Συντελεστής Διαθεσιμότητας  $f_{eff}$  [12]*

Χρησιμοποιείται προκειμένου να υπολογιστεί το ποσοστό του χρόνου που η κάθε ενδεχόμενη καινοτόμος τεχνολογία είναι διαθέσιμη κατά την διάρκεια της πλεύσης.

*Διορθωτικός Συντελεστής  $f_w$  [12]*

Χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μείωση της ταχύτητας σε χαρακτηριστικές καταστάσεις θάλασσας με συγκεκριμένο ύψος κύματος, συχνότητα κυματισμού και ταχύτητα ανέμου.

*Διορθωτικός Συντελεστής  $f_i$  [12]*

Χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί στη χωρητικότητα του σκάφους που οφείλονται σε κανονισμούς και τεχνικές ιδιαιτερότητες. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο συντελεστής  $f_i$  ισούται με τη μονάδα, δηλαδή  $f_{i_{\min}} = 1$ .

*Διορθωτικός Συντελεστής  $f_c$  [12]*

Υπαισέρχεται προκειμένου να ληφθούν υπόψη μεγάλες αποκλίσεις στην κυβική χωρητικότητα των κυτών των πλοίων. Η τιμή του συντελεστή  $f_c$  εξαρτάται από το λόγο του Deadweight προς την ολική κυβική χωρητικότητα των κυτών.

Για τον υπολογισμό του δείκτη EEDI, στην εργασία αυτή γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές [12]:

- Ο συντελεστής  $C_F$ . Θεωρείται ότι τόσο για τις κύριες μηχανές, όσο και για τις βοηθητικές λαμβάνει την τιμή 3.1144. Ισχύει δηλαδή:

$$C_F = C_{F,ME} = C_{F,AE} = 3.1144 \text{ g CO}_2/\text{g καυσίμου}$$

- Η ειδική κατανάλωση των κύριων μηχανών θεωρείται για όλα τα πλοία σταθερή και ίση με

$$SFC_{ME} = 190 \text{ g / kWh} .$$

- Αντίστοιχα η ειδική κατανάλωση των βοηθητικών μηχανών είναι σταθερή και ίση με

$$SFC_{AE} = 215 \text{ g / kWh} .$$

- Η ισχύς της κύριας μηχανής  $P_{ME}$  ισούται με το 75% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος  $MCR_{ME}$  .

## IV. Κατασκευή Πρώτης Οικογένειας Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

### IV.1. Πατρικό Πλοίο

Ως πατρικό πλοίο χρησιμοποιήθηκε το πλοίο Halkyon 100 [19]. Πρόκειται για μια σχεδίαση στην οποία συμμετείχε το *Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου* του *Ε.Μ.Π* σε συνεργασία με τα *Ναυπηγεία Ελευσίνας*, με στόχο τη σχεδίαση ενός μονόγαστρου Ε/Γ–Ο/Γ πλοίου για τις ανάγκες των τροφοδοτικών γραμμών της ελληνικής ακτοπλοΐας. Να σημειωθεί ότι το πλοίο αυτό δεν έχει εντέλει κατασκευαστεί. Τα κύρια χαρακτηριστικά του δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Μήκος Μεταξύ Καθέτων	LBP [m]	89.00
Μήκος Ολικό	LOA [m]	99.95
Πλάτος Ολικό	B [m]	16.40
Βύθισμα Σχεδίασης	T [m]	4.00
Κοίλο μέχρι το Κατάστρωμα Οχημάτων	D <sub>BD</sub> [m]	6.30
Κοίλο μέχρι το Κατάστρωμα Αντοχής	D <sub>SD</sub> [m]	11.10
Μεταφορική Ικανότητα	DWT [t]	965.00
Ταχύτητα Υπηρεσίας	VS [kn]	19.50
Εγκατεστημένη Ισχύς Πρόωσης	P <sub>P</sub> [kW]	7360
Αριθμός Επιβατών σε Κλίνες	P <sub>B</sub>	34
Αριθμός Επιβατών Καταστρώματος Χειμώνα	P <sub>CD</sub>	588
Αριθμός Επιβατών	P <sub>OD</sub>	178

Ανοικτού Καταστρώματος		
Αριθμός Οχημάτων	153 I.X.E. ή 19 φορτηγά + 3 I.X.E	

#### IV.2. Διαδικασία Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

Αρχικά προχωράμε στην κατασκευή παραμετρικών μοντέλων που προέρχονται από γραμμική παραμόρφωση του δοθέντος πλοίου. Να σημειωθεί ότι προχωρούμε απλώς σε μεταβολές των γραμμικών διαστάσεων του πλοίου (*linear transformation*), ενώ οι συντελεστές μορφής προκύπτουν από την επεξεργασία του προγράμματος *Nara*. Στα Παραρτήματα 1 και 2 δίνονται αναλυτικά πληροφορίες για μια σειρά από παραδοχές που ελήφθησαν από άλλες εργασίες.

Σημειώνεται πως το *DWT* δε λαμβάνεται σταθερό, αλλά θεωρείται ότι έχει γραμμική εξάρτηση από τον όγκο εκτοπίσματος σύμφωνα με [12]. Διατηρείται όμως σταθερός ο λόγος  $DWT / \Delta$  σε όλες τις σχεδιάσεις.

##### IV.2.1. Σύντομη Αναφορά στο Πρόγραμμα Nara [23]

Το πρόγραμμα *Nara* υποδιαιρείται σε μια σειρά υποσυστημάτων τα οποία πραγματοποιούν τις κύριες λειτουργίες του, δηλαδή την εκτέλεση υπολογισμών που αφορούν την άθικτη ευστάθεια του πλοίου, την ευστάθεια κατόπιν βλάβης, υπολογισμούς αντοχής, καθώς και υπολογισμούς που σχετίζονται με την αντίσταση του πλοίου.

Προκειμένου να μπορούν οι υπολογισμοί αυτοί να εκτελεστούν και να ληφθούν τα ζητούμενα αποτελέσματα, είναι αναγκαίο ο χρήστης να εισάγει μια σειρά από απαραίτητα στοιχεία, όπως είναι οι κύριες διαστάσεις, η μορφολογία της γάστρας του πλοίου, η εσωτερική του διαμέριση, απαραίτητη για τον υπολογισμό της ευστάθειας κατόπιν βλάβης.

Υποσυστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης ήταν τα ακόλουθα:

- Reference System: Εδώ εισάγονται τα βασικά στοιχεία του αρχικού πλοίου (πλοίο αναφοράς)
- Υποσύστημα Geometry

Στο υποσύστημα Definition (DEF) δημιουργούνται οι γραμμές του πλοίου και κατά συνέπεια η γάστρα του.

Η γάστρα του εξεταζόμενου πλοίου δημιουργείται στο υποσύστημα *Drawing (DR)*

Η διαμερισματοποίηση του πλοίου πραγματοποιείται στο υποσύστημα *Ship Model (SM)*

- Υποσύστημα Hydrostatics  
Υπολογισμός υδροστατικών στοιχείων για το υπό εξέταση πλοίο.
- Υποσύστημα Loading Conditions  
Ορίζονται οι καταστάσεις φόρτωσης του εξεταζόμενου πλοίου, κάτι που είναι κρίσιμο για τους υπολογισμούς ευστάθειας.
- Υποσύστημα Damage Stability  
Το υποσύστημα αυτό αξιολογεί την ευστάθεια κατόπιν βλάβης του εξεταζόμενου πλοίου. Οι υπολογισμοί γίνονται για συνδυασμούς κατακλυσμένων διαμερισμάτων.

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στην εργασία προχωράμε σε τροποποιήσεις στις κύριες διαστάσεις του σκάφους. Οι τροποποιήσεις αφορούν και τις τρεις διαστάσεις (μήκος, πλάτος, βύθισμα). Για κάθε μια από αυτές κινούμαστε σε ένα εύρος της τάξης του  $\pm 10\%$ . Αναλυτικά υπολογίζουμε:

- $L_{initial}=89m$ .
- $10\% * 89 = 8.9m$
- $L_{min} = 80.1m$
- $L_{max} = 97.7m$
- Βήμα  $h = \frac{L_{max} - L_{min}}{5} = \frac{97.7 - 80.1}{5} = 3.52m$
- Οι τιμές που λαμβάνονται είναι:  $L = [80.1, 83.62, 87.14, 90.66, 94.18, 97.7]$

Χρησιμοποιώντας αντίστοιχους συλλογισμούς και για τις άλλες δύο διαστάσεις λαμβάνουμε:

- $B = [14.76, 15.42, 16.07, 16.73, 17.38, 18.04]$
- $T = [3.6, 3.72, 3.88, 4.04, 4.2, 4.4]$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τους λόγους  $L/B$  και  $B/T$ . Αρχικά οι υπολογισμοί των λόγων αυτών γίνονται ξεχωριστά βοηθώντας μας να αποκλείσουμε τις τιμές που βρίσκονται εκτός των ορίων της βιβλιογραφίας.

Ως όρια λαμβάνονται :  $L/B = 5.8-6.8$  και  $B/T = 3.3-3.9$  αντίστοιχα.

Αρχικά επιλέγουμε να κρατήσουμε σταθερή μια τιμή του πλάτους και στη συνέχεια διαιρούμε με αυτήν όλες τις δυνατές τιμές του μήκους. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα. Οι τιμές του λόγου που βρίσκονται μέσα στα όρια της βιβλιογραφίας [20] είναι σημειωμένες με μπλε χρώμα.

**Πίνακας 4.1**  
Λόγοι L/B Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

B	14.76	15.42	16.07	16.73	17.38	18.04
L	L/B	L/B	L/B	L/B	L/B	L/B
80.1	5.43	5.19	4.98	4.79	4.61	4.44
83.62	5.67	5.42	5.20	5.00	4.81	4.64
87.14	5.90	5.65	5.42	5.21	5.01	4.83
90.66	6.14	5.88	5.64	5.42	5.22	5.03
94.18	6.38	6.11	5.86	5.63	5.42	5.22
97.7	6.62	6.34	6.08	5.84	5.62	5.42

Αντίστοιχα για τον υπολογισμό του λόγου B/T κατασκευάζουμε τον ακόλουθο πίνακα και σημειώνουμε με πράσινο χρώμα τις τιμές που βρίσκονται εντός των ορίων της βιβλιογραφίας.

**Πίνακας 4.2**  
Λόγοι B/T Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

T	3.6	3.72	3.88	4.04	4.2	4.4
B	B/T	B/T	B/T	B/T	B/T	B/T
14.76	4.10	3.97	3.80	3.65	3.51	3.35
15.42	4.28	4.15	3.97	3.82	3.67	3.50
16.07	4.46	4.32	4.14	3.98	3.83	3.65
16.73	4.65	4.50	4.31	4.14	3.98	3.80
17.38	4.83	4.67	4.48	4.30	4.14	3.95
18.04	5.01	4.85	4.65	4.47	4.30	4.10

Τελικώς οι σχεδιάσεις που βρίσκονται εντός ορίων, που προκύπτουν από την διαδικασία αυτή παρατίθενται στον επόμενο πίνακα, όπου κατηγοριοποιούνται με βάση το μήκος.

**Πίνακας 4.3**  
Συνολική Παρουσίαση Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

<b>α/α</b>	<b>L(m)</b>	<b>B(m)</b>	<b>T(m)</b>
1	<b>87.14</b>	<b>14.76</b>	3.88
2			4.04
3			4.2
4			4.4
5	<b>90.66</b>	<b>14.76</b>	3.88
6			4.04
7			4.2
8			4.4
9		<b>15.42</b>	4.04
10			4.2
11	4.4		
12	<b>94.18</b>	<b>14.76</b>	3.88
13			4.04
14			4.2
15			4.4
16		<b>15.42</b>	4.04
17			4.2
18			4.4
19			<b>16.07</b>

20			4.4
21	<b>97.7</b>	<b>14.76</b>	3.88
22			4.04
23			4.2
24			4.4
25			4.04
26		<b>15.42</b>	4.2
27			4.4
28			4.2
29		<b>16.07</b>	4.4
30			4.4
		<b>16.73</b>	4.4

#### IV.3. Υπολογισμός Παραμέτρων Δείκτη EEDI [12,16,17]

Υπολογίζουμε άλλα δύο στοιχεία που θα χρειαστούν στη συνέχεια:

- Αριθμός Froude, ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$F_{nL} = \frac{0.5144 \cdot V_{ref}}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}}$$

όπου  $V_{ref}$  είναι η ταχύτητα αναφοράς του πλοίου (σε kn) και  $g$ , η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $=9.81 \frac{m}{s}$ ).

- Όγκος εκτοπίσματος του πλοίου  $\nabla$ : Υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\nabla = C_B \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T$$

όπου  $C_B$  είναι οι συντελεστές γάστρας που έχουν προκύψει από το πρόγραμμα *Napa*.

Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά της γάστρας των πλοίων περιγράφονται από τους ακόλουθους αδιάστατους συντελεστές.



**Πίνακας 4.4**  
Μορφολογία της γάστρας

$a/a$	$L/B$	$B/T$	$L/\nabla^{\frac{1}{3}}$	$\Delta$	$DWT$	$C_B$	$C_M$	$C_P$	$C_{WP}$
1	5.90	3.80	6.13	2944.39	824.84	0.5454	0.949	0.5748	0.8071
2	5.90	3.65	6.05	3062.74	858.85	0.5570	0.951	0.5858	0.8646
3	5.90	3.51	5.97	3187.52	892.87	0.5690	0.953	0.5973	0.8776
4	5.90	3.35	5.88	3336.14	935.38	0.5833	0.955	0.6109	0.8904
5	6.14	3.80	6.29	3069.16	858.16	0.5541	0.950	0.5830	0.8608
6	6.14	3.65	6.21	3189.31	893.55	0.5665	0.952	0.5949	0.8751
7	6.14	3.51	6.13	3315.81	928.93	0.5785	0.954	0.6063	0.8862
8	6.14	3.35	6.03	3483.53	973.17	0.5928	0.956	0.6199	0.8980
9	5.88	3.82	6.12	3332.09	933.50	0.5541	0.950	0.5831	0.8608
10	5.88	3.67	6.04	3466.25	970.47	0.5661	0.952	0.5945	0.8746
11	5.88	3.50	5.95	3625.94	1016.69	0.5804	0.954	0.6081	0.8878
12	6.38	3.80	6.45	3190.96	891.48	0.5541	0.950	0.5830	0.8608
13	6.38	3.65	6.37	3312.70	928.24	0.5665	0.952	0.5949	0.8751
14	6.38	3.51	6.29	3440.71	965.00	0.5785	0.954	0.6030	0.8862
15	6.38	3.35	6.19	3610.17	1010.95	0.5928	0.956	0.6199	0.8980
16	6.11	3.82	6.27	3473.74	969.75	0.5541	0.950	0.5831	0.8608
17	6.11	3.67	6.19	3610.17	1008.15	0.5661	0.952	0.5945	0.8746
18	6.11	3.50	6.10	3772.34	1056.16	0.5804	0.954	0.6081	0.8878
19	5.86	3.83	6.11	3753.84	1050.65	0.5541	0.950	0.5831	0.8608
20	5.86	3.65	6.02	3924.74	1100.68	0.5685	0.953	0.5968	0.8770
21	6.62	3.80	6.61	3309.81	924.80	0.5541	0.950	0.5830	0.8607
22	6.62	3.65	6.52	3448.77	962.93	0.5665	0.952	0.5949	0.8751

23	6.62	3.51	6.44	3578.90	1001.00	0.5785	0.954	0.6063	0.8862
24	6.62	3.35	6.34	3750.94	1048.74	0.5928	0.956	0.6199	0.8980
25	6.34	3.82	6.43	3595.63	1006.00	0.5541	0.950	0.5831	0.8608
26	6.34	3.67	6.35	3733.24	1045.83	0.5661	0.952	0.5945	0.8746
27	6.34	3.50	6.25	3915.32	1095.63	0.5804	0.954	0.6081	0.8878
28	6.08	3.83	6.26	3896.59	1089.92	0.5541	0.950	0.5833	0.8608
29	6.08	3.65	6.16	4089.45	1141.82	0.5685	0.953	0.5967	0.8770
30	5.84	3.80	6.08	4253.01	1188.71	0.5541	0.950	0.5830	0.8608

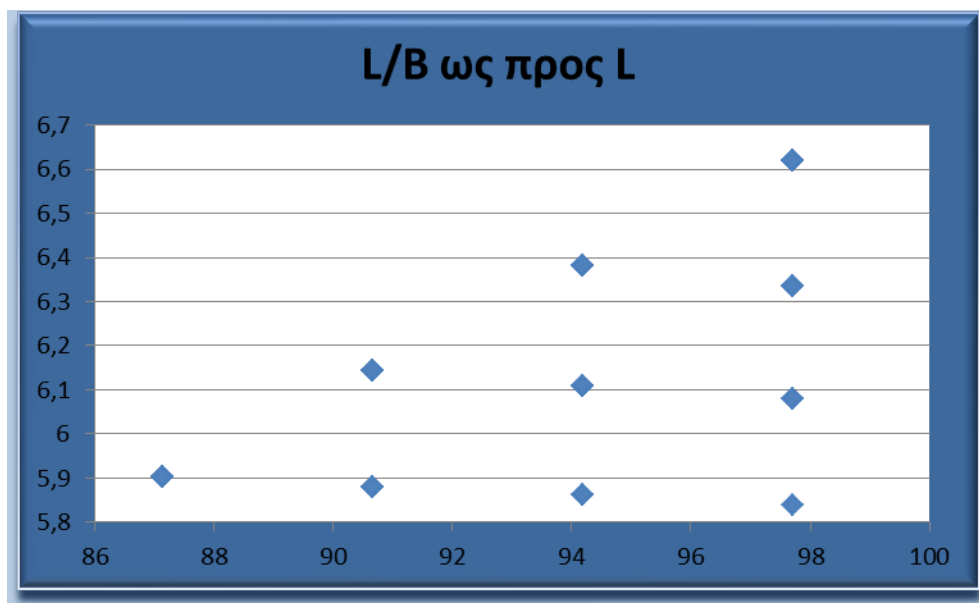
Σημειώνεται η ακόλουθη παραδοχή που έγινε για τους παραπάνω υπολογισμούς:

- Το DWT θεωρήθηκε ότι είναι γραμμικά ανάλογο του όγκου εκτοπίσματος. Διατηρείται δηλαδή σε όλα τα πλοία ο λόγος DWT/Δ που υπήρχε και στο πατρικό πλοίο [12, σελ.30 Παραδοχή 3].

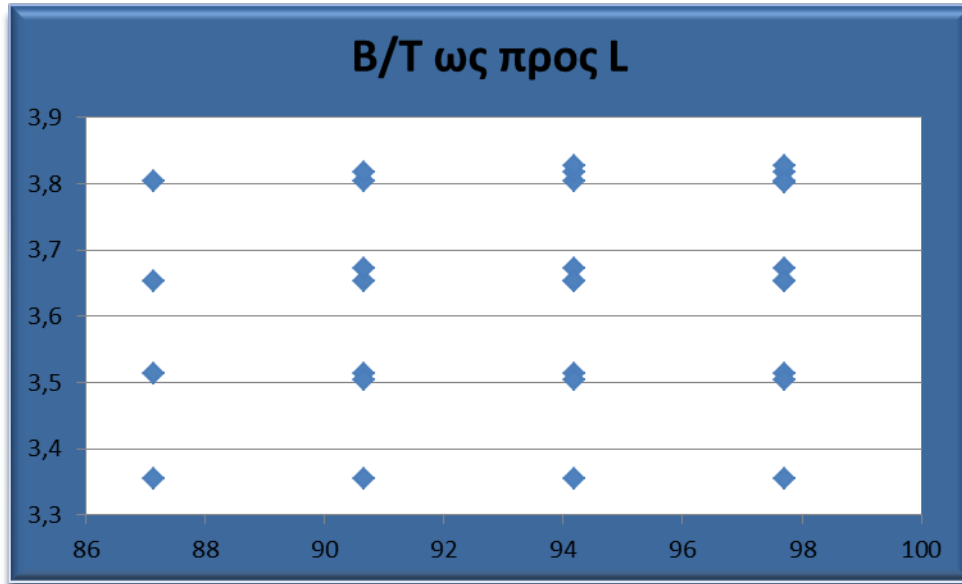
Ακολουθεί μια σειρά από διαγράμματα που παρουσιάζουν τη σχέση των μεγεθών που δίνονται στον πίνακα που προηγήθηκε με τα χαρακτηριστικά της γάστρας.

**Διάγραμμα 4.1**

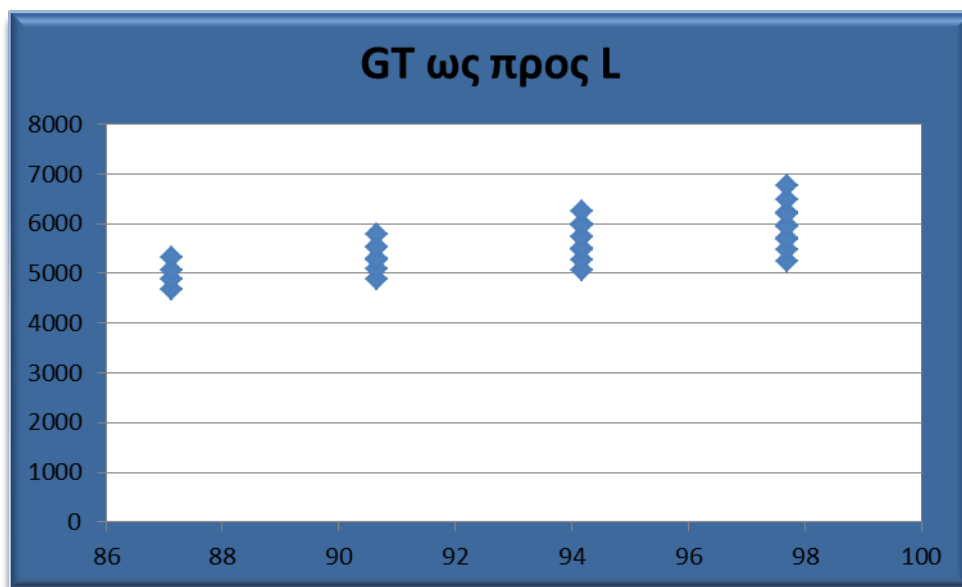
L/B ως προς L



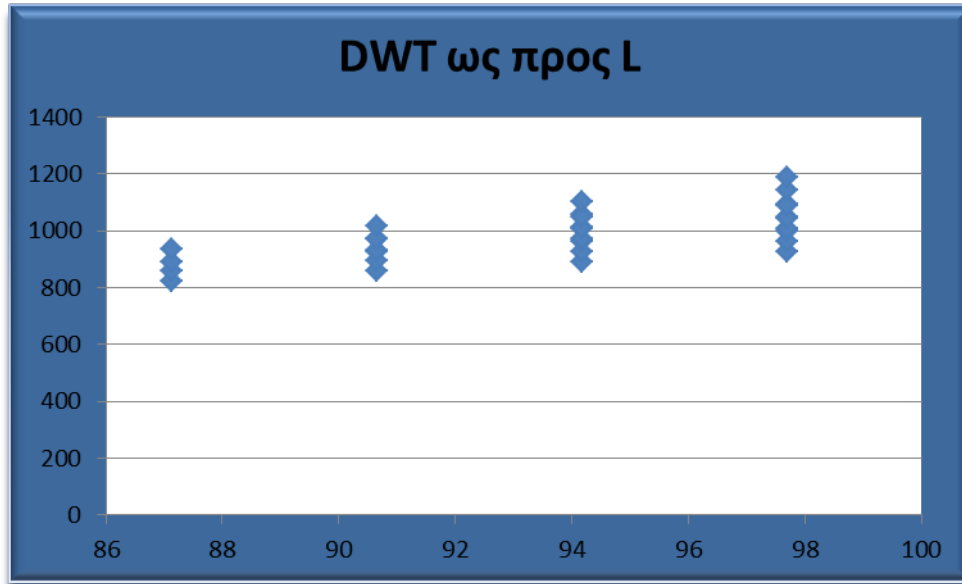
**Διάγραμμα 4.2**  
B/T ως προς L



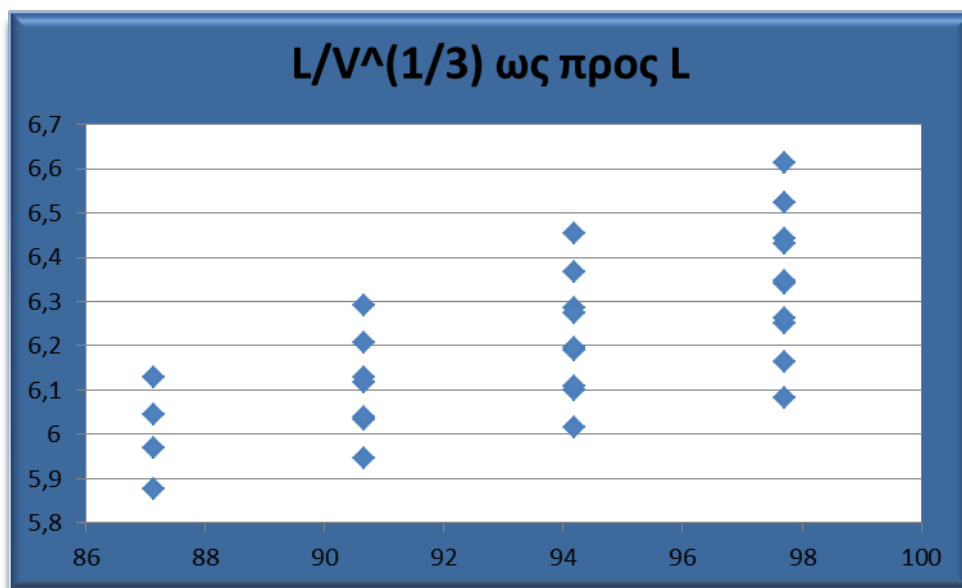
**Διάγραμμα 4.3**  
GT ως προς L



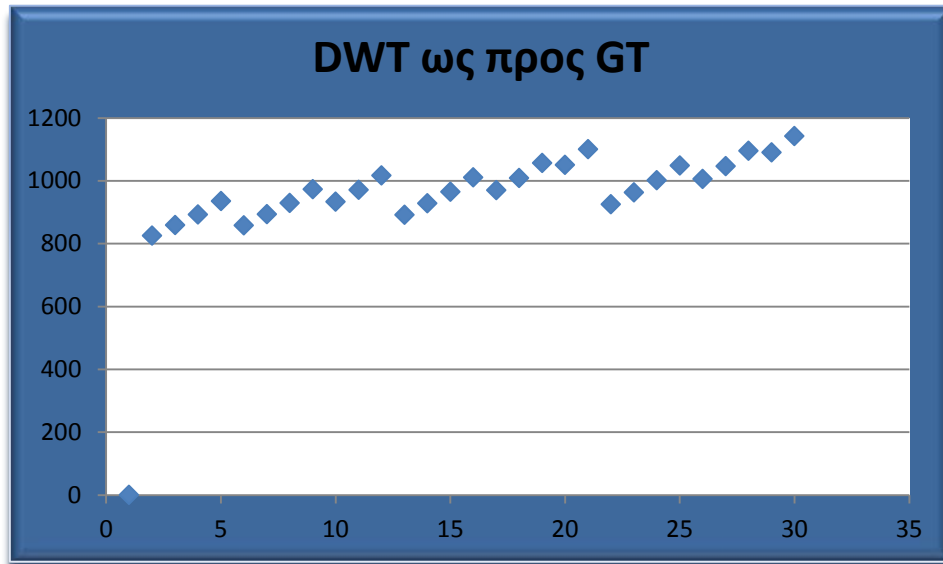
**Διάγραμμα 4.4**  
DWT ως προς L



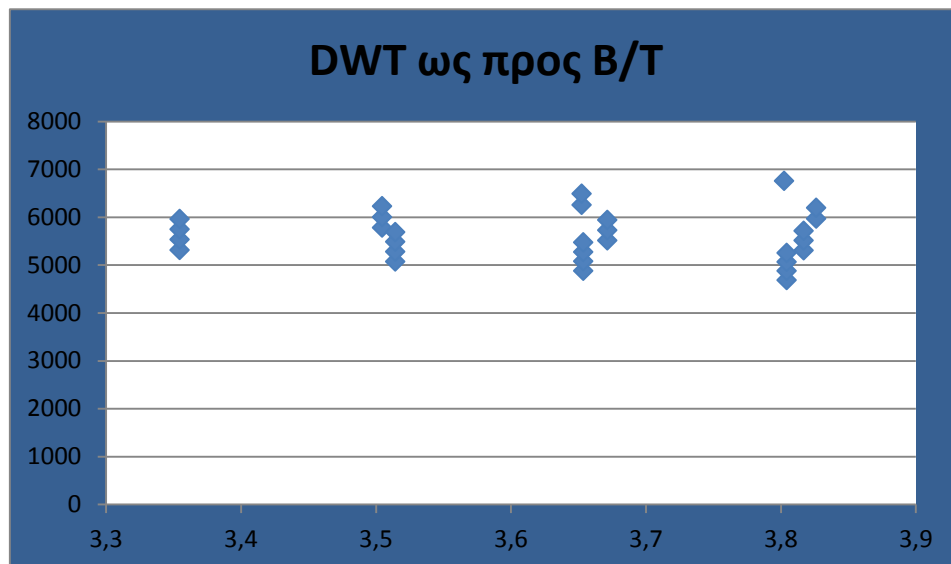
**Διάγραμμα 4.5**  
 $L/\nabla^{1/3}$  ως προς L



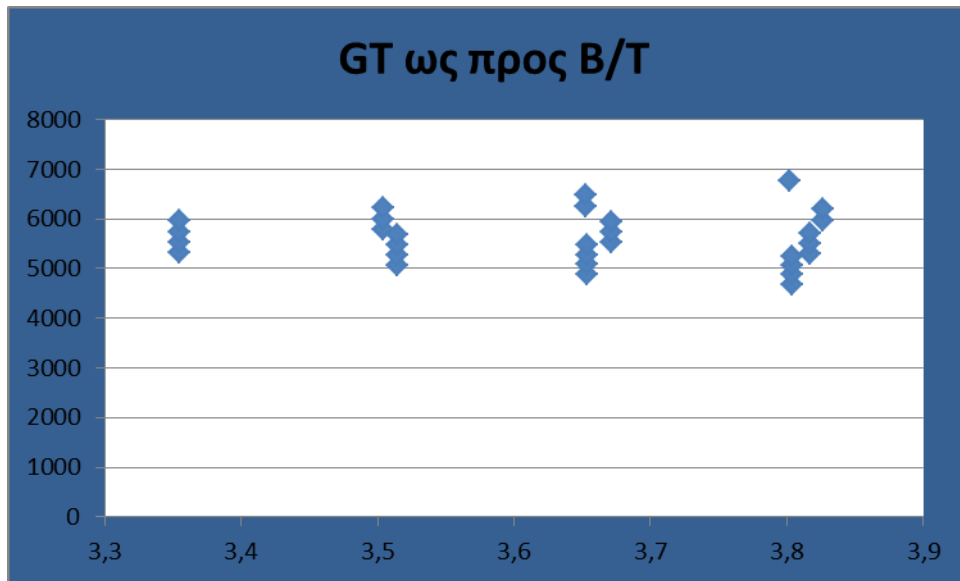
**Διάγραμμα 4.6**  
DWT ως προς GT



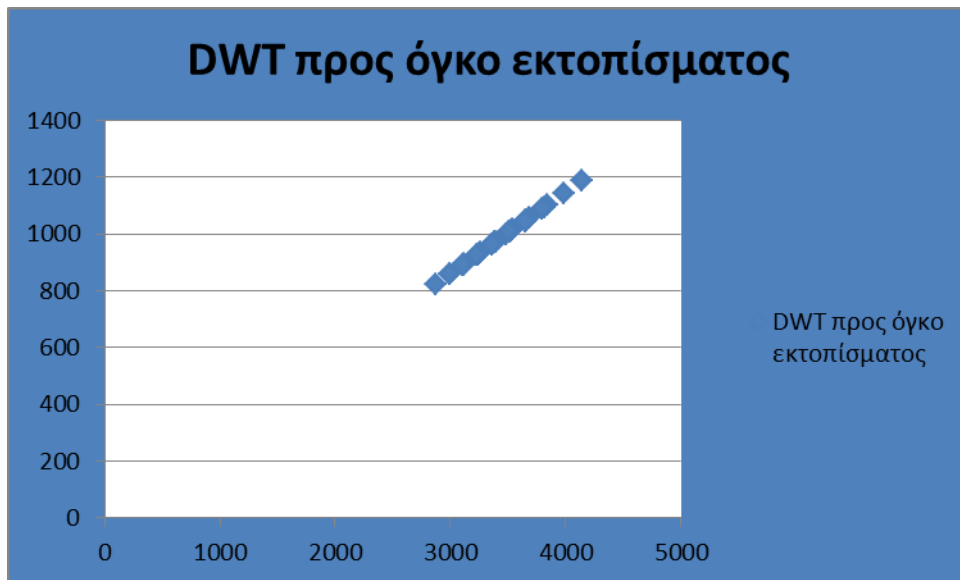
**Διάγραμμα 4.7**  
DWT ως προς B/T



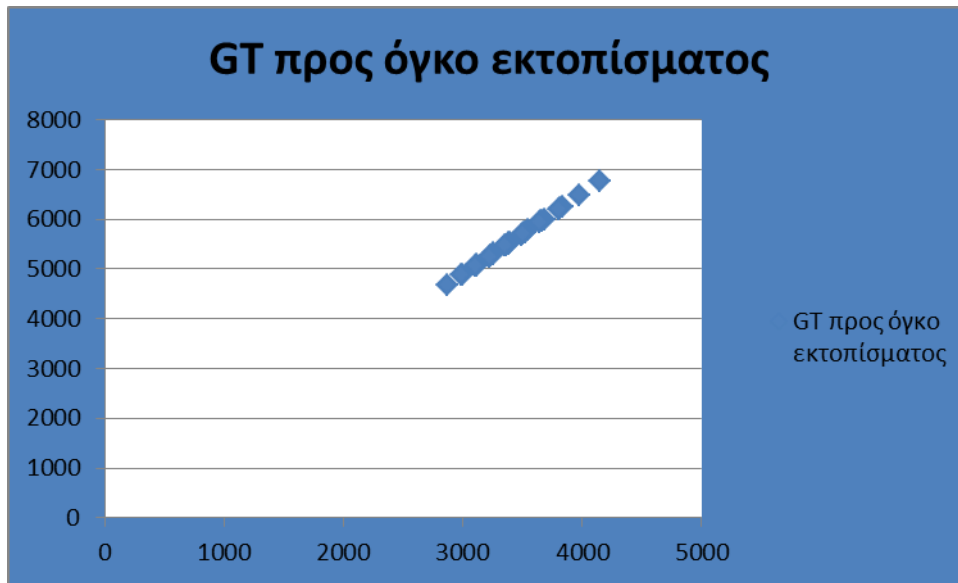
**Διάγραμμα 4.8**  
GT ως προς B/T



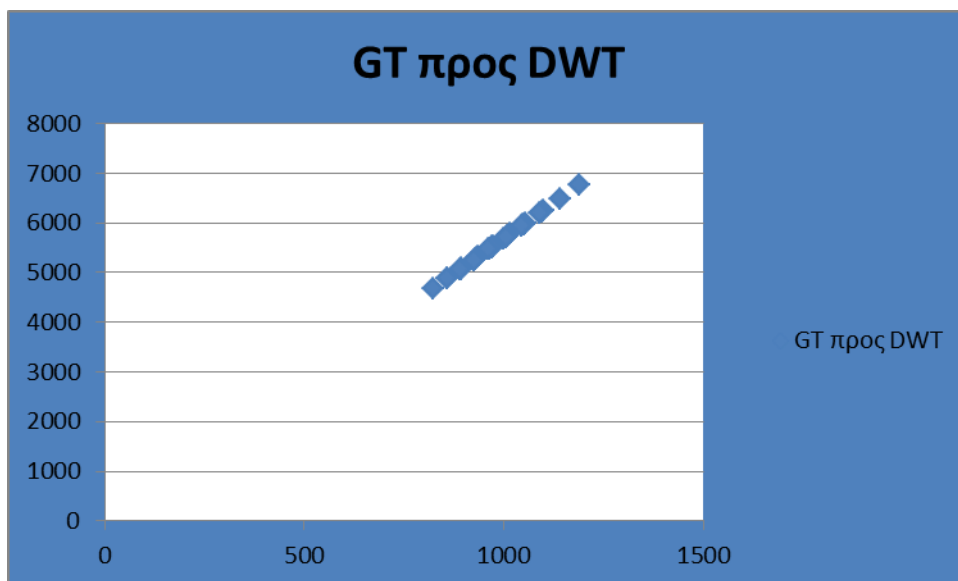
**Διάγραμμα 4.9**  
DWT προς Όγκο Εκτοπίσματος



**Διάγραμμα 4.10**  
GT προς Όγκο Εκτοπίσματος



**Διάγραμμα 4.11**  
GT προς DWT



#### IV.4 Υπολογισμός Αντίστασης

Στη συνέχεια, με χρήση της μεθόδου Holtrop-Mennen υπολογίζεται η αντίσταση της γάστρας εκάστης σχεδίασης. Τα αποτελέσματα δίνονται αναλυτικά στον επόμενο πίνακα, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των συνιστωσών της αντίστασης.

## Πίνακας 4.5

## Συνιστώσες Αντίστασης και Συνολική Αντίσταση

$a/a$	$F_n$	$(1+k_1)$	$R_F (kNt)$	$R_{APP} (kNt)$	$R_W (kNt)$	$R_B (kNt)$	$R_{TR} (kNt)$	$R_A (kNt)$	$R_{TOT} (kNt)$
<b>1</b>	0.34	1.18	112.53	27.00	120.29	1.84	0	38.75	295.49
<b>2</b>	0.34	1.18	118.44	28.43	126.52	1.77	0	40.80	320.06
<b>3</b>	0.34	1.19	121.85	29.24	133.09	1.71	0	41.95	338.11
<b>4</b>	0.34	1.19	125.91	30.22	141.42	1.63	0	43.35	362.22
<b>5</b>	0.33	1.17	120.25	28.86	116.71	1.84	0	41.03	306.40
<b>6</b>	0.33	1.18	123.87	29.73	123.83	1.77	0	42.26	323.81
<b>7</b>	0.34	1.18	127.3	30.55	131.13	1.71	0	43.43	342.1
<b>8</b>	0.34	1.19	131.47	31.55	140.51	1.63	0	44.85	366.75
<b>9</b>	0.34	1.18	125.55	30.13	128.55	2.07	0	42.83	328.10
<b>10</b>	0.34	1.19	129.18	31.00	136.2	2.00	0	44.07	346.82
<b>11</b>	0.34	1.19	133.46	32.03	146.01	1.92	0	45.53	371.12
<b>12</b>	0.33	1.17	124.27	29.82	110.38	1.84	0	42.00	304.58
<b>13</b>	0.33	1.17	128.00	30.72	117.63	1.77	0	43.26	321.6
<b>14</b>	0.33	1.17	131.65	31.60	125.38	1.71	0	44.5	334.42
<b>15</b>	0.33	1.18	135.85	32.60	134.76	1.63	0	45.92	363.42
<b>16</b>	0.33	1.18	129.73	31.14	122.01	2.07	0	43.85	325.79
<b>17</b>	0.33	1.18	133.49	32.04	129.84	2.00	0	45.12	344.10
<b>18</b>	0.33	1.18	137.91	33.10	139.94	1.92	0	46.61	367.78
<b>19</b>	0.33	1.18	135.15	32.44	133.94	2.31	0	45.68	347.50
<b>20</b>	0.33	1.18	139.84	33.56	144.26	2.23	0	47.26	371.39
<b>21</b>	0.32	1.16	128.25	30.78	105.01	1.84	0	42.96	304.09

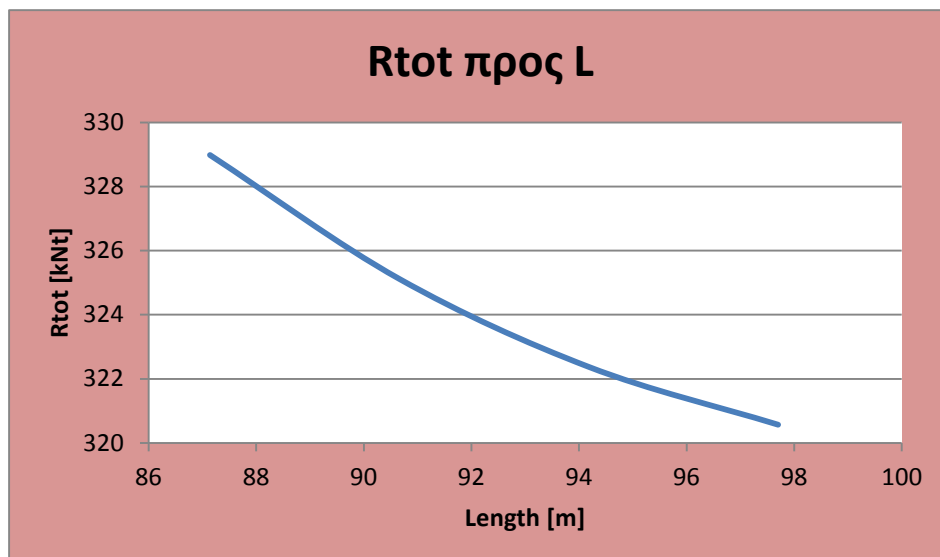


<b>22</b>	0.32	1.17	132.12	31.71	112.37	1.77	0	44.24	320.82
<b>23</b>	0.32	1.17	135.78	32.59	119.99	1.71	0	45.46	338.64
<b>24</b>	0.32	1.17	140.22	33.65	129.83	1.63	0	46.95	361.67
<b>25</b>	0.32	1.17	133.9	32.14	116.48	2.07	0	44.83	324.95
<b>26</b>	0.32	1.17	137.77	33.07	124.45	2.00	0	46.13	342.94
<b>27</b>	0.32	1.18	142.34	34.16	134.77	1.92	0	47.66	366.04
<b>28</b>	0.32	1.18	139.49	33.48	128.30	2.31	0	46.71	346.40
<b>29</b>	0.32	1.18	144.33	34.64	138.86	2.23	0	48.32	369.81
<b>30</b>	0.32	1.18	145.63	34.95	140.84	2.55	0	48.76	370.01

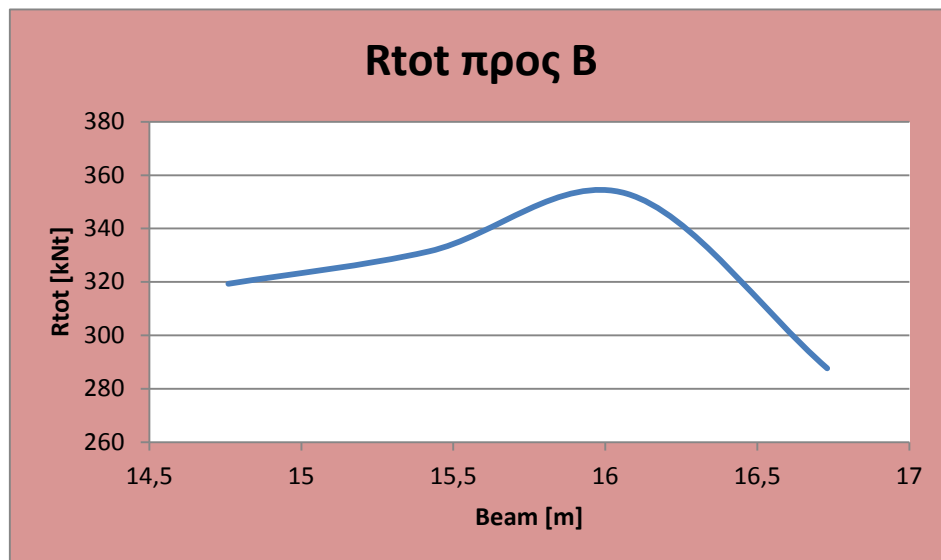
Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα που συσχετίζουν την αντίσταση με τις διαστάσεις και τη μορφή της γάστρας.

**Διάγραμμα 4.12**

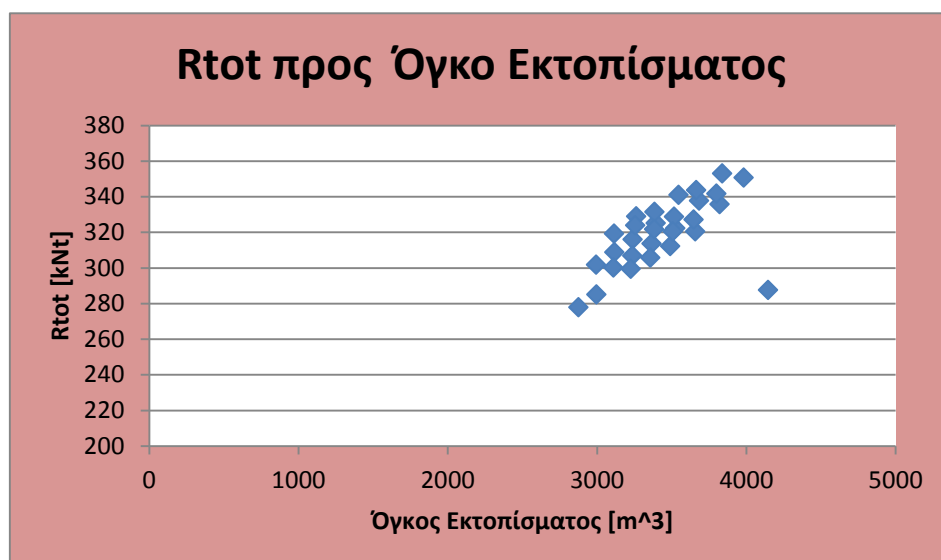
$R_{tot}$  προς L



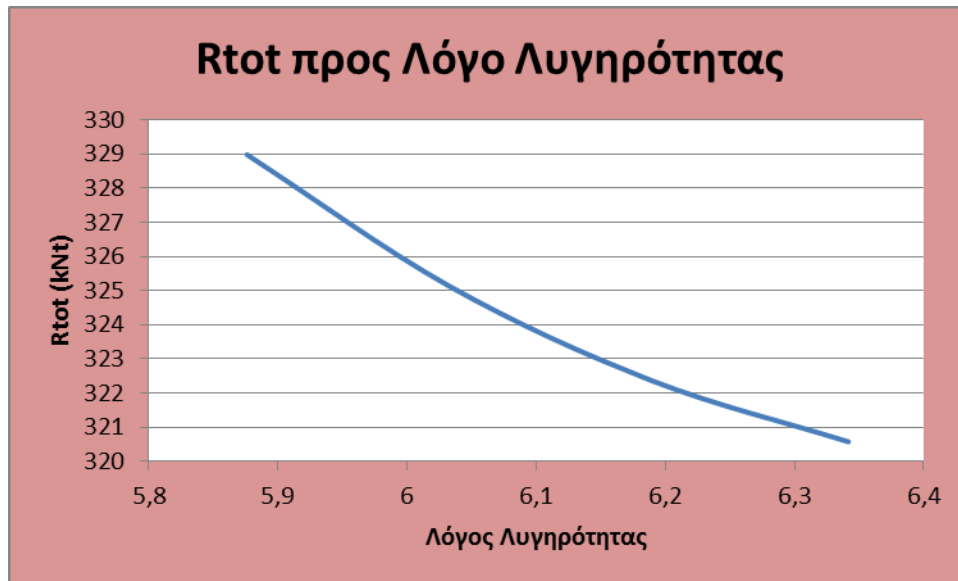
**Διάγραμμα 4.13**  
 $R_{tot}$  προς Β



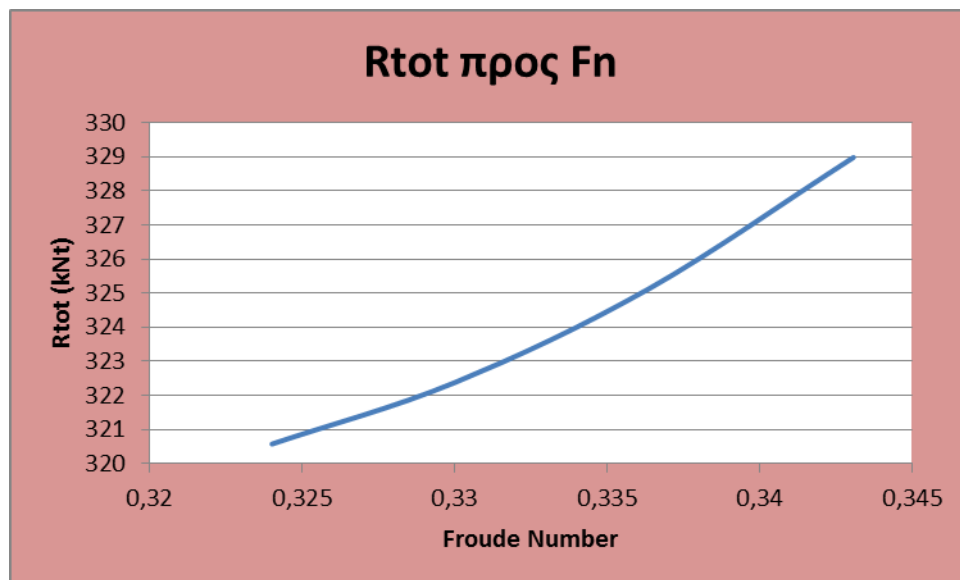
**Διάγραμμα 4.14**  
 $R_{tot}$  προς Όγκο Εκτοπίσματος



**Διάγραμμα 4.15**  
 $R_{tot}$  προς Λόγο Λυγηρότητας



**Διάγραμμα 4.16**  
 $R_{tot}$  προς Fn



#### IV.5. Υπολογισμός Ισχύος Πρόωσης

Με χρήση της μεθόδου Holtrop-Mennen πραγματοποιούνται υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της ισχύος πρόωσης, η οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του δείκτη EEDI. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.6**  
Συντελεστές και Ισχύς Πρόωσης

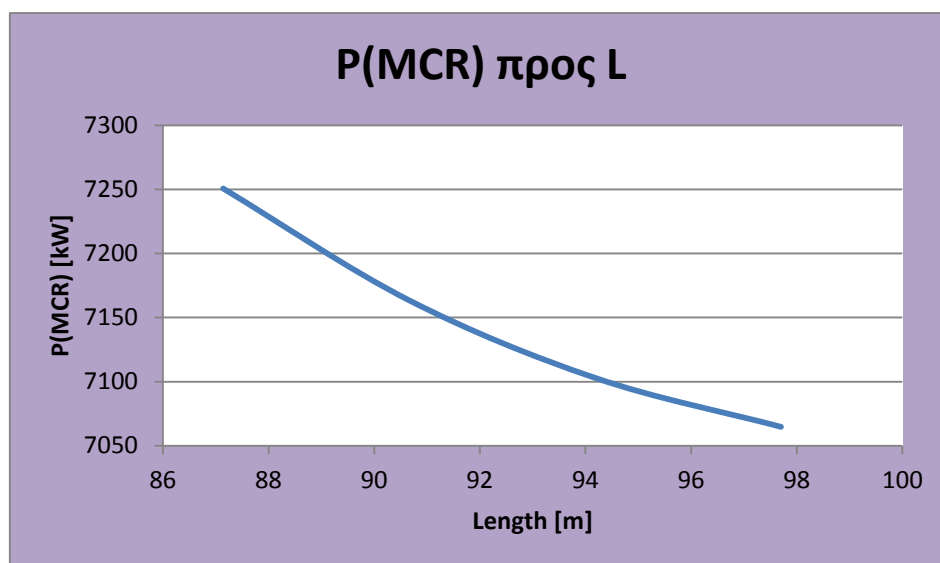
$a/a$	$t$	$w$	$n_R$	$n_S$	$n_O$	$A_E / A_O$	$P_{(MCR)} (KW)$
1	0.1148	0.1040	0.9885	0.96	0.7074	0.8135	6180.40
2	0.1133	0.1022	0.9885	0.96	0.7117	0.7650	6301.39
3	0.1119	0.1004	0.9885	0.96	0.7096	0.7839	7082.70
4	0.1101	0.0982	0.9885	0.96	0.7144	0.7306	7250.70
5	0.1148	0.1038	0.9879	0.96	0.7014	0.8790	6773.60
6	0.1133	0.1020	0.9879	0.96	0.7061	0.8248	6888.26
7	0.1119	0.1002	0.9879	0.96	0.7104	0.7763	7007.81
8	0.1101	0.0981	0.9879	0.96	0.7153	0.7226	7163.51
9	0.1149	0.1040	0.9879	0.96	0.7021	0.8642	7263.60
10	0.1135	0.1023	0.9879	0.96	0.7066	0.8132	7387.01
11	0.1118	0.1002	0.9879	0.96	0.7116	0.7568	7548.01
12	0.1148	0.1036	0.9872	0.96	0.7019	0.8748	6740.68
13	0.1133	0.1018	0.9872	0.96	0.7066	0.8200	6846.91
14	0.1119	0.1000	0.9872	0.96	0.7109	0.7711	6957.99
15	0.1101	0.0979	0.9872	0.96	0.7158	0.7170	7103.01
16	0.1149	0.1038	0.9872	0.96	0.7027	0.8587	7214.80
17	0.1135	0.1021	0.9872	0.96	0.7071	0.8073	7329.07
18	0.1118	0.1000	0.9872	0.96	0.7122	0.7503	7478.57
19	0.1150	0.1040	0.9872	0.96	0.7035	0.8428	7696.94

<b>20</b>	0.1133	0.1019	0,9872	0.96	0.7088	0.7832	7850.58
<b>21</b>	0.1148	0.1034	0,9867	0.96	0.7021	0.8727	6726.63
<b>22</b>	0.1133	0.1016	0,9867	0.96	0.7069	0.8173	6825.45
<b>23</b>	0.1119	0.0999	0,9867	0.96	0.7113	0.7679	6929.10
<b>24</b>	0.1101	0.0977	0,9867	0.96	0.7162	0.7132	7064.80
<b>25</b>	0.1149	0.1037	0,9867	0.96	0.7030	0.8554	7187.11
<b>26</b>	0.1135	0.1019	0,9867	0.96	0.7075	0.8034	7293.36
<b>27</b>	0.1118	0.0998	0,9867	0.96	0.7127	0.7460	7432.79
<b>28</b>	0.1150	0.1038	0,9867	0.96	0.7039	0.8384	7655.01
<b>29</b>	0.1133	0.1018	0,9867	0.96	0.7093	0.7782	7797.87
<b>30</b>	0.1148	0.0994	0,9867	0.96	0.7226	0.6483	6306.06

Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα που συσχετίζουν την απαιτούμενη ισχύ με τις διαστάσεις και τη μορφή της γάστρας.

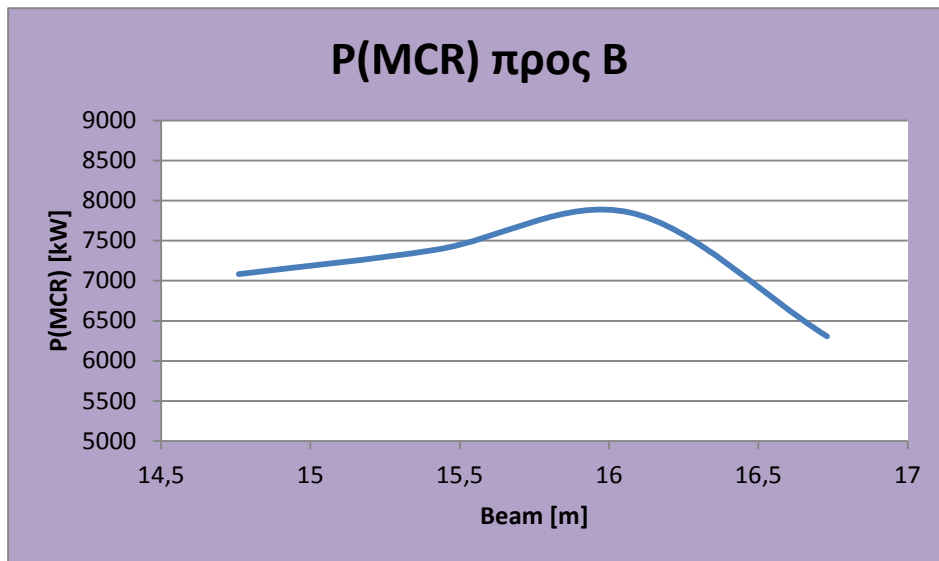
**Διάγραμμα 4.17**

$P_{MCR}$  προς L



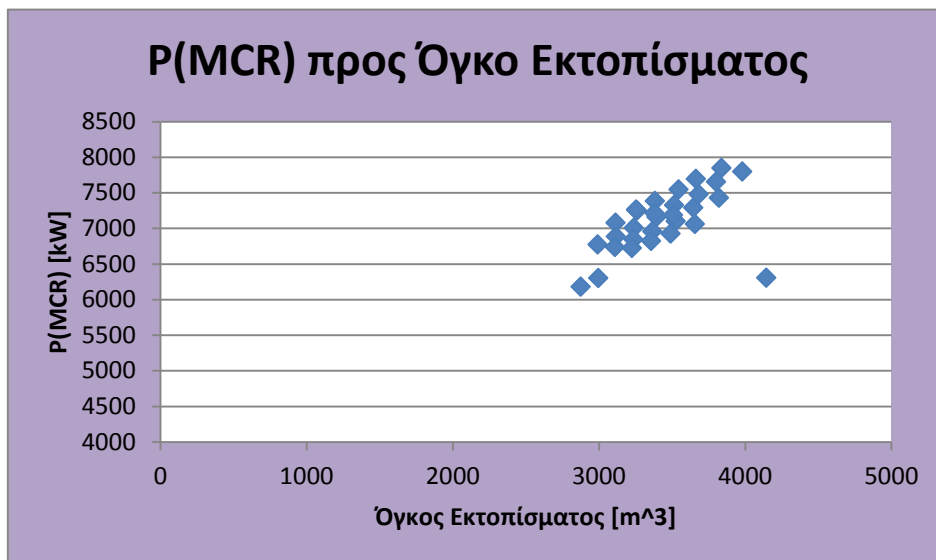
**Διάγραμμα 4.18**

$P_{MCR}$  προς Β



**Διάγραμμα 4.19**

$P_{MCR}$  προς Όγκο Εκτοπίσματος



#### IV.6. Υπολογισμός Δείκτη EEDI

## Πίνακας 4.7

## Σύγκριση Απαιτούμενου και Επιτευχθέντων Δεικτών EEDI

<i>a / a</i>	<i>EEDI(req)</i>	<i>EEDI (att.)</i>
1	56.0019	49.0989
2	55.0163	49.8034
3	54.0800	55.7181
4	52.9726	56.7419
5	55.0359	51.4492
6	54.0618	52.0495
7	53.1364	52.7043
8	52.0416	53.5913
9	53.0203	53.1599
10	52.1065	53.8144
11	51.0255	54.7034
12	54.1174	49.0357
13	53.1541	49.5487
14	52.2389	50.1141
15	51.1561	50.8865
16	52.1241	50.5686
17	51.2203	51.1312
18	50.1508	51.9024
19	50.2704	52.1081
20	49.2132	52,8768
21	53.2422	46.9404
22	52.2892	47.3795
23	51.3836	47.8694

24	50.3120	48.5451
25	51.2700	48.3200
26	50.3756	48.8049
27	49.3170	49.4765
28	49.4354	49.7080
29	48.3889	50.3748
30	47,4941	39.5661

Στον παραπάνω πίνακα σημειώνονται οι τιμές του δείκτη EEDI που προκύπτουν. Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι αποδεκτές τιμές και με κόκκινο οι μη αποδεκτές.

Επιπλέον από τον Πίνακα 4.7 μπορούμε να διακρίνουμε το πλοίο με την καλύτερη και τη χειρότερη επίδοση.

Χαμηλότερος EEDI	Υψηλότερος EEDI
Πλοίο 21	Πλοίο 4
L=91.7	L=87.14
B=14.76	B=14.76
T=3.88	T=4.4
EEDI = 46.94	EEDI = 56.74

- Όπως αναμενόταν το πλοίο που συνδυάζει το μεγαλύτερο δυνατό μήκος, με το μικρότερο δυνατό πλάτος και βύθισμα παρουσιάζει το χαμηλότερο δείκτη EEDI (καλύτερη επίδοση).
- Επίσης, και πάλι όπως αναμενόταν, το πλοίο με το μικρότερο μήκος και το μεγαλύτερο βύθισμα (μόνο μια τιμή του πλάτους συνδυάζεται με αυτό το μήκος) είναι αυτό που έχει τον υψηλότερο δείκτη EEDI (χειρότερη επίδοση).



#### IV.7. Εκτίμηση Δυνατότητας Συμμόρφωσης με Μελλοντικές Απαιτήσεις EEDI

Στο σημείο αυτό γίνεται έλεγχος του κατά πόσο τα μοντέλα των πλοίων που παρήχθησαν στα προηγούμενα βήματα μπορούν να ικανοποιήσουν τις ενδεχόμενες μελλοντικές απαιτήσεις που θα καταστήσουν τον δείκτη EEDI αυστηρότερο με την εισαγωγή του συντελεστή μείωσης  $X$  (αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους). Λόγω της διαφαινόμενης αδυναμίας σημαντικού αριθμού από τα υπό μελέτη μοντέλα να ικανοποιήσουν αυτές τις μελλοντικές απαιτήσεις, γίνεται εξέταση και με άλλα καύσιμα με μικρότερο συντελεστή  $C_F$  (φυσικό αέριο, μεθανόλη), ενώ ακόμη γίνεται εξέταση και του επιτευχθέντος δείκτη EEDI σε περίπτωση που τα πλοία έκαναν χρήση καυσίμου Marine Gas Oil, δεδομένου ότι το καύσιμο αυτό λόγω της χαμηλής του περιεκτικότητας σε θείο θεωρείται μια καλή εναλλακτική για πλεύση εντός περιοχών SECA. Παρά ταύτα εμφανίζεται να παρουσιάζει τον υψηλότερο συντελεστή  $C_F$  λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε άνθρακα.

#### Πίνακας 4.8

Επιτευχθέντες δείκτες EEDI και πρόβλεψη για τις μελλοντικές τιμές τους με χρήση HFO

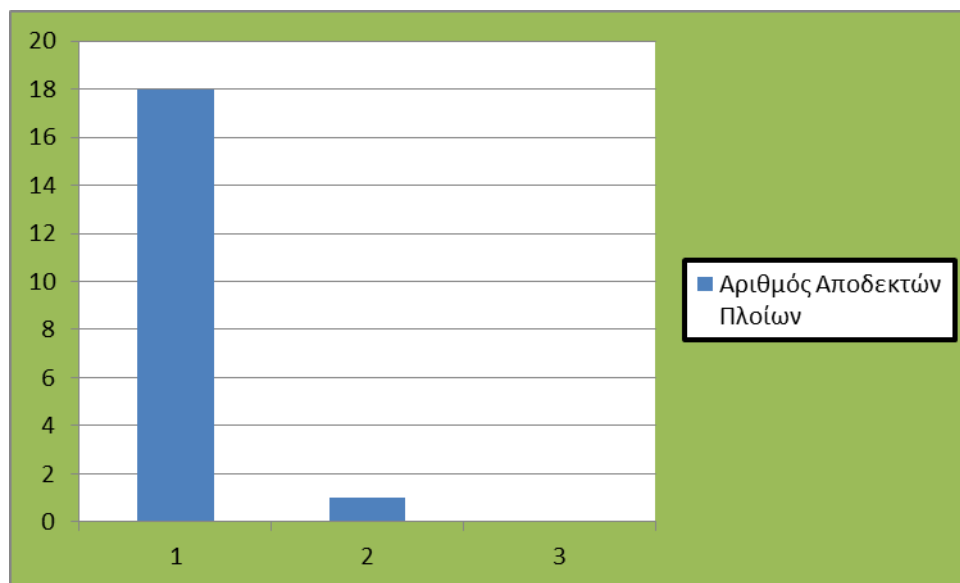
a/a	Phase1		Phase2		Phase3	
	Req	Att.	Req	Att.	Req	Att.
1	56.0019	49.0989	47.6016	49.0989	39.2013	49.0989
2	55.0163	49.8034	46.7639	49.8034	38.5114	49.8034
3	54.0800	55.7181	45.9680	55.7181	37.8560	55.7181
4	52.9726	56.7419	45.0267	56.7419	37.0808	56.7419

5	55.0359	51.4492	46.7805	51.4492	38.5251	51.4492
6	54.0618	52.0495	45.9525	52.0495	37.8433	52.0495
7	53,1364	52.7043	45.1659	52.7043	37.1955	52.7043
8	52,0416	53.5913	44.2354	53.5913	36.4291	53.5913
9	53,0230	53.1599	45.0696	53.1599	37.1161	53.1599
10	52,1065	53.8144	44.2905	53.8144	36.4746	53.8144
11	51,0255	54.7034	43.3717	54.7034	35.7179	54.7034
12	54,1174	49.0357	45.9998	49.0357	37.8822	49.0357
13	53,1541	49.5487	45.1810	49.5487	37.2079	49.5487
14	52,2389	50.1141	44.4031	50.1141	36.5672	50.1141
15	51,1561	50.8865	43.4827	50.8865	35.8093	50.8865
16	52,1241	50.5686	44.3055	50.5686	36.4869	50.5686
17	51,2203	51.1312	43.5373	51.1312	35.8542	51.1312
18	50,1508	51.9024	42.6282	51.9024	35.1056	51.9024
19	50,2704	52.1081	42.7298	52.1081	35.1893	52.1081
20	49.2132	52.8768	41.8312	52.8768	34.4492	52.8768
21	53.2422	46.9404	45.2559	46.9404	37.2695	46.9404

22	52.2893	47.3795	44.4459	47.3795	36.6025	47.3795
23	51.3836	47.8694	43.6761	47.8694	35.9685	47.8694
24	50.3120	48.5451	42.7652	48.5451	35.2184	48.5451
25	51.2700	48.3200	43.5795	48.3200	35.8890	48.3200
26	50.3756	48.8049	42.8193	48.8049	35.2629	48.8049
27	49.3170	49.4765	41.9195	49.4765	34.5219	49.4765
28	49.4354	49.7080	42.0201	49.7080	34.6048	49.7080
29	48.3889	50.3748	41.1306	50.3748	33.8722	50.3748
30	47.4941	39.5661	40.3700	39.5661	33.2459	39.5661

#### Διάγραμμα 4.34

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων στις τρεις φάσεις εφαρμογής του δείκτη EEDI με χρήση HFO



Όπως παρατηρείται εδώ ο αριθμός των σχεδιάσεων που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις κατά την δεύτερη φάση είναι πολύ μικρός, ενώ οι απαιτήσεις της τρίτης φάσης δεν μπορούν να ικανοποιηθούν.

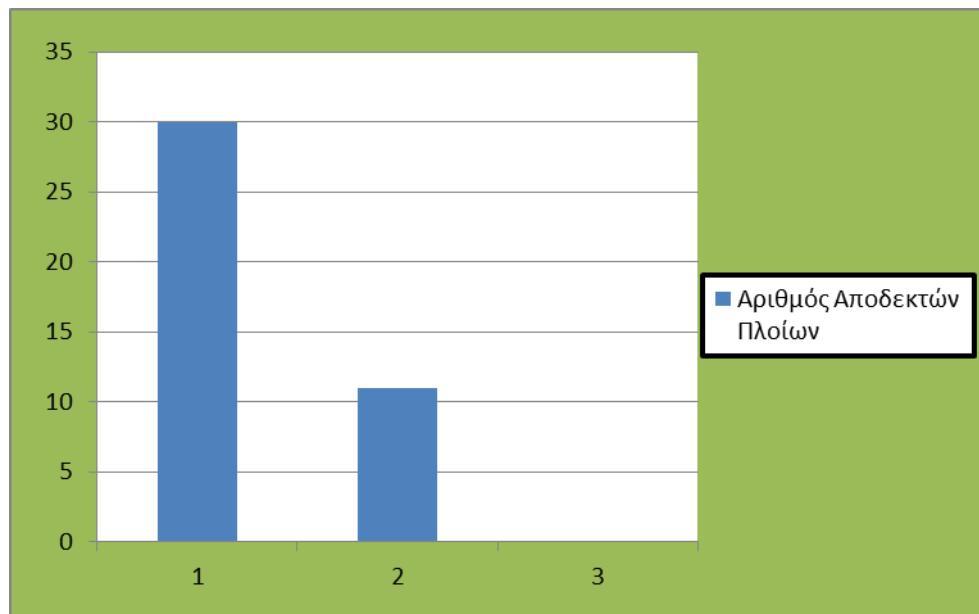
**Πίνακας 4.9**  
Επιτευχθέντες δείκτες EEDI και πρόβλεψη για τις μελλοντικές τιμές τους με χρήση LNG

a/a	Phase 1		Phase2		Phase3	
	Req.	Att	Req	Att.	Req.	Att.
<b>1</b>	56.0019	43.3597	47.6016	43.3597	39.2013	43.3597
<b>2</b>	55.0163	43.9818	46.7639	43.9818	38.5114	43.9818
<b>3</b>	54.0800	49.2051	45.9680	49.2051	37.8560	49.2051
<b>4</b>	52.9726	50.1093	45.0267	50.1093	37.0808	50.1093
<b>5</b>	55.0359	45.4352	46.7805	45.4352	38.5251	45.4352
<b>6</b>	54.0618	45.9654	45.9525	45.9654	37.8433	45.9654
<b>7</b>	53.1364	46.5436	45.1659	46.5436	37.1955	46.5436
<b>8</b>	52.0416	47.3269	44.2354	47.3269	36.4291	47.3269
<b>9</b>	53.0230	46.9460	45.0696	46.9460	37.1161	46.9460
<b>10</b>	52.1065	47.5240	44.2905	47.5240	36.4746	47.5240
<b>11</b>	51.0255	48.3090	43.3717	48.3090	35.7179	48.3090
<b>12</b>	54.1174	43.3038	45.9998	43.3038	37.8822	43.3038
<b>13</b>	53.1541	43.7569	45.1810	43.7569	37.2079	43.7569
<b>14</b>	52.2389	44.2562	44.4031	44.2562	36.5672	44.2562
<b>15</b>	51.1561	44.9383	43.4827	44.9383	35.8093	44.9383
<b>16</b>	52.1241	44.6576	44.3055	44.6576	36.4869	44.6576
<b>17</b>	51.2203	45.1544	43.5373	45.1544	35.8542	45.1544
<b>18</b>	50.1508	45.8355	42.6282	45.8355	35.1056	45.8355
<b>19</b>	50.2704	46.0171	42.7298	46.0171	35.1893	46.0171
<b>20</b>	49.2132	46.6960	41.8312	46.6960	34.4492	46.6960

21	53.2422	41.4535	45.2559	41.4535	37.2695	41.4535
22	52.2893	41.8412	44.4459	41.8412	36.6025	41.8412
23	51.3836	42.2739	43.6761	42.2739	35.9685	42.2739
24	50.3120	42.8706	42.7652	42.8706	35.2184	42.8706
25	51.2700	42.6718	43.5795	42.6718	35.8890	42.6718
26	50.3756	43.1000	42.8193	43.1000	35.2629	43.1000
27	49.3170	43.6931	41.9195	43.6931	34.5219	43.6931
28	49.4354	43.8976	42.0201	43.8976	34.6048	43.8976
29	48.3889	44.4864	41.1306	44.4864	33.8722	44.4864
30	47.4941	34.9412	40.3700	34.9412	33.2459	34.9412

**Διάγραμμα 4.35**

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων στις τρεις φάσεις εφαρμογής του δείκτη EEDI με χρήση LNG



Σε περίπτωση που γίνεται χρήση του LNG, όλες οι σχεδιάσεις επιτυγχάνουν αποδεκτές τιμές στην πρώτη φάση. Στην δεύτερη φάση ο αριθμός των σχεδιάσεων που ικανοποιεί τις απαιτήσεις είναι περιορισμένος. Τέλος δεν υπάρχουν σχεδιάσεις που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της τρίτης φάσης.

#### Πίνακας 4.10

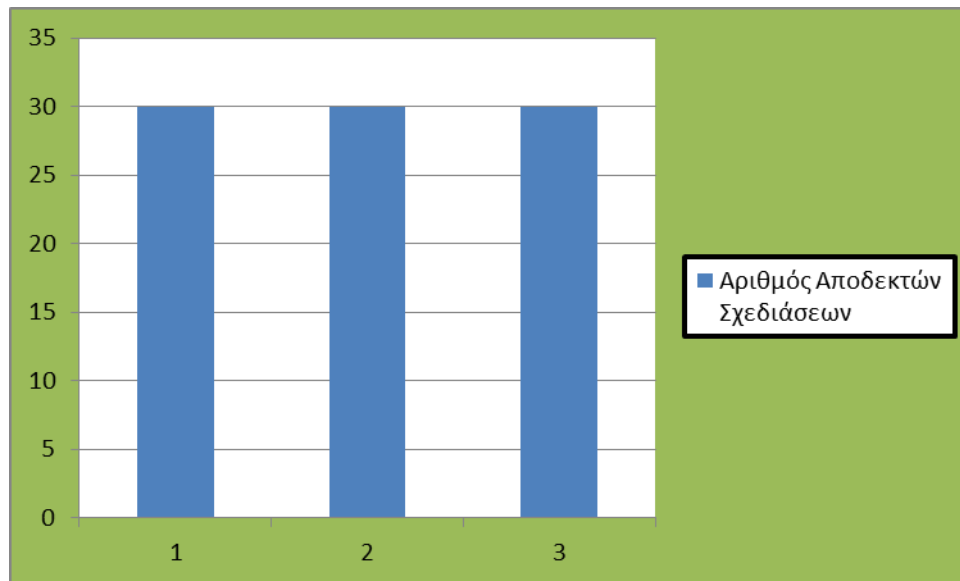
Επιτευχθέντες δείκτες EEDI και πρόβλεψη για τις μελλοντικές τιμές τους με χρήση Methanol

Methanol						
a/a	Phase1		Phase2		Phase3	
	Req.	Att.	Req.	Att.	Req.	Att.
<b>1</b>	56.0019	21.6798	47.6016	21.6798	39.2013	21.6798
<b>2</b>	55.0163	21.9909	46.7639	21.9909	38.5114	21.9909
<b>3</b>	54.0800	24.6026	45.9680	24.6026	37.8560	24.6026
<b>4</b>	52.9726	25.0546	45.0267	2,0546	37.0808	25.0546
<b>5</b>	55.0359	22.7176	46.7805	22.7176	38.5251	22.7176
<b>6</b>	54.0618	22.9827	45.9525	22.9827	37.8433	22.9827
<b>7</b>	53.1364	23.2718	45.1659	23.2718	37.1955	23.2718
<b>8</b>	52.0416	23.6635	44.2354	23.6635	36.4291	23.6635
<b>9</b>	53.0230	23,4730	45.0696	23.4730	37.1161	23.4730
<b>10</b>	52.1065	23.7620	44.2905	23.7620	36.4746	23.7620
<b>11</b>	51.0255	24.1545	43.3717	24.1545	35.7179	24.1545
<b>12</b>	54.1174	21.6519	45.9998	21.6519	37.8822	21.6519

<b>13</b>	53.1541	21.8784	45.1810	21.8784	37.2079	21.8784
<b>14</b>	52.2389	22.1281	44.4031	22.1281	36.5672	22.1281
<b>15</b>	51.1561	22.4692	43.4827	22.4692	35.8093	22.4692
<b>16</b>	52.1241	22.3288	44.3055	22.3288	36.4869	22.3288
<b>17</b>	51.2203	22.5772	43.5373	22.5772	35.8542	22.5772
<b>18</b>	50.1508	22.9177	42.6282	22.9177	35.1056	22.9177
<b>19</b>	50.2704	23.0086	42.7298	23.0086	35.1893	23.0086
<b>20</b>	49.2132	23.3480	41.8312	23.3480	34.4492	23.3480
<b>21</b>	53.2422	20.7267	45.2559	20.7267	37.2695	20.7267
<b>22</b>	52.2893	20.9206	44.4459	20.9206	36.6025	20.9206
<b>23</b>	51.3836	21.1369	43.6761	21.1369	35.9685	21.1369
<b>24</b>	50.3120	21.4353	42.7652	21.4353	35.2184	21.4353
<b>25</b>	51.2700	21.3359	43.5795	21.3359	35.8890	21.3359
<b>26</b>	50.3756	21.5500	42.8193	21.5500	35.2629	21.5500
<b>27</b>	49.3170	21.8466	41.9195	21.8466	34.5219	21.8466
<b>28</b>	49.4354	21.9488	42.0201	21.9488	34.6048	21.9488
<b>29</b>	48.3889	22.2432	41.1306	22.2432	33.8722	22.2432
<b>30</b>	47.4941	17.4706	40.3700	17.4706	33.2459	17.4706

**Διάγραμμα 4.36**

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων στις τρεις φάσεις εφαρμογής του δείκτη EEDI με χρήση Methanol



Η χρήση Methanole ως καυσίμου φαίνεται ότι επιτρέπει την ικανοποίηση των απαιτήσεων και στις τρεις φάσεις,. Μάλιστα τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι πολύ καλύτερα από την περίπτωση που γίνεται χρήση LNG.

**Πίνακας 4.11**

Επιτευχθέντες δείκτες EEDI και πρόβλεψη για τις μελλοντικές τιμές τους με χρήση Marine Gas Oil

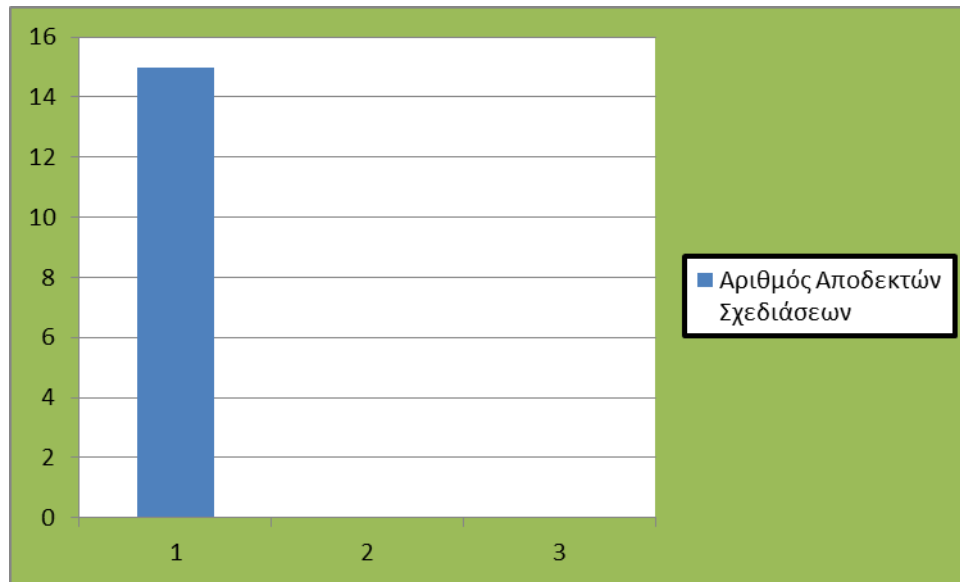
<b>MGO</b>						
	<b>Phase1</b>		<b>Phase2</b>		<b>Phase3</b>	
<b>a/a</b>	<b>Req.</b>	<b>Att.</b>	<b>Req.</b>	<b>Att.</b>	<b>Req.</b>	<b>Att.</b>
<b>1</b>	56.0019	50.5495	47.6016	50.5495	39.2013	50.5495
<b>2</b>	55.0163	51.2748	46.7639	51.2748	38.5114	51.2748
<b>3</b>	54.0800	57.3642	45.9680	57.3642	37.8560	57.3642
<b>4</b>	52.9726	58.4183	45.0267	58.4183	37.0808	58.4183
<b>5</b>	55.0359	52.9692	46.7805	52.9692	38.5251	52.9692
<b>6</b>	54.0618	53.5873	45.9525	53.5873	37.8433	53.5873



7	53.1364	54.2614	45.1659	54.2614	37.1955	54.2614
8	52.0416	55.1746	44.2354	55.1746	36.4291	55.1746
9	53.0230	54.7305	45.0696	54.7305	37.1161	54.7305
10	52.1065	55.4043	44.2905	55.4043	36.4746	55.4043
11	51.0255	56.3196	43.3717	56.3196	35.7179	56.3196
12	54.1174	50.4844	45.9998	50.4844	37.8822	50.4844
13	53.1541	51.0126	45.1810	51.0126	37.2079	51.0126
14	52.2389	51.5947	44.4031	51.5947	36.5672	51.5947
15	51.1561	52.3899	43.4827	52.3899	35.8093	52.3899
16	52.1241	52.0626	44.3055	52.0626	36.4869	52.0626
17	51.2203	52.6418	43.5373	52.6418	35.8542	52.6418
18	50.1508	53.4358	42.6282	53.4358	35.1056	53.4358
19	50.2704	53.6476	42.7298	53.6476	35.1893	53.6476
20	49.2132	54.4390	41.8312	54.4390	34.4492	54.4390
21	53.2422	48.3272	45.2559	48.3272	37.2695	48.3272
22	52.2893	48.7793	44.4459	48.7793	36.6025	48.7793
23	51.3836	49.2837	43.6761	49.2837	35.9685	49.2837
24	50.3120	49.9793	42.7652	49.9793	35.2184	49.9793
25	51.2700	49.7476	43.5795	49.7476	35.8890	49.7476
26	50.3756	50.2468	42.8193	50.2468	35.2629	50.2468
27	49.3170	50.9382	41.9195	50.9382	34.5219	50.9382
28	49.4354	51.1766	42.0201	51.1766	34.6048	51.1766
29	48.3889	51.8631	41.1306	51.8631	33.8722	51.8631
30	47.4941	40.7350	40.3700	40.7350	33.2459	40.7350

**Διάγραμμα 4.37**

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων στις τρεις φάσεις εφαρμογής του δείκτη EEDI με χρήση MGO



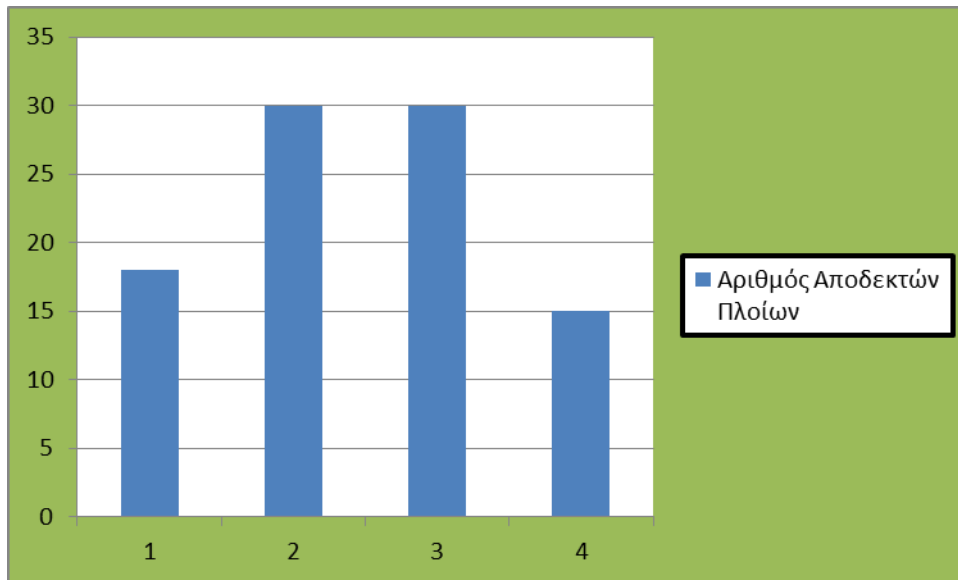
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η χρήση MGO αναμένεται να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στην επίτευξη των απαιτούμενων δεικτών στα επόμενα χρόνια.

**Σύγκριση απόδοσης καυσίμων για τις τρεις φάσεις**

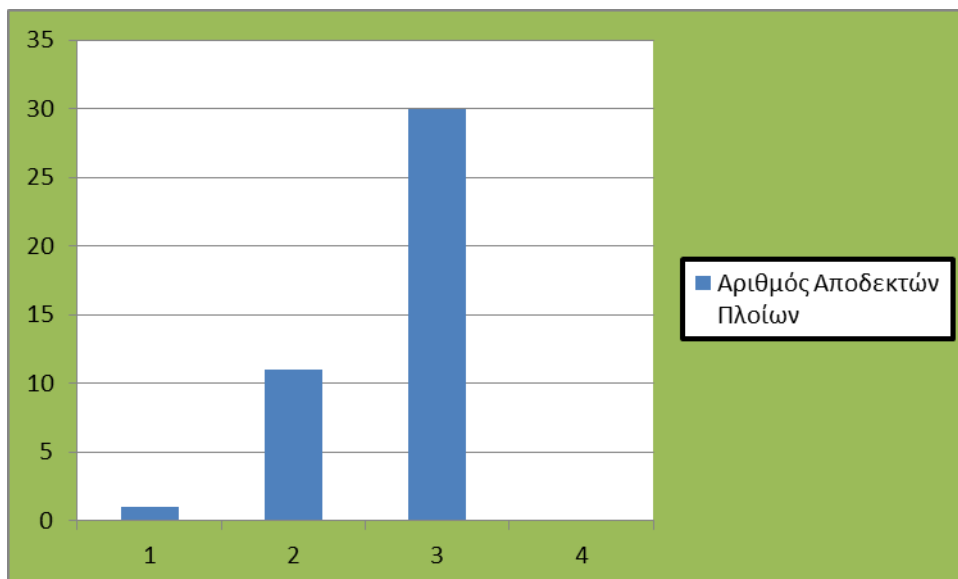
Στο σημείο αυτό καταγράφεται ο αριθμός των σχεδιάσεων που ικανοποιούν τις απαιτήσεις στις τρεις φάσεις. Στα διαγράμματα τοποθετούνται κατά σειρά τα καύσιμα HFO (1), LNG (2), Methanol (3) και MGO (4)

**Διάγραμμα 4.38**

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων με χρήση των καυσίμων HFO (1), LNG (2), Methanol (3) και MGO (4) για τη Φάση 1 (1/1/2015 – 31/12/2019)

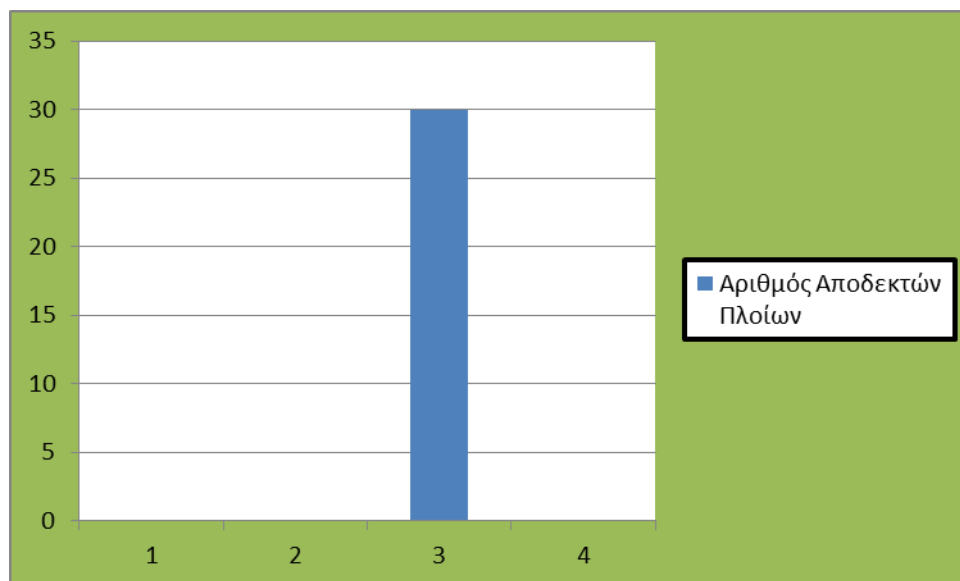
**Διάγραμμα 4.39**

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων με χρήση των καυσίμων HFO (1), LNG (2), Methanol (3) και MGO (4) για τη Φάση 2 (1/1/2020 – 31/12/2024)



#### Διάγραμμα 4.40

Αριθμός Αποδεκτών Πλοίων με χρήση των καυσίμων HFO (1), LNG (2), Methanol (3) και MGO (4) για τη Φάση 3 (1/1/2025 – )



#### Παρατηρήσεις

Είναι σημαντικό να σημειωθούν τα παρακάτω σε ότι αφορά τους υπολογισμούς αυτούς:

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι φάσεις 2 και 3 δεν έχουν τεθεί σε ισχύ μέχρι τώρα. Κατά συνέπεια οι υπολογισμοί που εκτελούνται έχουν το χαρακτήρα της πρόγνωσης, καθώς δεν μπορεί με βεβαιότητα να εκτιμηθεί ότι θα ισχύσουν οι συγκεκριμένοι συντελεστές μείωσης της γραμμής αναφοράς και όχι κάποια τροποποίησή τους.

Η υιοθέτηση των τιμών αυτών από τον IMO, δε συνεπάγεται ότι τα πλοία που δε θα κάλυπταν τις προδιαγραφές αυτές θα τίθεντο εκτός υπηρεσίας. Η πρακτική του Grandfather's Clause λειτουργεί προστατευτικά για τα παλαιότερα πλοία επιβάλλοντας οι αλλαγές στους ισχύοντες κανονισμούς να αφορούν μόνο τα υπό ναυπήγηση πλοία. Αυτό φυσικά θα ίσχυε για πλοία ήδη ναυπηγημένα κατά την περίοδο αυστηροποίησης των κανονισμών. Πλοία τα οποία ναυπηγούνται μετά την εφαρμογή των κανονισμών, ασφαλώς και καλούνται να συμμορφωθούν/ναυπηγηθούν σύμφωνα με αυτούς.

Ζητούμενο στο σημείο αυτό ήταν να υπάρξει μια πρόβλεψη για τις επιδόσεις γαστρών που έχουν σχεδιαστεί σήμερα, αν κατασκευαστούν στο μέλλον (όταν θα ισχύσουν οι προαναφερθείσες αυστηροποιήσεις των κανονισμών – θεωρώντας ότι

αυτοί θα ισχύσουν όπως έχει ανακοινωθεί μέχρι σήμερα), η οποία πρόβλεψη να υποδεικνύει και αν υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθεί κάποια δυσκολία στη χρήση συγκεκριμένων σχεδιάσεων και σε συνάρτηση με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.

#### IV.8 Υπολογισμός Υδροστατικών Χαρακτηριστικών

Για κάθε ένα από τα μοντέλα που προέκυψαν από την διαδικασία τροποποίησης, υπολογίστηκαν το  $L_s$  και τα  $KG$  και  $LCG$ . Προκειμένου οι υπολογισμοί να απλοποιηθούν επιλέχθηκε για κάθε ένα πλοίο να διατηρηθεί ο ίδιος λόγος  $L_s/\Delta$ , με αυτόν του πατρικού πλοίου. Επίσης διατηρούνται ίδιοι λόγοι  $KG/D$  και  $LCG/L$ . Αναλυτικά τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4.12**  
Υδροστατικά Χαρακτηριστικά Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

$\alpha/\alpha$	$L$	$B$	$D$	$L_s(\text{Lightship})$	$KG(\text{Lightship})$	$LCG(\text{Lightship})$
1	87.14	14.76	8.28	2586.13	8.62	40.76
2	87.14	14.76	8.44	2597.99	8.58	40.57
3	87.14	14.76	8.60	2609.85	8.54	40.39
4	87.14	14.76	8.80	2624.67	8.49	40.16
5	90.66	14.76	8.28	2597.75	8.58	40.57
6	90.66	14.76	8.44	2610.09	8.54	40.38
7	90.66	14.76	8.60	2622.43	8.50	40.19
8	90.66	14.76	8.80	2637.85	8.45	39.96
9	90.66	15.42	8.44	2624.02	8.50	40.17
10	90.66	15.42	8.60	2636.91	8.45	39.97
11	90.66	15.42	8.80	2653.02	8.40	39.73
12	94.18	14.76	8.28	2609.37	8.54	40.39
13	94.18	14.76	8.44	2622.18	8.50	40.20
14	94.18	14.76	8.60	2635.00	8.46	40.00
15	94.18	14.76	8.80	2651.02	8.41	39.76

16	94.18	15.42	8.44	2636.65	8.45	39.97
17	94.18	15.42	8.60	2650.04	8.41	39.77
18	94.18	15.42	8.80	2666.78	8.36	39.52
19	94.18	16.07	8.60	2664.86	8.37	39.55
20	94.18	16.07	8.80	2682.30	8.31	39.29
21	97.7	14.76	8.28	2620.98	8.51	40.21
22	97.7	14.76	8.44	2634.28	8.46	40.01
23	97.7	14.76	8.60	2647.58	8.42	39.81
24	97.7	14.76	8.80	2664.19	8.37	39.56
25	97.7	15.42	8.44	2649.29	8.41	39.78
26	97.7	15.42	8.60	2663.18	8.37	39.58
27	97.7	15.42	8.80	2680.54	8.32	39.32
28	97.7	16.07	8.60	2678.55	8.32	39.35
29	97.7	16.07	8.80	2696.65	8.27	39.09
30	97.7	16.73	8.80	2713.00	8.22	38.85

#### IV.9 Έλεγχος Άθικτης Ευστάθειας

Αρχικά ελέγχουμε εάν οι υπό εξέταση γάστρες παρουσιάζουν επαρκή άθικτη ευστάθεια (*Intact Stability*). Ο έλεγχος γίνεται μέσω του προγράμματος *Napa*. Ο έλεγχος πραγματοποιείται στο υποπρόγραμμα *Loading Conditions*, αφού πρώτα εκτιμηθούν οι καταστάσεις φόρτωσης που δίνουν το προϋπολογισμένο βύθισμα.

Το πρόγραμμα *Napa* εκτελεί τον έλεγχο άθικτης ευστάθειας με βάση τα κριτήρια του *Intact Stability Code 2008 – Resolution MSC. 267(85)* που έχει συμπεριλάβει τα κριτήρια της παλαιότερης *Resolution A.749(18)*. Τα κριτήρια που ελέγχονται εδώ διακρίνονται σε:

Γενικά Κριτήρια: Αυτά αφορούν όλα τα πλοία που εμπίπτουν στις διατάξεις του παραπάνω κώδικα:

- Κριτήρια σχετικά με την επιφάνεια κάτω από το Μοχλοβραχίονα Επαναφοράς (*GZ Curve*). Πιο συγκεκριμένα:

- Η επιφάνεια κάτω από το Μογλοβραχίονα Επαναφοράς δε θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0.055 mrad στις 30°. ( $E_{30^\circ} \geq 0.055mrad$ ).
- Η επιφάνεια κάτω από το Μογλοβραχίονα Επαναφοράς δε θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0.090 mrad στις 40° ή στην γωνία downflooding, εάν αυτή είναι μικρότερη από τις 40° ( $E_{40^\circ \text{ or } \theta_{\text{df}}} \geq 0.090mrad$ ).
- Η επιφάνεια κάτω από το Μογλοβραχίονα Επαναφοράς μεταξύ των 30° και των 40° ή της γωνίας downloading, εάν αυτή είναι μικρότερη από τις 40° ( $E_{30-40^\circ \text{ or } \theta_{\text{dl}}} \geq 0.030mrad$ ).
- Κριτήρια σχετικά με τις τιμες του Μογλοβραχίονα Επαναφοράς
  - Η τιμή του Μογλοβραχίονα επαναφοράς θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.20m για 30° και πλέον  $GZ_{30^\circ} \geq 0.20m$
- Κριτήρια σχετικά με τη θέση του Μογλοβραχίονα Επαναφοράς
  - Η μεγαλύτερη τιμή του Μογλοβραχίονα Επαναφοράς θα πρέπει να λαμβάνεται σε γωνία όχι μεγαλύτερη από 25° ( $\theta_{GZMAX} \geq 25^\circ$ )
- Κριτήρια σχετικά με το Ελάχιστο Μετακεντρικό ύψος (GM)
  - Το ελάχιστο μετακεντρικό ύψος δε θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.15m ( $GM_0 \geq 0.15m$ )

Ειδικά Κριτήρια: Αφορούν συγκεκριμένες κατηγορίες (εδώ Ε/Γ πλοία)

- Απαιτείται η γωνία συρροής επιβατών στην πλευρά του πλοίου (Crowding), θα πρέπει:  $\theta_{\text{crowding}} \leq 10^\circ$

- Η ροπή λόγω συρροής επιβατών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$M_R = 0.02 \cdot \frac{V_0^2}{L} \cdot \Delta \cdot \left[ KG - \frac{d}{2} \right], \text{ όπου:}$$

$V_0$  : Η ταχύτητα υπηρεσίας

$L$  : Το μήκος του πλοίου στην Waterline

$\Delta$ : Το εκτόπισμα

$d$ : Το μέσο βύθισμα

$KG$ : Η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους

- Κριτήριο Καιρού (Weather Criterion), για το οποίο δε θα γίνει κάποια επιπλέον αναφορά στο σημείο εδώ.

Ακολούθως καταγράφονται οι σχεδιάσεις που έλαβαν αποδεκτές τιμές και πόσες από αυτές λαμβάνουν αποδεκτές τιμές του δείκτη EEDI.

<b>α/α</b>	<b>EEDI</b>	<b>Intact Stability</b>
1	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
2	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
3	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
4	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
5	Αποδεκτό	Αποδεκτό
6	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
7	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
8	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
9	Μη Αποδεκτό	Αποδεκτό
10	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
11	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
12	Αποδεκτό	Αποδεκτό
13	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
14	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
15	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
16	Αποδεκτό	Αποδεκτό
17	Αποδεκτό	Αποδεκτό
18	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
19	Μη Αποδεκτό	Αποδεκτό
20	Μη Αποδεκτό	Αποδεκτό



21	Αποδεκτό	Αποδεκτό
22	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
23	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
24	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
25	Αποδεκτό	Αποδεκτό
26	Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
27	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
28	Μη Αποδεκτό	Αποδεκτό
29	Μη Αποδεκτό	Μη Αποδεκτό
30	Αποδεκτό	Αποδεκτό

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι σχεδιάσεις που ικανοποιούν ταυτόχρονα τις απαιτήσεις του IMO, τόσο σε ότι αφορά την ευστάθεια σε άθικτη κατάσταση όσο και τις απαιτήσεις του δείκτη EEDI, είναι ολιγάριθμες. Η διαδικασία που προηγήθηκε επιτρέπει τον περιορισμό των υπό μελέτη σχεδιάσεων, κάτι που είναι πολύ σημαντικό καθώς η εξέταση των επιδόσεων στην ευστάθεια κατόπιν βλάβης είναι μια εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία και ως εκ τούτου εφαρμόζεται μόνο στις σχεδιάσεις που ήταν αποδεκτές στο προηγούμενο βήμα. Αυτές είναι:

<i>a/a</i>	<b>EEDI</b>	<b>Intact Stability</b>
5	Αποδεκτό	Αποδεκτό
12	Αποδεκτό	Αποδεκτό
16	Αποδεκτό	Αποδεκτό
17	Αποδεκτό	Αποδεκτό
21	Αποδεκτό	Αποδεκτό
25	Αποδεκτό	Αποδεκτό
30	Αποδεκτό	Αποδεκτό

Όπως είναι σαφές, οι περισσότερες από τις σχεδιάσεις δεν έδωσαν αποδεκτές τιμές για τουλάχιστον ένα από τα δύο κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν. Αναλυτικότερα:

- Σε σύνολο 30 σχεδιάσεων οι 18 έδιναν αποδεκτές τιμές του δείκτη EEDI
- Η ικανοποίηση των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας πραγματοποιήθηκε για 11 σχεδιάσεις
- Μόλις 7 σχεδιάσεις ικανοποίησαν και τις δύο απαιτήσεις.

#### IV.10. Έλεγχος Ευστάθειας κατόπιν Βλάβης

Όπως και στο προηγούμενο βήμα η ευστάθεια κατόπιν βλάβης υπολογίζεται με το πρόγραμμα *Nara*. Στη συνέχεια καταγράφονται οι τιμές των δεικτών A και R για τις υπό εξέταση σχεδιάσεις και το εάν αυτές είναι αποδεκτές ή όχι.

Καταγραφή δεικτών A και R για τις αποδεκτές σχεδιάσεις

a/a	L	B	T	R	A	Αποδοχή
5	90.66	14.76	3.88	0.741291	0.64803	Μη Αποδεκτό
12	94.18	14.76	3.88	0.741344	0.56669	Μη Αποδεκτό
16	94.18	15.42	4.04	0.741347	0.77241	Αποδεκτό
17	94.18	15.42	4.2	0.741347	0.53082	Μη Αποδεκτό
21	97.7	14.76	3.88	0.741395	0.57783	Μη Αποδεκτό
25	97.7	15.42	4.04	0.741395	0.84890	Αποδεκτό
30	97.7	16.73	4.4	0.735877	0.77530	Αποδεκτό

Όπως φαίνεται μόνο τρεις σχεδιάσεις ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις (*Intact Stability*, *Damage Stability*, *EEDI*). Η επίδοση αυτή δεν είναι ικανοποιητική. Ως εκ τούτου η προσέγγιση που ακολουθήθηκε πριν ως προς την επιλογή των λόγων των κυρίων διαστάσεων θα πρέπει να απορριφθεί και οι υπολογισμοί να επαναληφθούν

για μια δεύτερη οικογένεια πλοίων, οι λόγοι των κυρίων διαστάσεων της οποίας να βρίσκονται πιο κοντά στο πατρικό πλοίο.

## Παρατηρήσεις

- Για τον δείκτη  $EEDI_{att}$  θα πρέπει να ισχύει  $EEDI_{att} \leq EEDI_{req}$ . Η αξιολόγηση λοιπόν των πλοίων ως προς την επίδοση τους στο θέμα της ενεργειακής αποδοτικότητας γίνεται με φθίνουσα σειρά των δεικτών (η χαμηλότερη τιμή του δείκτη αντιστοιχεί στο αποδοτικότερο πλοίο). Έχει παρ' όλα αυτά ενδιαφέρον να επισημανθεί ότι αν κατατάξουμε τα πλοία σε σειρά από αυτό με τον μικρότερο δείκτη, στον μεγαλύτερο θα παρατηρήσουμε ότι απορρίπτονται πλοία με δείκτες χαμηλότερους από άλλα. Είναι λοιπόν σημαντικό να τονιστεί ότι δεν έχει σημασία η καθαυτό τιμή του δείκτη, όσο η σχέση του με τον απαιτούμενο.
- Αντίθετα για τον δείκτη  $A$  θα πρέπει να ισχύει η ανισότητα  $A \geq R$ . Η αξιολόγηση λοιπόν των πλοίων ως προς την επίδοση τους στο θέμα της ευστάθειας γίνεται με αύξουσα σειρά των δεικτών (η υψηλότερη τιμή του δείκτη αντιστοιχεί στο ασφαλέστερο πλοίο).
- Στο σημείο αυτό έχει ενδιαφέρον να γίνουν κάποιες επισημάνσεις σχετικές με τη σημασία που ενδέχεται να αποκτήσει το θέμα της επιλογής του κατάλληλου καυσίμου για την πρόωση των πλοίων. Σκοπός δεν είναι να εξετάσουμε θέματα που αφορούν τις επιστημονικές περιοχές της ναυτικής μηχανολογίας και της τεχνολογίας καυσίμων, κάτι που απομακρύνεται από το αντικείμενο της διπλωματικής, όμως μοιραία από την ανάγνωση των κανονισμών του IMO φαίνεται ότι στο άμεσο μέλλον θα πρέπει να υπάρχει ένας κατάλληλος συνδυασμός των επιλογών που αφορούν τη γάστρα με τις επιλογές τις σχετικές με τη μηχανολογική εγκατάσταση. Οι ακόλουθες παρατηρήσεις γίνονται επιγραμματικά και αφήνονται για περαιτέρω επεξεργασία.
  - Όπως φαίνεται από την προηγηθείσα επεξεργασία η επίτευξη ενός ενεργειακά αποδοτικού πλοίου μόνο με αλλαγή των γραμμικών διαστάσεων δείχνει ότι δεν είναι αρκετή για να ικανοποιηθούν οι αυξημένης αυστηρότητας απαιτήσεις στις μεταγενέστερες φάσεις.
  - Καθώς οι περιοχές SECA, διευρύνονται, οι σχεδιαστές έχουν τις ακόλουθες δυνατότητες:
    - Χρήση Scrubber, χρήση MGO (καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο) ή χρήση εναλλακτικού καυσίμου (LNG methanole).

- Η πρώτη εκδοχή ενώ είναι αποδεκτή στις περιοχές ECA, εντούτοις δε συμβαδίζει πάντοτε με τις τοπικές νομοθεσίες συγκεκριμένων περιοχών, όπως στην περιοχή της Καλιφόρνια, όπου η απαίτηση αφορά ρητά περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο έως 0.1%, χωρίς να είναι αποδεκτές λύσεις για επεξεργασία των καυσαερίων.
- Η εκδοχή των Scrubber, πέραν του κόστους που έχει και της προσθήκης επιπλέον βάρους στο πλοίο, δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις Tier III.
- Η εκδοχή της χρήσης MGO δείχνει ότι οδηγεί σε υψηλότερες τιμές των δεικτών EEDI, με αποτέλεσμα πολλά πλοία να απορρίπτονται. Ενώ δηλαδή ικανοποιούν τις απαιτήσεις για περιορισμό των SO<sub>x</sub>, απορρίπτονται για την χαμηλή ενεργειακή αποτελεσματικότητα τους, ενδεικτικό της αποσπασματικής λογικής που χαρακτηρίζει ορισμένους κανονισμούς του IMO.
- Με αυτά τα δεδομένα η χρήση καυσίμων όπως LNG και Methanole, δείχνει ότι είναι επιβεβλημένη καθώς δείχνουν να ικανοποιούν ταυτόχρονα όλες τις παραπάνω απαιτήσεις.

## V. Κατασκευή Δεύτερης Οικογένειας Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία που προηγήθηκε έδειξαν ότι οι περισσότερες σχεδιάσεις παρουσίασαν σημαντικά προβλήματα στην ικανοποίηση των κριτηρίων άθικτης ευστάθειας ενώ, με ελάχιστες εξαιρέσεις, οι σχεδιάσεις δεν ικανοποιούσαν ούτε τα κριτήρια της ευστάθειας κατόπιν βλάβης. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε ότι η αρχική σχεδίαση βρισκόταν εκτός των ορίων της βιβλιογραφίας σε ότι αφορά το λόγο  $L/B$ . Για το λόγο αυτόν προχωρήσαμε στην δημιουργία μιας νέας οικογένειας σχεδιαστικών λύσεων με μικρότερη απόκλιση από το πατρικό μοντέλο και με διατήρηση του βυθίσματος σταθερού, καθώς η υιοθέτηση μεγαλύτερων τιμών του οδήγησε σε σημαντικά προβλήματα ευστάθειας. Με δεδομένες λοιπόν τις διαστάσεις του πατρικού πλοίου ( $L=89\text{m}$ ,  $B=16.4\text{m}$ ,  $T=4\text{m}$  και  $L/B=5.43\text{m}$ ), κατασκευάζουμε τις ακόλουθες νέες σχεδιάσεις.

### V.1. Δεύτερη Οικογένεια Εναλλακτικών Σχεδιάσεων

- Διατηρούμε το πλάτος σταθερό και μεταβάλλουμε το μήκος ώστε να ελέγξουμε τα αποτελέσματα σε ένα μικρό εύρος λόγων  $L/B$  γύρω από τον αρχικό. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε τις σχεδιάσεις:
  1.  $L= 85.28\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.2$
  2.  $L= 89\text{m}$ ,  $B=16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.43$  (ταυτίζεται με την αρχική σχεδίαση)
  3.  $L= 91.84\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.6$
- Διατηρούμε το μήκος σταθερό και μεταβάλλουμε το πλάτος, ώστε και πάλι να ληφθούν τιμές με μικρό εύρος λόγων γύρω από τον αρχικό. Λαμβάνουμε τις ακόλουθες σχεδιάσεις:
  4.  $L= 89\text{m}$ ,  $B= 17.12\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.2$

5.  $L=89\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.43$  (ταυτίζεται με την αρχική σχεδίαση)

6.  $L= 89\text{m}$ ,  $B= 15.89\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.6$

- Για τους τρεις λόγους  $L/B$  που έχουμε χρησιμοποιήσει μέχρι τώρα πραγματοποιώντας μια αυξομείωση του πλάτους κατά  $0.4\text{m}$ , προσεγγίζουμε τα αντίστοιχα μήκη. Άρα λαμβάνονται:

7.  $L= 83.2\text{m}$ ,  $B= 16\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.2$

8.  $L= 85.28\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.2$

9.  $L= 87.36\text{m}$ ,  $B= 16.8\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.2$

10.  $L= 86.88\text{m}$ ,  $B= 16\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.43$

11.  $L= 89\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.43$

12.  $L= 91.22\text{m}$ ,  $B= 16.8\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.43$

13.  $L= 89.6\text{m}$ ,  $B= 16\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.6$

14.  $L= 91.84\text{m}$ ,  $B= 16.4\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.6$

15.  $L= 94.08\text{m}$ ,  $B= 16.8\text{m}$ ,  $T= 4\text{m}$ ,  $L/B= 5.6$

Όπως φαίνεται, με τον τρόπο αυτόν υπάρχει μια επικάλυψη των τιμών στα μήκη και πλάτη του πλοίου. Προφανώς κάθε σχεδιαστική λύση θα δοκιμαστεί μια μόνο φορά. Ο τρόπος αυτός όμως δίνει την δυνατότητα πολλαπλών συγκρίσεων για αλλαγές σε μήκος και σε πλάτος και στον λόγο  $L/B$ . Τελικά οι σχεδιάσεις που θα ελεγχθούν είναι 11. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα

**Πίνακας 5.1**  
Τελικές Σχεδιάσεις

<b><math>\alpha/\alpha</math></b>	<b>L</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>CB</b>	<b><math>\Delta</math></b>
<b>1</b>	83.2	16	4	0.5544	3056.91
<b>2</b>	85.28	16.4	4	0.5544	3211.87
<b>3</b>	86.88	16	4	0.5544	3191.74
<b>4</b>	87.36	16.8	4	0.5544	3370.98
<b>5</b>	89	16.4	4	0.5544	3351.89

6	89.6	16	4	0.5544	3291.48
7	89	15.89	4	0.5544	3247.02
8	89	17.12	4	0.5544	3499.98
9	91.22	16.8	4	0.5544	3519.55
10	91.84	16.4	4	0.5544	3458.5
11	94.08	16.8	4	0.5544	3629.28

Η αποδοχή ή μη μιας σχεδίασης βασίζεται στο αν αυτή ικανοποιεί ή όχι τους ακόλουθους περιορισμούς. Αυτοί είναι [25]:

- Αθικτη Ευστάθεια:  $GM_{Attained} \geq GM_{Required}$
- Ευστάθεια κατόπιν βλάβης:  $A \geq R$
- Δείκτης EEDI:  $AttainedEEDI \leq RequiredEEDI$
- Περίοδος διατοιχισμού:  $T_{ROLL} = \frac{2 \cdot \pi \cdot B}{\sqrt{g \cdot GM}} \geq 10s$

**Πίνακας 5.2**  
Αποδεκτές σχεδιάσεις

<b>a/a</b>	<b>GM</b>	<b>A</b>	<b>EEDI (IMO)</b>	<b>Roll Period</b>
1	1.773	0.71817	50.9790	11.33
2	2.1284	0.77827	52.2928	10.60
3	1.7731	0.75896	46.1236	11.33
4	2.4883	0.82454	47.1213	10.04
5	2.1267	0.81742	47.3290	10.60
6	1.7738	0.78696	47.1121	11.33
7	1.678	0.76605	46.7811	11.57

<b>8</b>	<b>2.7838</b>	<b>0.88545</b>	<b>48.0801</b>	<b>9.67</b>
<b>9</b>	2.4884	0.90091	48.5934	10.04
<b>10</b>	2.1279	0.88056	42.9208	10.60
<b>11</b>	2.4891	0.93166	44.0760	10.04

Με βάση τα κριτήρια αυτά απορρίπτονται δύο σχεδιάσεις, οι **v.1** και η **v.8**. Η πρώτη παρουσιάζει μη επαρκή ευστάθεια κατόπιν βλάβης, ενώ η δεύτερη μη αποδεκτή περίοδο διατοιχισμού.

#### IV.2 Εκτίμηση Δυνατότητας Συμμόρφωσης με Μελλοντικές Απαιτήσεις EEDI

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη οικογένεια μοντέλων, ελέγχουμε το κατά πόσο οι σχεδιάσεις που έχουν παραχθεί θα μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις που εκτιμάται ότι θα επιβληθούν από τον IMO στα επόμενα χρόνια. Ο IMO έχει προτείνει τρεις φάσεις διαμόρφωσης των τιμών του δείκτη [12,18]. Η τρέχουσα φάση είναι η 1<sup>η</sup> (1/1/2015-31/12/2019) και ακολουθούν η 2<sup>η</sup> (1/1/2020-31/12/2024) και η 3<sup>η</sup> (1/1/2025-). Στους ακόλουθους πίνακες καταγράφονται οι τιμές του απαιτούμενου δείκτη από τον IMO για τις τρεις φάσεις και συγκρίνονται με τις τιμές που λαμβάνει η κάθε σχεδίαση. Εξυπακούεται ότι η αλλαγή στις τιμές του δείκτη αφορά μόνο τον απαιτούμενο από τον IMO δείκτη (η τιμή του μικραίνει), ενώ ο δείκτης που λαμβάνει η κάθε σχεδίαση είναι σταθερός, (ένδειξη της διαρκούς αυστηροποίησης). Αρχικά καταγράφονται τα αποτελέσματα σε περίπτωση που γίνεται χρήση H.F.O και στη συνέχεια L.N.G

#### Χρήση HFO

<b>α/α</b>	<b>Phase 1</b>		<b>Phase 2</b>		<b>Phase 3</b>	
	Req.	Att.	Req.	Att.	Req.	Att.
<b>1</b>	55.0993	<b>50.9790</b>	48.1410	<b>50.9790</b>	43.5022	<b>50.9790</b>
<b>2</b>	53.9079	<b>52.2928</b>	46.5905	<b>52.2928</b>	41.7123	<b>52.2928</b>
<b>3</b>	54.0585	<b>46.1236</b>	46.7873	<b>46.1236</b>	41.9399	<b>46.1236</b>
<b>4</b>	52.7596	<b>47.1213</b>	45.0830	<b>47.1213</b>	39.9652	<b>47.1213</b>
<b>5</b>	52.8938	<b>47.3290</b>	45.2598	<b>47.3290</b>	40.1705	<b>47.3290</b>



6	53.3244	47.1211	45.8261	47.1211	40.8273	47.1211
7	53.6480	46.7811	46.2505	46.7811	41.3189	46.7811
8	51.8790	48.0801	43.9176	48.0801	38.6099	48.0801
9	51.7488	48.5934	43.7445	48.5934	38.4083	48.5934
10	52.1575	42.9208	44.2870	42.9208	39.0400	42.9208
11	51.0928	44.0760	42.7919	44.0760	37.2969	44.0760

- Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα εφόσον στα επόμενα χρόνια εφαρμοστούν οι προδιαγεγραμμένες από τον IMO τιμές το σύνολο των σχεδιάσεων δε θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις της φάσης 2 και της φάσης 3

### Χρήση LNG

α/α	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
	Req.	Att.	Req.	Att.	Req.	Att.
1	55.0993	33.5527	48.1410	33.5527	43.5022	33.5527
2	53.9079	34.4511	46.5905	34.4511	41.7123	34.4511
3	54.0585	30.3048	46.7873	30.3048	41.9399	30.3048
4	52.7596	31.0738	45.0830	31.0738	39.9652	31.0738
5	52.8938	31.1283	45.2598	31.1283	40.1705	31.1283
6	53.3244	30.9221	45.8261	30.9221	40.8273	30.9221
7	53.6480	30.6904	46.2505	30.6904	41.3189	30.6904
8	51.8790	31.7301	43.9176	31.7301	38.6099	31.7301
9	51.7488	31.9899	43.7445	31.9899	38.4083	31.9899
10	52.1575	28.1937	44.2870	28.1937	39.0400	28.1937
11	51.0928	28.9802	42.7919	28.9802	37.2969	28.9802

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα αυτά, γίνεται φανερό ότι η χρήση εναλλακτικού καυσίμου όπως του LNG δείχνει να οδηγεί σε αποδεκτές τιμές του δείκτη EEDI για όλες τις μελλοντικές φάσεις ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν τελικά οι υπάρχουσες απαιτήσεις του IMO.

- Παρατηρούμε στο σημείο αυτό ότι τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια με αυτά της πρώτης γενιάς πλοίων. Η σταδιακή μείωση του αποδεκτού δείκτη EEDI δείχνει να δημιουργεί προβλήματα σε πλοία των οποίων η σχεδίαση είναι αποδεκτή με τα σημερινά δεδομένα. Είναι χαρακτηριστικό πως οι σχεδιάσεις αυτές δε θα επιτρέπουν τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις που θα ισχύουν μετά την έναρξη και της τρίτης φάσης (2025 και μετά). Σε περίπτωση που οι σχεδιάσεις αυτές ναυπηγούνταν σήμερα (2018), θα ήταν εκτός των κανονισμών σε μια περίοδο 15 ετών, χρόνος που αντιστοιχεί περίπου στη μισή διάρκεια ζωής ενός επιβατηγού πλοίου. Ασφαλώς η αυστηροποίηση των απαιτήσεων δεν προβλέπεται να έχει αναδρομική ισχύ, κάτι που θα έθετε εν αμφιβόλω την δυνατότητα οι σχεδιάσεις αυτές να αξιοποιηθούν στα επόμενα χρόνια. Αυτό θα ωθούσε τους ναυπηγούς να προχωρήσουν σε τελείως νέες σχεδιάσεις πλοίων για να ικανοποιούνται οι προδιαγραφόμενες απαιτήσεις.

## VI. Παρουσίαση της Επίδοσης των Σχεδιάσεων

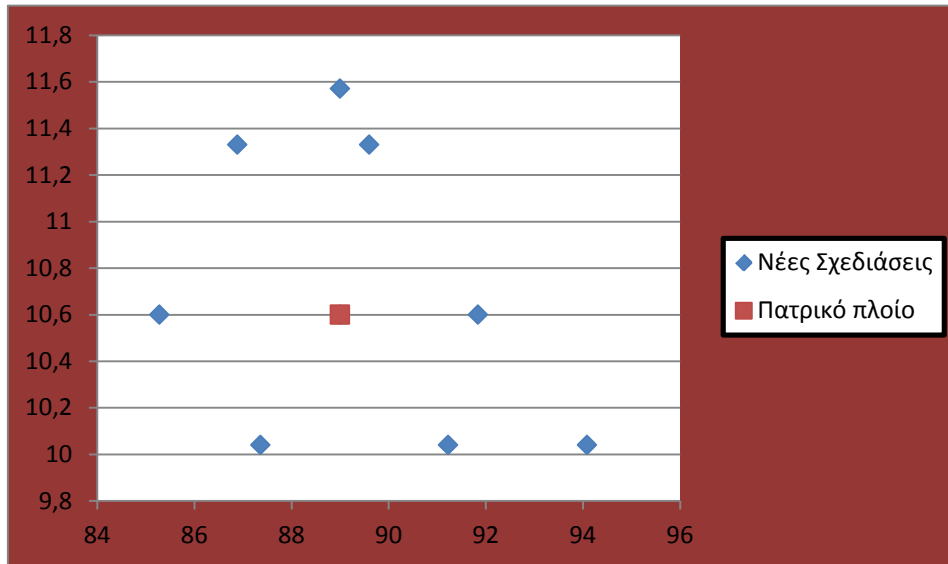
Στην παράγραφο αυτήν παρουσιάζεται η επίδοση εκάστης σχεδίασης σε μια σειρά από κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των σχεδιάσεων που προέκυψαν. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

1. Περίοδος Διατοιχισμού (*Roll Period*)
2. Άθικτη Ευστάθεια (*Intact Stability*)
3. Ευστάθεια κατόπιν Βλάβης (*Damage Stability*)
4. Ωφέλιμο Φορτίο (*Payload*)
5. Κατανάλωση Καυσίμου (*Fuel Consumption*)
6. Δείκτης EEDI
7. Κόστος Κτήσης

Στη συνέχεια κατασκευάζονται διαγράμματα που παρουσιάζουν την μεταβολή του κάθε κριτηρίου σε συνάρτηση με τη μεταβολή του μήκους, του πλάτους, του λόγου L/B και του εκτοπίσματος. Με τον τρόπο αυτόν αξιολογείται κατά πόσο μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ της μεταβολής κάθε εξεταζόμενου κριτηρίου και κάθε διάστασης. Η σχέση αυτή ενδέχεται να είναι είτε ευνοϊκή είτε δυσμενής.

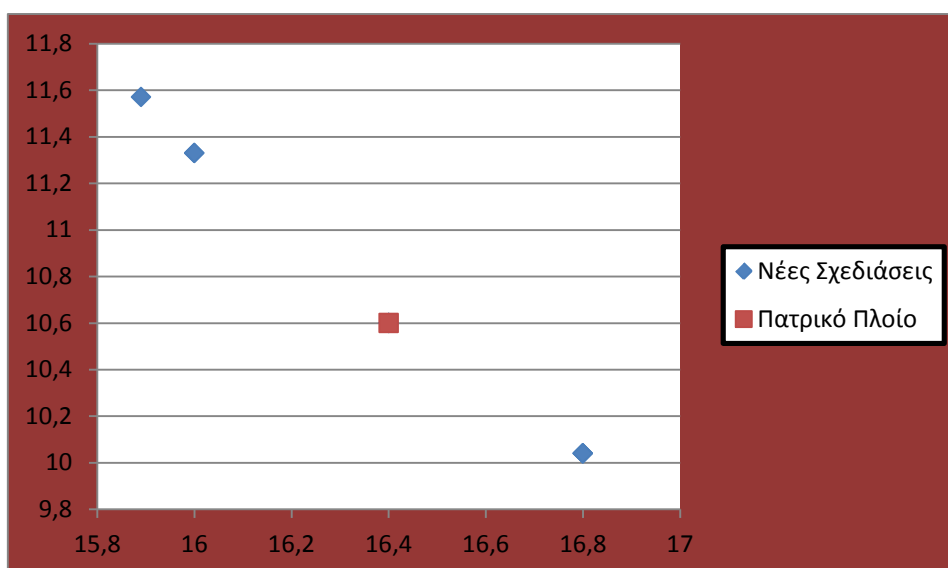
Κριτήριο 1 Roll Period

**Διάγραμμα 6.1.1**  
Roll Period (s) ως προς L (m)



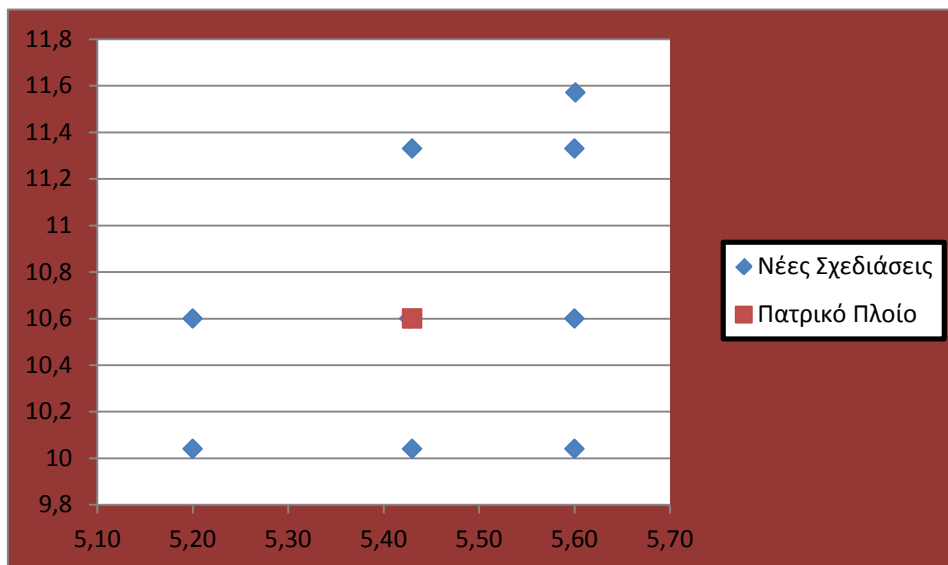
Παρατηρείται ότι οι σχεδιάσεις με μήκος μεγαλύτερο από αυτό του πατρικού πλοίου παρουσιάζουν μικρότερη περίοδο διατοιχισμού. Γενικά τα αποτελέσματα σχετίζονται με το B και το λόγο L/B, καθώς τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν το GM και κατά συνέπεια και την περίοδο διατοιχισμού. Στο διάγραμμα παρατηρούνται σχεδιάσεις με την ίδια ακριβώς τιμή περιόδου διατοιχισμού, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν το ίδιο πλάτος.

**Διάγραμμα 6.1.2**  
Roll Period (s) ως προς B (m)



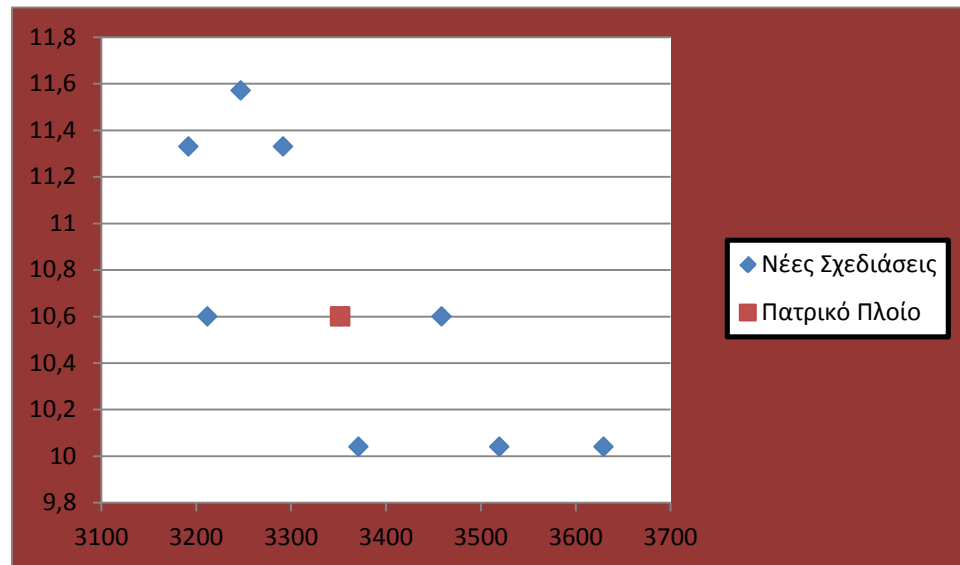
Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται με άμεσο τρόπο ότι τα μεγέθη  $B$  και περίοδος διατοιχισμού είναι αντιστρόφως ανάλογα. Ένας αριθμός σχεδιάσεων έχει το ίδιο  $B$  και ως εκ τούτου εμφανίζονται μόνο τέσσερις τιμές  $B$  στο διάγραμμα, όσες ήταν και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις αρχικές υποθέσεις.

**Διάγραμμα 6.1.3**  
Roll Period (s) ως προς  $L/B$



Μεγαλύτερες τιμές  $B$  επιφέρουν μείωση της τιμής της περιόδου διατοιχισμού. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, σε κάθε οικογένεια πλοίων με κοινό λόγο  $L/B$ , παρατηρείται μια διακύμανση των τιμών της περιόδου διατοιχισμού. Τις υψηλότερες τιμές τις λαμβάνουν οι σχεδιάσεις με τα μικρότερα  $B$ , και είναι ταυτόσημες με τις σχεδιάσεις από άλλες οικογένειες λόγων  $L/B$ , με ίδιο όμως  $B$ .

**Διάγραμμα 6.1.4**  
Roll Period (s) ως προς  $\Delta$  (t)



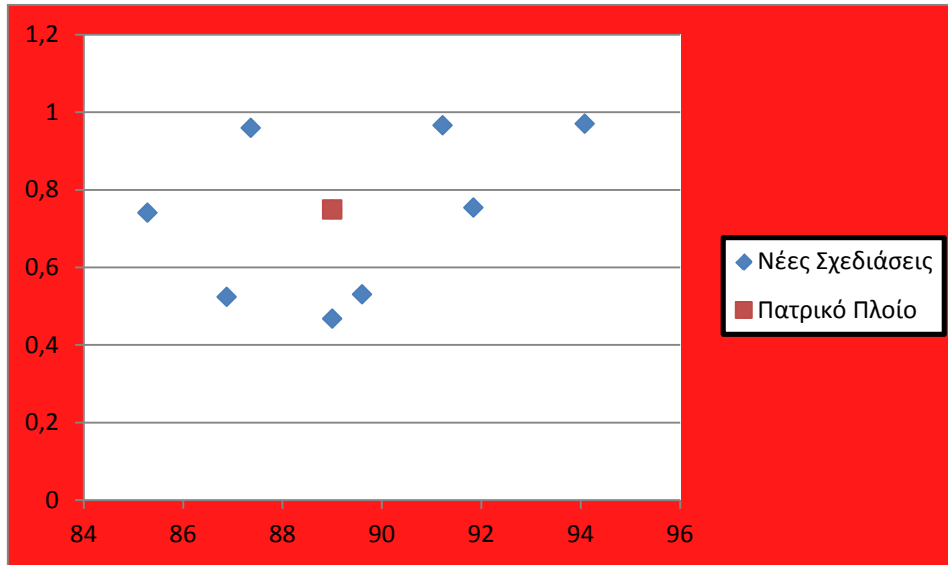
Γενικώς παρά την εξάρτηση της περιόδου διατοιχισμού από το πλάτος του πλοίου, οι σχεδιάσεις με το μεγαλύτερο εκτόπισμα δείχνουν να παρουσιάζουν μειονέκτημα ως προς τον τομέα αυτό.

Συμπέρασμα: Παρατηρείται έντονη εξάρτηση της περιόδου διατοιχισμού από το  $B$  της κάθε σχεδίασης, κάτι που γίνεται κατανοητό και από τον τύπο με βάση τον οποίο υπολογίζεται η περίοδος διατοιχισμού. Σε κάθε περίπτωση από το τελευταίο διάγραμμα προκύπτει ότι όλες οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο  $\Delta$  από του πατρικού πλοίου, επιτυγχάνουν ισοδύναμα ή δυσμενέστερα αποτελέσματα σε ότι αφορά το κριτήριο αυτό.

## Κριτήριο 2 Intact Stability

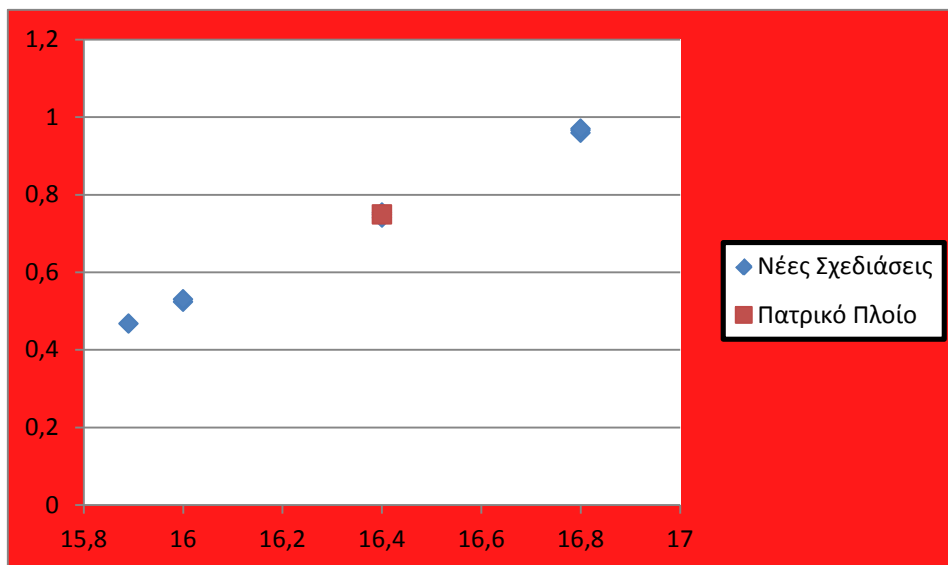
Στο σημείο αυτό επιλέχθηκε ως «μέτρο» για την αξιολόγηση κάθε σχεδίασης, σε ό,τι αφορά την άθικτη ευστάθεια, το περιθώριο μεταξύ της τιμής του επιτευχθέντος  $GM$  ( $GM_{Attained}$ ) και του απαιτούμενου  $GM$  ( $GM_{Required}$ ) στην κατάσταση φόρτωσης που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο από τα τρία βυθίσματα για τα οποία έγινε έλεγχος ( $GM_{margin-Deepest}$ ).

**Διάγραμμα 6.2.1**  
GMmargin(Deepest) (m) προς L (m)



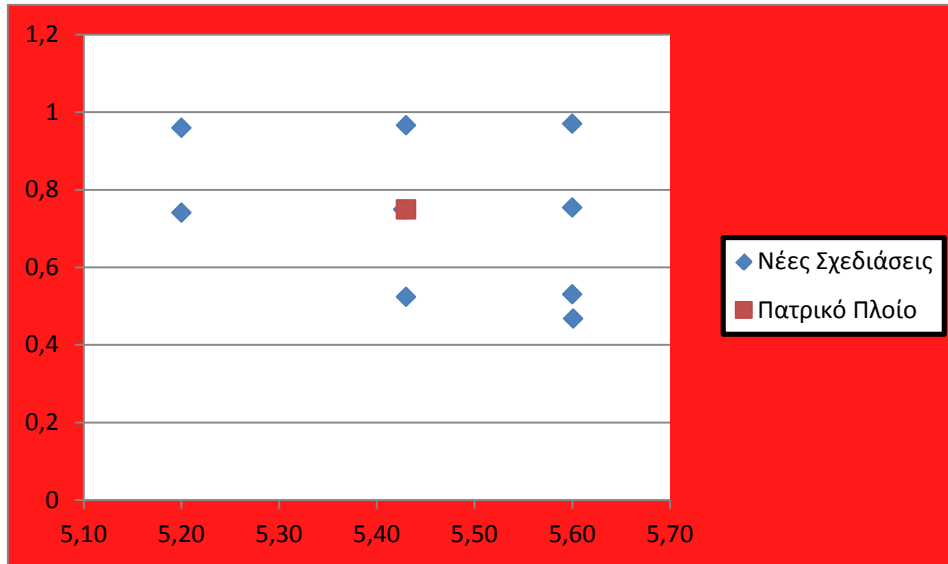
Από το διάγραμμα αυτό δεν προκύπτει άμεση εξάρτηση του GMmargin σε σχέση με το L. Γενικώς οι δύο μεγαλύτερες τιμές L παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με το πατρικό πλοίο. Ταυτόχρονα όμως παρατηρείται ότι η ίδια τιμή GMmargin αντιστοιχεί σε περισσότερες της μιας τιμές L, που σημαίνει ότι σχετίζονται κατά βάσει με άλλη σχεδιαστική παράμετρο και όχι με το L

**Διάγραμμα 6.2.2**  
GMmargin (Deepest) (m) ως προς B (m)



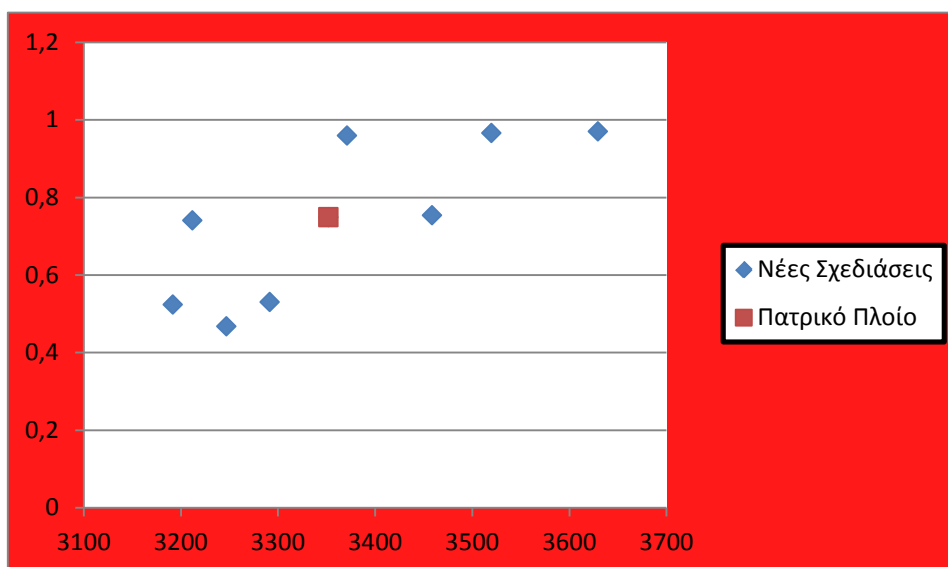
Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει η άμεση εξάρτηση του GMmargin από το B. Παρατηρείται ότι το διάγραμμα αυτό είναι συμμετρικό με το διάγραμμα «Roll Period ως προς B», κάτι που είναι λογικό εάν ληφθεί υπόψη ο τύπος που δίνει την Roll Period.

**Διάγραμμα 6.2.3**  
GMmargin (Deepest) (m) ως προς L/ B



Η καθοριστική σημασία του B σε ότι αφορά την τιμή του GMmargin που επιτυγχάνει η κάθε σχεδίαση φαίνεται από το γεγονός ότι σχεδιάσεις με διαφορετικό λόγο L/B, έχουν την ίδια τιμή GMmargin που οφείλεται στο ότι έχουν ίδιο πλάτος.

**Διάγραμμα 6.2.4**  
GMmargin (Deepest) (m) ως προς Δ (t)





Το διάγραμμα αυτό δεν οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα για τη σχέση  $\Delta$  και  $GM_{margin}$ . Οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο εκτόπισμα δείχνουν να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες τιμές  $GM_{margin}$ , σε σχέση με το πατρικό πλοίο. Παρά ταύτα το γεγονός ότι μια σειρά από σχεδιάσεις με διαφορετικό εκτόπισμα έχουν την ίδια τιμή  $GM_{margin}$ , αποδεικνύει ότι ο καθοριστικός παράγοντας για την τιμή του  $GM_{margin}$  είναι το  $B$ .

Συμπέρασμα: Η τιμή του  $GM_{margin}$  είναι ευθέως ανάλογη του  $B$ . Αυτό έχει σαν συνέπεια να αυξάνονται τα περιθώρια ασφάλειας αλλά ταυτόχρονα να δημιουργούνται ζητήματα σχετικά με την άνεση των επιβατών λόγω της μείωσης της περιόδου διατοιχισμού.

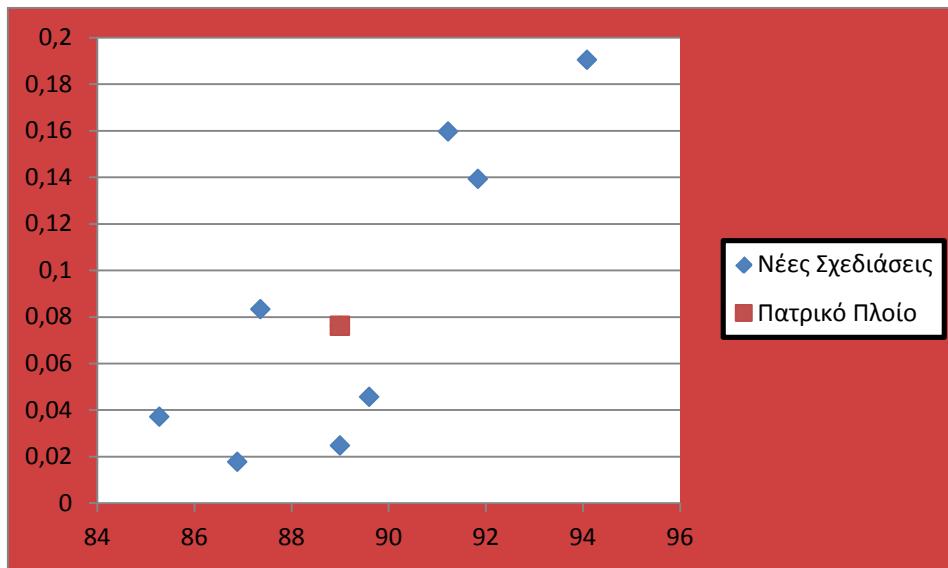
### Κριτήριο 3 Damage Stability

Κάθε σχεδίαση για την οποία ισχύει  $A \geq R$ , είναι αποδεκτή κατά τα προαναφερθέντα. Ένας τρόπος για τη σύγκριση της επίδοσης σε αυτόν τον τομέα σχεδιάσεων, οι οποίες είναι όλες αποδεκτές, είναι η χρήση ενός συντελεστή που θα παρουσιάζει το περιθώριο μεταξύ του δείκτη  $A$  και του  $R$ . Ως εκ τούτου στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο η τιμή  $A_{margin}$ , όπου έχουμε θεωρήσει ότι  $A_{margin} = A - R$ . Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να γίνει μια παρατήρηση ακόμη: Μέχρι τώρα η επίτευξη της ανισότητας  $A \geq R$  λαμβάνεται υπόψη κατά βάση ως περιορισμός και όχι ως μια πρόσθετη παράμετρος για τη βελτιστοποίηση μιας σχεδίασης. Αυτό μπορεί να αλλάξει εάν ληφθεί υπόψη ο δείκτης  $GCAF$  (*Gross Cost for Averting a Fatality*), ο οποίος ουσιαστικά έχει τη σημασία της αξιολόγησης του κόστους που επιφέρουν οι τροποποιήσεις σε μια σχεδίαση προκειμένου να αποφευχθεί ένας θάνατος. Ο τύπος που δίνει τον δείκτη αυτόν είναι:

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

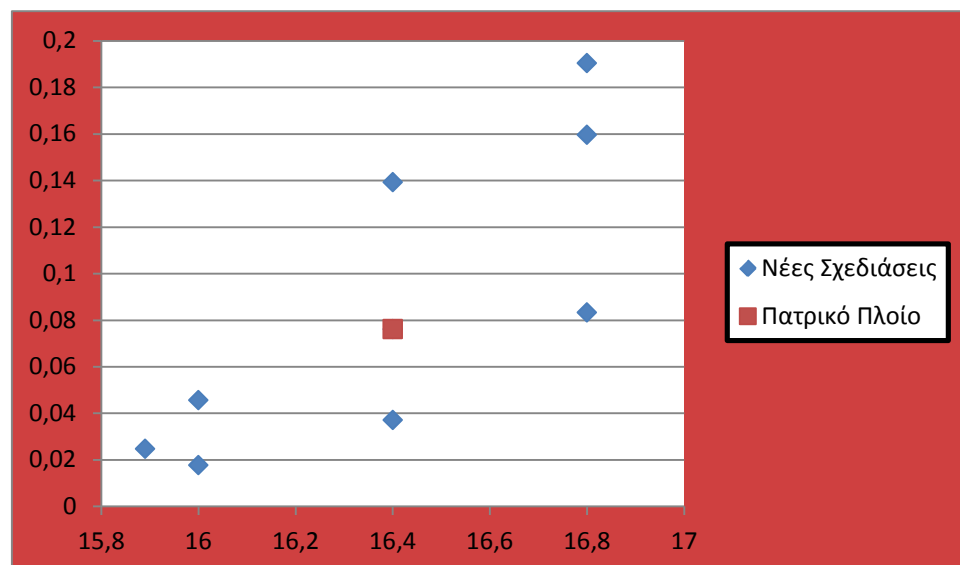
όπου  $\Delta C$  το κόστος που συνεπάγεται μια μετατροπή προς τη μείωση της διακινδύνευσης. Αυτή με τη σειρά της δίνεται μέσω του δείκτη  $PLL$  (*Potential Loss of Life*). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για τη βελτιστοποίηση πλοίων [25], η απώλεια ζωής στη θάλασσα συνδέεται άμεσα με την ανατροπή του πλοίου. Ως εκ τούτου ο δείκτης  $A$  αποκτά μια επιπλέον σημασία, πέρα από το να θεωρείται απλώς ένα όριο ασφάλειας του πλοίου. Η αναφορά αυτή γίνεται λόγω της αυξανόμενης σημασίας δεικτών όπως του  $GCAF$  σε μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης της ασφάλειας στη θάλασσα, παρά το γεγονός ότι δεν υπολογίζεται στην εργασία αυτή καθώς δεν ελήφθησαν υπόψη τα κόστη λειτουργίας κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής των σχεδιάσεων.

**Διάγραμμα 6.3.1**  
Amargin ως προς L (m)



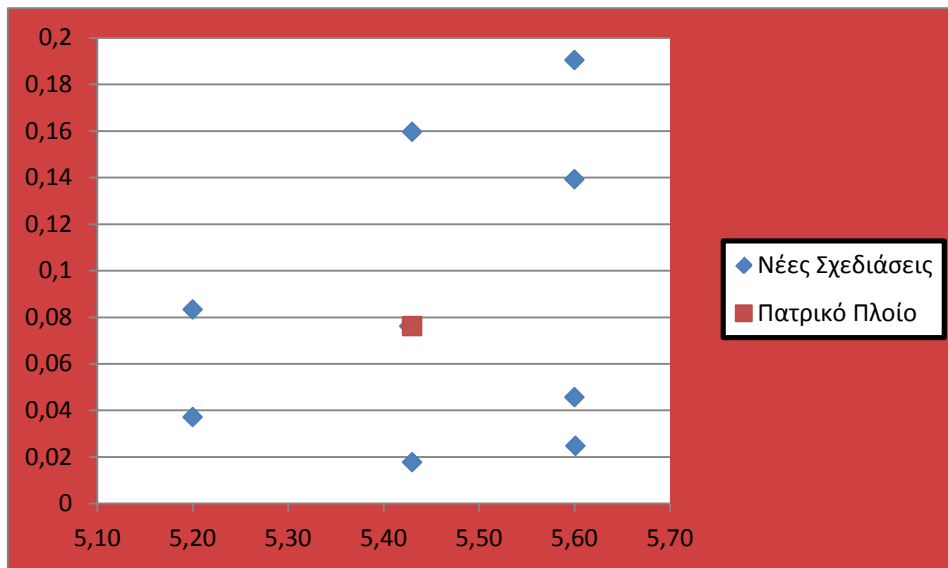
Η αύξηση του L στις νέες σχεδιάσεις δείχνει να επιδρά με τρόπο καθοριστικό στις επιτευχθείσες τιμές του Amargin, (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες τιμές του GMmargin)

**Διάγραμμα 6.3.2**  
Amargin ως προς B (m)



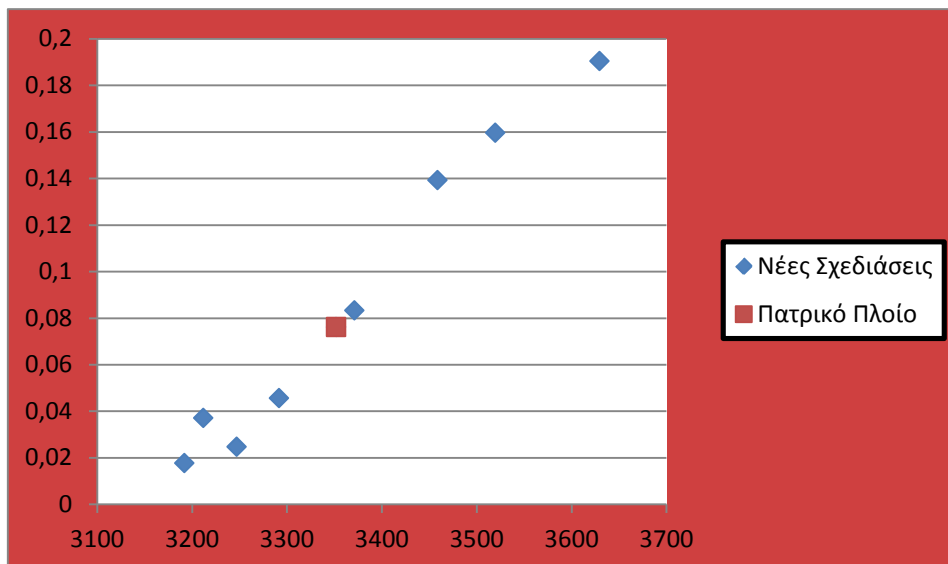
Όπως φαίνεται στην περίπτωση αυτή, για τις ίδιες τιμές του B παρατηρούνται διαφορετικές τιμές του Amargin, κάτι που αποδεικνύει τη συσχέτιση του με τις αντίστοιχες τιμές του L.

**Διάγραμμα 6.3.3**  
Amargin ως προς L/B



Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι μέγιστες τιμές κάθε οικογένειας λόγων L/B είναι μεγαλύτερες όσο ο λόγος αυτός αυξάνει. Επιπλέον συγκρίνοντας τις σχεδιάσεις της ίδιας οικογένειας φαίνονται διαφοροποιήσεις οι οποίες σχετίζονται με την αύξηση της τιμής Amargin σε σχέση με την αύξηση του L.

**Διάγραμμα 6.3.4**  
Amargin ως προς Δ (t)

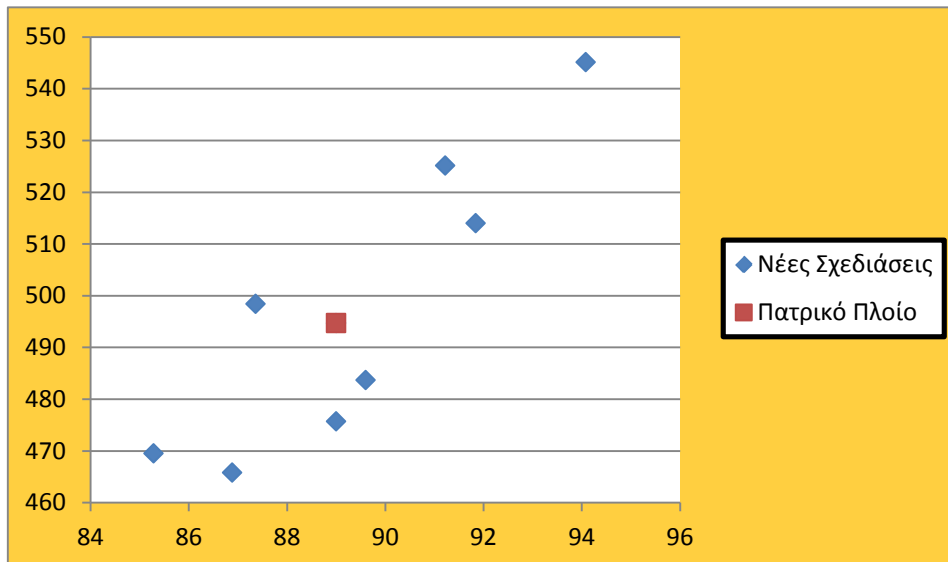


Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται καθαρά η βελτίωση της απόδοσης των σχεδιάσεων σε ότι αφορά το Amargin, με αύξηση του Δ της εκάστοτε σχεδίασης.

Συμπέρασμα: Κατ' αναλογία με τη σχέση B-GMmargin, φαίνεται να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση L-Amargin. Ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί και το γεγονός ότι μεγαλύτερες τιμές του L δίνουν και μεγαλύτερους αριθμούς R. Υπενθυμίζεται ότι  $Amargin = A - R$ . Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του μήκους οδηγεί σε μεγαλύτερα επίπεδα ασφαλείας (δείκτης A), σε μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφαλείας (δείκτης R), αλλά τελικά και σε μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας (Amargin).

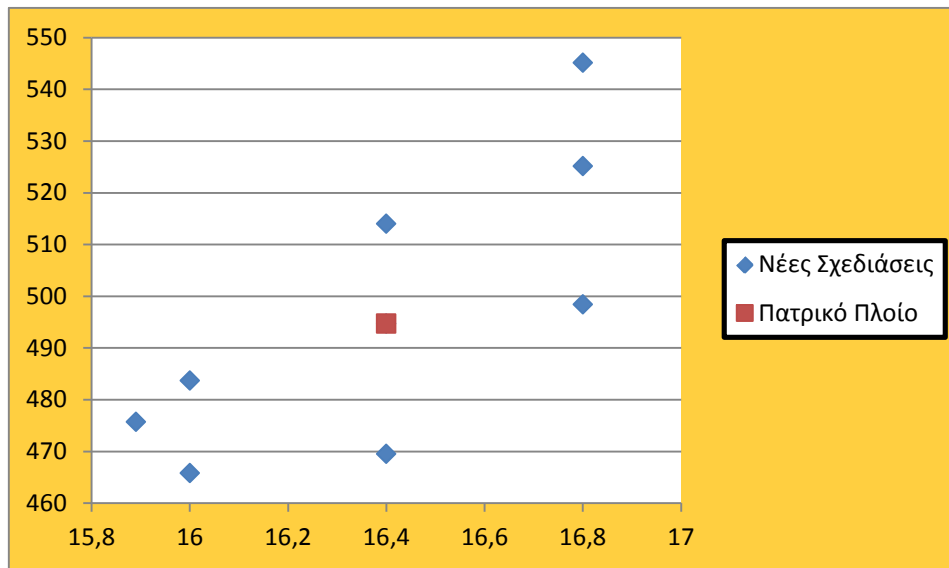
## Κριτήριο 4 Payload

**Διάγραμμα 6.4.1**  
Payload (t) ως προς L (m)



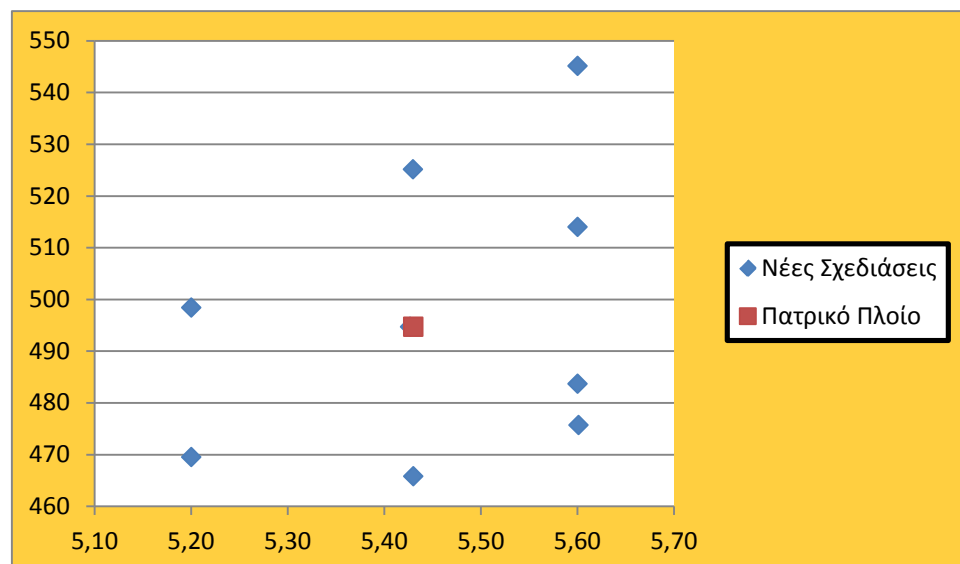
Όπως αναμενόταν, αύξηση του μήκους οδηγεί σαφώς σε αύξηση του Payload που αντιστοιχεί στις νέες σχεδιάσεις.

**Διάγραμμα 6.4.2**  
Payload (t) ως προς B (m)



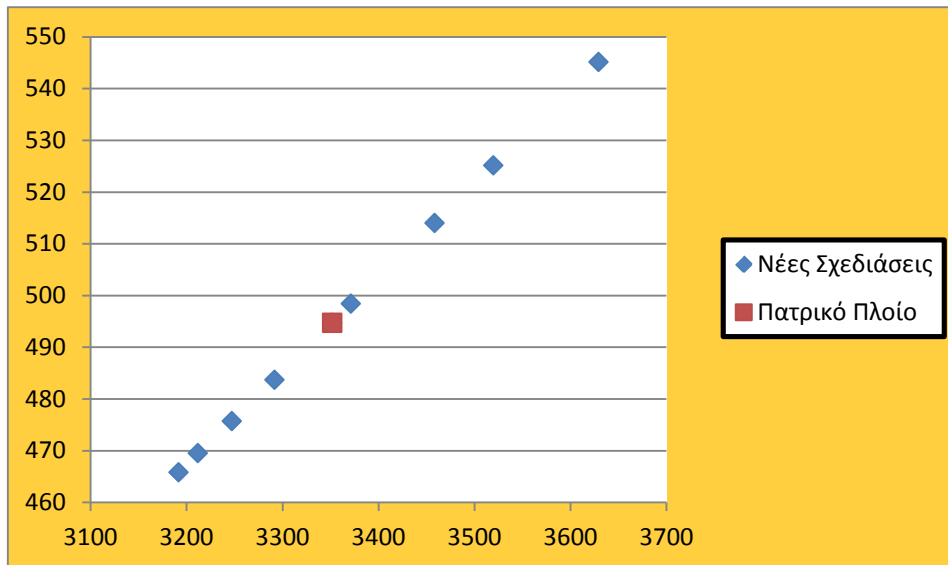
Η αύξηση του B συμβάλλει και αυτή, όπως αναμενόταν, σε αύξηση του Payload. Για ίδιες τιμές B, οι μεγαλύτερες τιμές Payload αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα L.

**Διάγραμμα 6.4.3**  
Payload (t) ως προς L/B



Τα προαναφερθέντα εκφράζονται και σε αυτό το διάγραμμα

**Διάγραμμα 6.4.4**  
Payload (t) ως προς Δ (t)



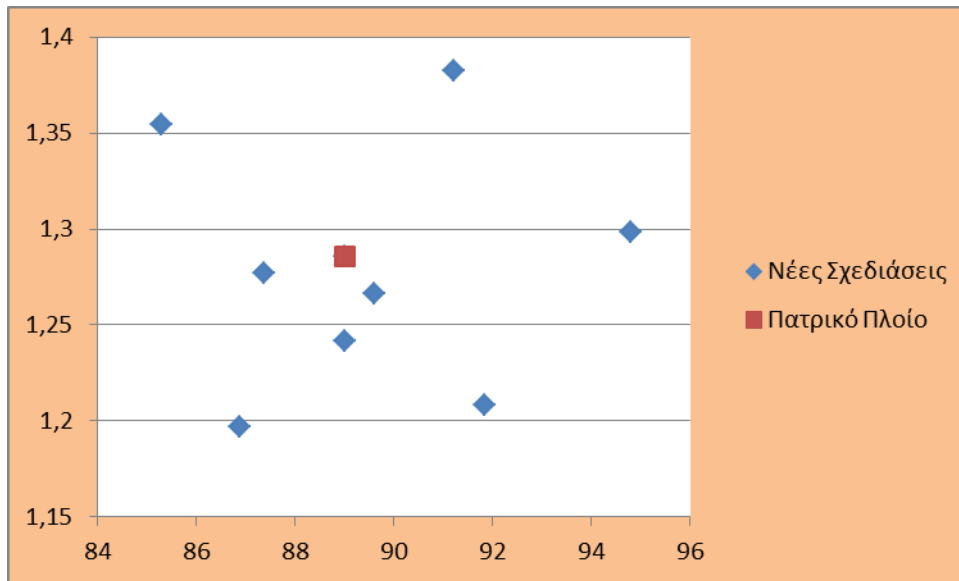
Η συσχέτιση Payload και Δ είναι σαφής όσο και αναμενόμενη.

Συμπέρασμα: Είναι σαφές ότι η αύξηση του εκτοπίσματος στις υπό μελέτη σχεδιάσεις οδηγεί σε αύξηση της μεταφορικής ικανότητας. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι οι καλύτερες επιδόσεις σε άλλα μη εμπορικά κριτήρια μπορούν να συνδυαστούν με θετικά αποτελέσματα και σε ό,τι αφορά τη οικονομική εκμετάλλευση.

### Κριτήριο 5 Fuel Consumption

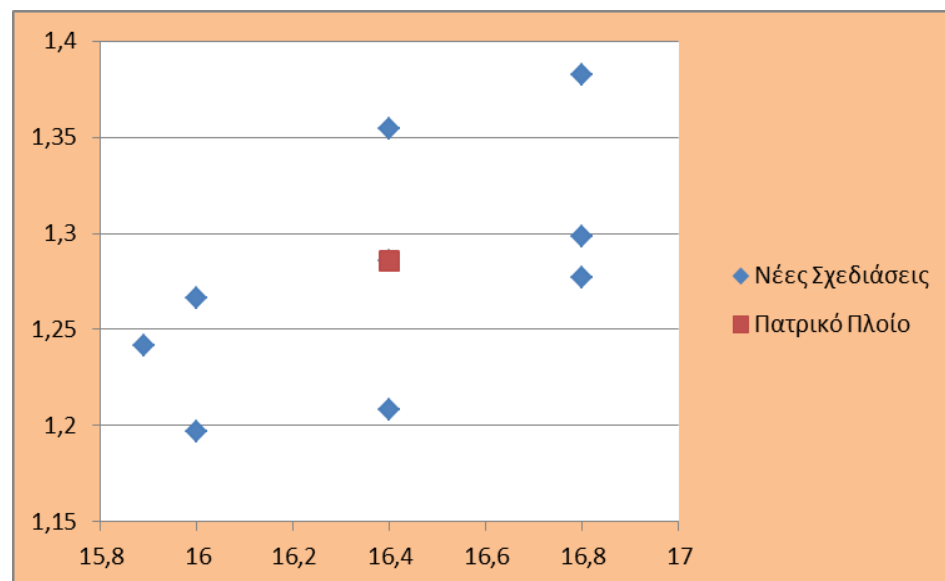
Στην περίπτωση αυτή έχουμε θεωρήσει ότι όλες οι σχεδιάσεις θα έχουν τις ίδιες μηχανές με το πατρικό πλοίο, με ειδική κατανάλωση 180 g/KWh. Κατά συνέπεια πολλαπλασιάζοντας επί την απαιτούμενη ισχύ που απαιτείται για την πρόωση κάθε σχεδίασης (έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο Holtrop) προκύπτει η ειδική κατανάλωση σε tons/h.

**Διάγραμμα 6.5.1**  
Fuel Consumption (tons/h) ως προς L (m)



Από το προηγούμενο διάγραμμα φαίνεται ότι δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τη συσχέτιση της κατανάλωσης σε καύσιμα και του μήκους των σχεδιάσεων. Ο κυριότερος λόγος που σχετίζεται με αυτό είναι το γεγονός ότι δεν έχουμε αλλαγές που να περιορίζονται στο μήκος αφήνοντας αναλλοίωτες τις άλλες διαστάσεις, κάτι που θα ευνοούσε τις σχεδιάσεις με μεγάλο μήκος, αλλά συνδυασμό στις αλλαγές των διαστάσεων.

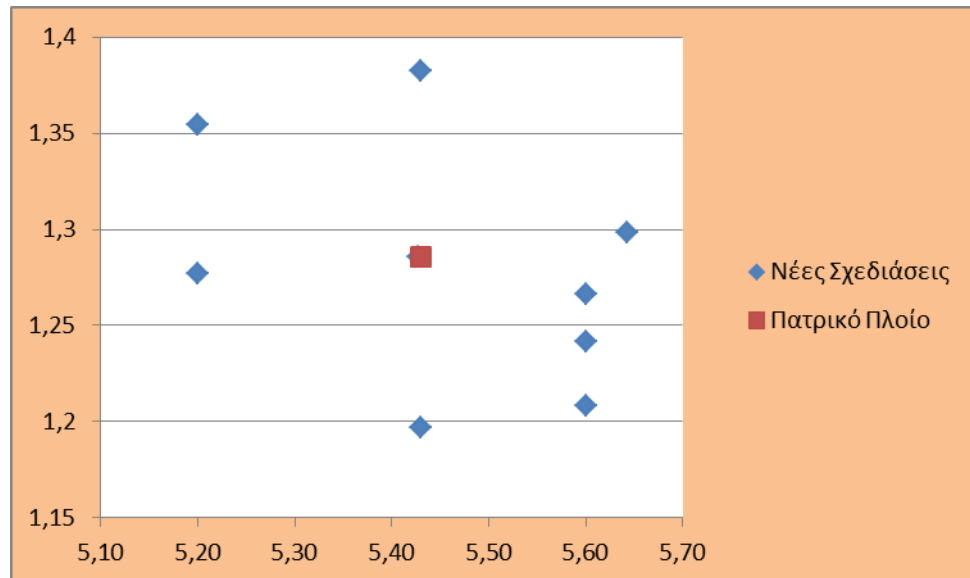
**Διάγραμμα 6.5.2**  
Fuel Consumption (tons/h) ως προς B (m)



Όπως ήταν αναμενόμενο, η αύξηση του πλάτους οδηγεί σε μεγαλύτερες απαιτήσεις ως προς κατανάλωση καυσίμου μεταξύ των οικογενειών σχεδιάσεων με ίδιο πλάτος.

**Διάγραμμα 6.5.3**

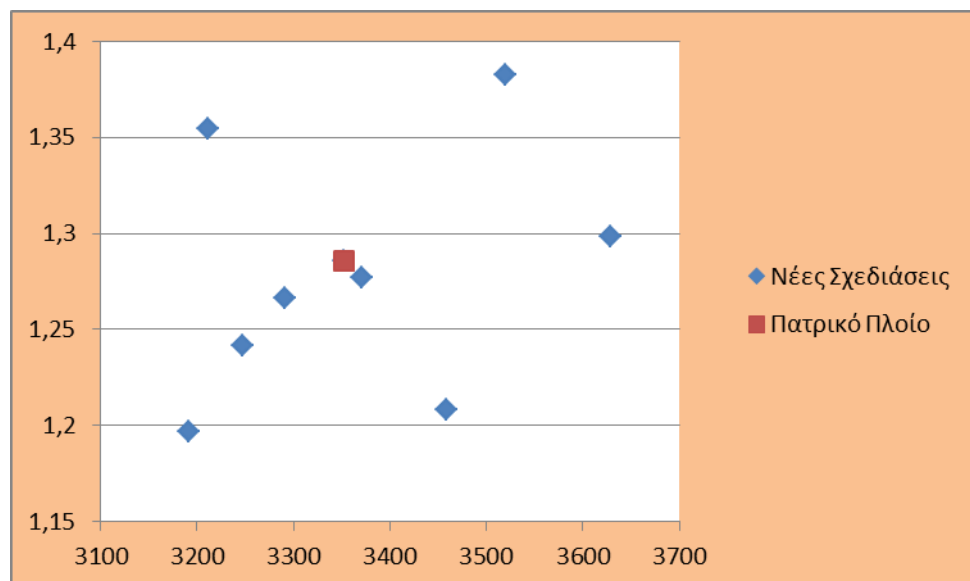
Fuel Consumption (tons/h) ως προς L/B



Παρατηρείται μια τάση μείωσης της κατανάλωσης καθώς οδηγούμαστε σε σχεδιάσεις με μεγαλύτερο λόγο L/B. Σε κάθε οικογένεια σχεδιάσεων με ίδιο λόγο L/B οι χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές μήκους.

**Διάγραμμα 6.5.4**

Fuel Consumption (tons/h) ως προς Δ (t)





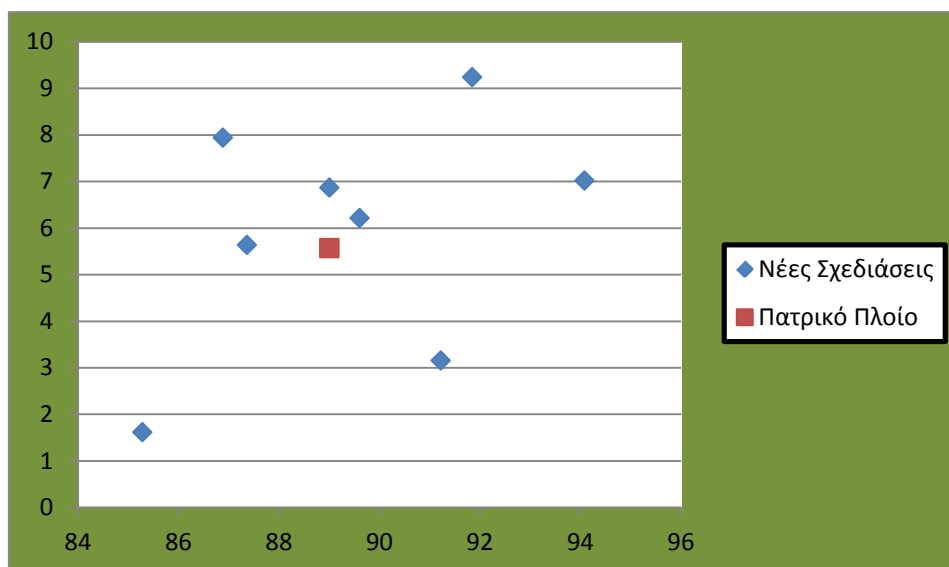
Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα υπάρχει μια τάση για αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου καθώς οδηγούμαστε σε σχεδιάσεις μεγαλύτερου εκτοπίσματος/διαστάσεων. Παρά ταύτα υπάρχουν σχεδιάσεις που ξεφεύγουν από τον κανόνα αυτόν, ενώ η σχεδίαση με το μεγαλύτερο εκτόπισμα δεν ταυτίζεται με αυτήν που έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση.

**Συμπέρασμα:** Δεν προκύπτει σαφής εξάρτηση της κατανάλωσης καυσίμου από τις διαστάσεις των σχεδιάσεων. Ως εκ τούτου είναι σημαντικό το κριτήριο αυτό να εξεταστεί σε σχέση με άλλα προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τα αποτελέσματα που επιφέρουν οι αλλαγές στις διαστάσεις των σχεδιάσεων.

### Κριτήριο 6 EEDImargin

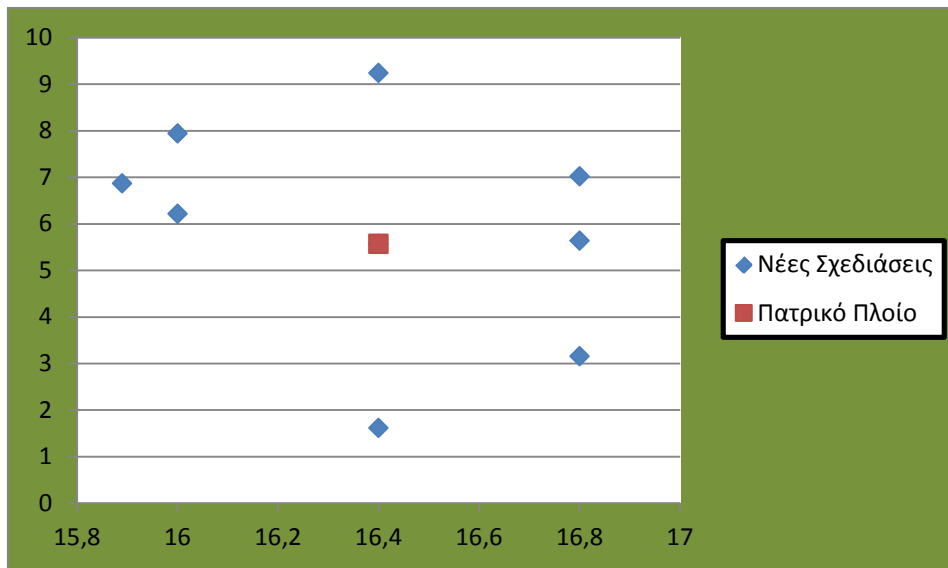
Ως μέτρο της ενεργειακής αποδοτικότητας κάθε σχεδίασης χρησιμοποιούμε το περιθώριο μεταξύ του μέγιστου επιτρεπτού δείκτη EEDI και αυτού που τελικά επιτυγχάνεται από την εκάστοτε σχεδίαση. Το κριτήριο αυτό επιλέχθηκε έναντι της τιμής του δείκτη EEDI, καθώς παρέχει μια ένδειξη για την πιθανότητα μια σχεδίαση να εξακολουθεί να είναι αποδεκτή ακόμη και σε περίπτωση μελλοντικών τροποποιήσεων στις απαιτήσεις.

**Διάγραμμα 6.6.1**  
EEDImargin ως προς L (m)



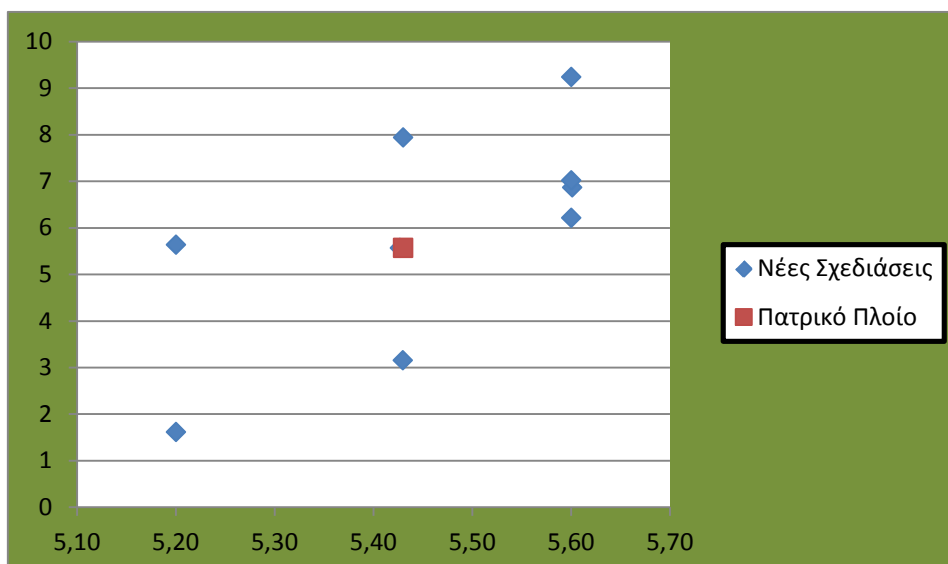
Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο μήκος έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερα περιθώρια σε σχέση με τις σχεδιάσεις με μικρότερο μήκος.

**Διάγραμμα 6.6.2**  
EEDImargin ως προς B (m)



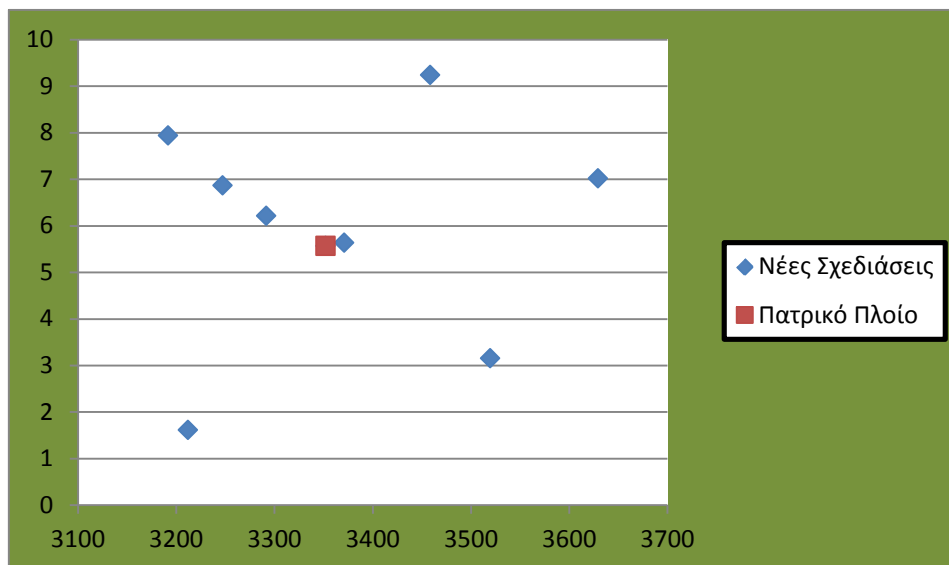
Καθώς κινούμαστε προς οικογένειες σχεδιάσεων με μεγαλύτερο πλάτος παρατηρείται η τάση για μείωση του περιθωρίου. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς μεγαλύτερο πλάτος συνεπάγεται δυσμενείς επιπτώσεις ως προς την αντίσταση κάθε σχεδίασης. Σε κάθε οικογένεια σχεδιάσεων ίδιου πλάτους, η χαμηλότερη επίδοση ανήκει στη σχεδίαση με το μικρότερο μήκος.

**Διάγραμμα 6.6.3**  
EEDImargin ως προς L/B



Αύξηση του λόγου L/B βελτιώνει το περιθώριο.

**Διάγραμμα 6.6.4**  
EEDImargin ως προς  $\Delta$  (t)



Το διάγραμμα αυτό δε μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τη συσχέτιση EEDImargin και  $\Delta$ . Παρατηρείται πάντως ότι τα μεγαλύτερα περιθώρια αντιστοιχούν στις δύο σχεδιάσεις με το μεγαλύτερο εκτόπισμα.

Συμπέρασμα: Όπως αναμενόταν, η αύξηση του μήκους έχει ευνοϊκή επίδραση στο περιθώριο του δείκτη EEDI. Αντίστοιχα η αύξηση του πλάτους επιφέρει δυσμενείς συνέπειες. Και οι δύο περιπτώσεις σχετίζονται με την επίδραση της αντίστασης και άρα της απαιτούμενης ισχύος. Παρά ταύτα η προσπάθεια να διατηρηθούν οι λόγοι  $L/B$  σταθεροί δημιουργεί μια μάλλον ακανόνιστη εικόνα στο διάγραμμα που συνδέει το περιθώριο με το  $\Delta$ .

### Κριτήριο 7 Κόστος Κτήσης

Προκειμένου να εκτιμηθεί το κόστος κτήσης των εναλλακτικών σχεδιάσεων χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε στην εργασία [24]. Σύμφωνα με αυτήν το κόστος κτήσης είναι το άθροισμα του κόστους μεταλλικής κατασκευής  $K_{ST}$ , του κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού  $K_M$  και του κόστους ενδιαίτησης και εξοπλισμού  $K_{OT}$ .

Για κάθε μια από τις επιμέρους κατηγορίες κόστους γίνονται οι ακόλουθοι αναλυτικοί υπολογισμοί:

- Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής

- Εργατικό Κόστος: Οι απαιτούμενες εργατοώρες δίνονται από τον τύπο:

$$MHS_{ST} = 243 \cdot W_{ST}^{0.86}$$

Κάθε εργατοώρα θεωρείται ότι κοστίζει 30 \$. Ως εκ τούτου το εργατικό κόστος υπολογίζεται σε:

$$CMH_{ST} = 30 \cdot MHS_{ST} (\$)$$

- Κόστος Πρώτων Υλών: Υπολογίζεται κόστος χάλυβα 1000\$/ton και 15% φόρα. Άρα

$$C_{ST} = 1.15 \cdot 1000\$ / ton \cdot W_{ST}$$

και κατά συνέπεια το κόστος ανέγερσης της μεταλλικής κατασκευής είναι:

$$C_{ST} = CMH_{ST} + CS_{ST} (\$)$$

- Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

- Εργατικό Κόστος: Οι απαιτούμενες εργατοώρες δίνονται από τον τύπο:

$$MHS_{OT} = 8160 \cdot \left( \frac{L \cdot B \cdot D}{1000} \right)^{0.75}$$

Κάθε εργατοώρα θεωρείται ότι κοστίζει 30\$. Ως εκ τούτου το εργατικό κόστος υπολογίζεται σε:

$$CMH_{OT} = 30 \cdot MHS_{OT} (\$)$$

- Κόστος Πρώτων Υλών. Χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$CS_{OT} = 8500 \cdot W_{OT}^{0.95} (\$)$$

Κατά συνέπεια το συνολικό κόστος εξοπλισμού είναι:

$$C_{OT} = CMH_{OT} + CS_{OT} (\$)$$

- Κόστος Μηχανολογικού Εξοπλισμού

- Εργατικό Κόστος: Οι απαιτούμενες εργατοώρες δίνονται από τον τύπο:

$$MHS_M = 12000 \cdot \left( \frac{BHP}{1000} \right)^{0.3}$$

Κάθε εργατοώρα θεωρείται ότι κοστίζει 30\$. Ως εκ τούτου το εργατικό κόστος υπολογίζεται σε:

$$CMH_M = 30 \cdot MHS_M (\$)$$

- Κόστος Πρώτων Υλών. Θεωρείται πως το κόστος αντιστοιχεί σε 500\$/BHP. Κατά συνέπεια λαμβάνουμε

$$CS_M = 500 \cdot BHP (\$)$$

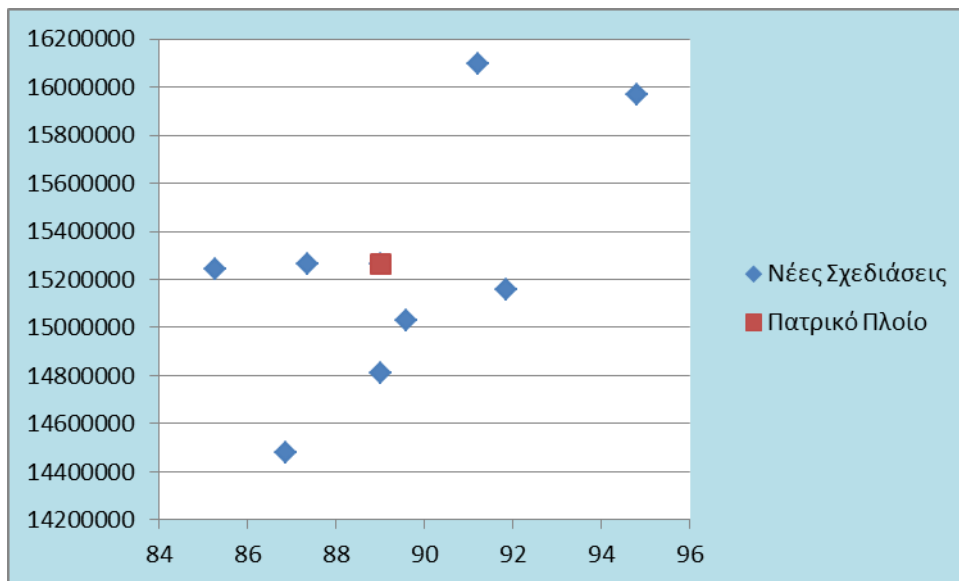
άρα το συνολικό κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού είναι:

$$C_M = CMH_M + CS_M (\$)$$

### Παρατήρηση

Στα προηγούμενα βήματα η ισχύς πρόωσης υπολογίστηκε σε Kw. Η μετατροπή σε BHP γίνεται με τον τύπο:  $1kW = 1.34BHP$ .

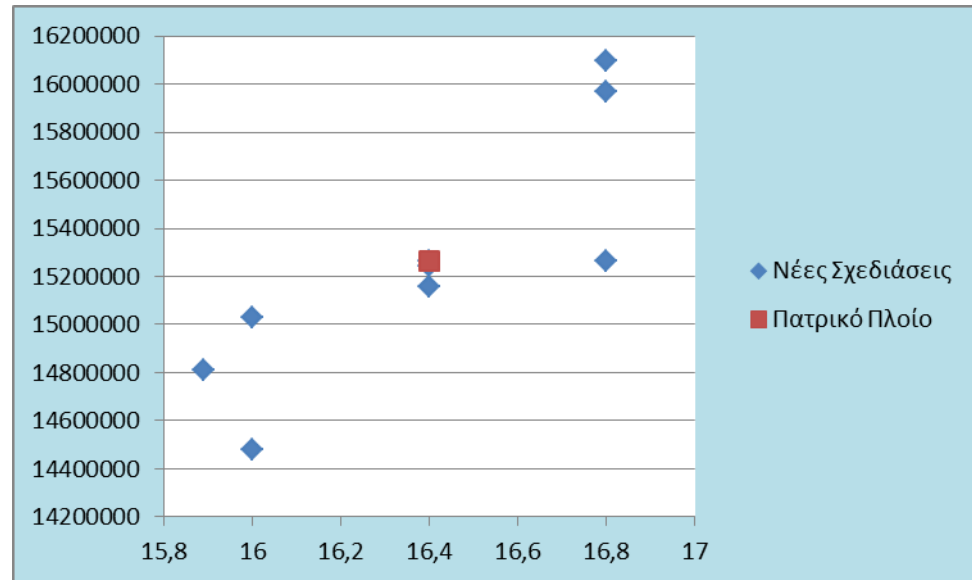
**Διάγραμμα 6.7.1**  
Κόστος Κτήσης (\$) ως προς L (m)



Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα δεν μπορεί να υπάρξει μια αυστηρή συσχέτιση μεταξύ του κόστους κτήσης και του μήκους της κάθε σχεδίασης. Αυτό οφείλεται σε κάποιον βαθμό στο γεγονός ότι το συνολικό κόστος κτήσης είναι το αποτέλεσμα της άθροισης του κόστους της μεταλλικής κατασκευής, του εξοπλισμού (καταστρώματος και χώρων ενδιαίτησης) και της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου. Ως εκ τούτου η αύξηση του μήκους αυξάνει το κόστος της μεταλλικής κατασκευής, αλλά δημιουργεί πιο ευνοϊκά αποτελέσματα σχετικά με την αντίσταση

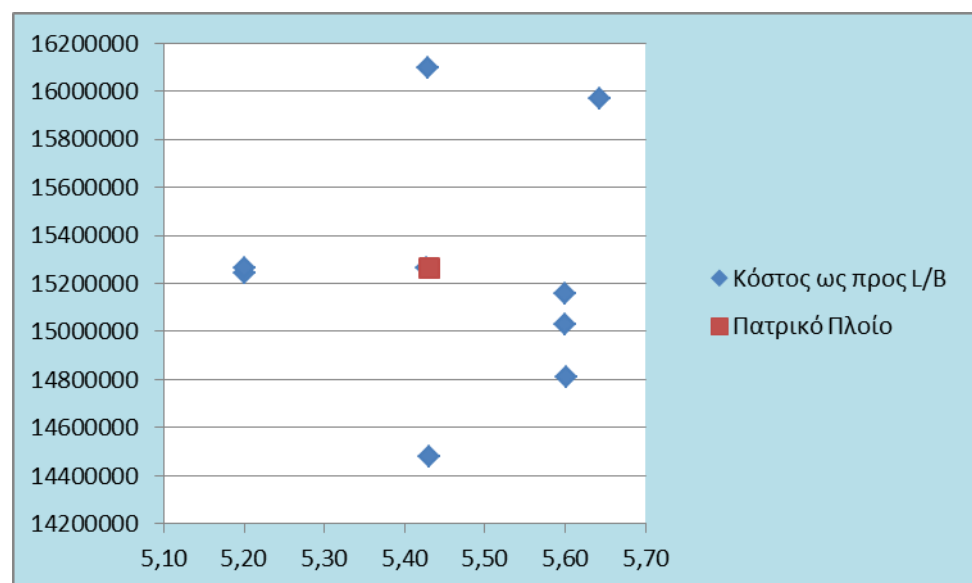
και κατά συνέπεια με την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης. Επομένως τα αποτελέσματα δείχνουν να έχουν ακανόνιστη μορφή. Σε κάθε περίπτωση γίνεται φανερό ότι οι σχεδιάσεις με το μεγαλύτερο μήκος συνεπάγονται και το μεγαλύτερο κόστος κτήσης.

**Διάγραμμα 6.7.2**  
Κόστος Κτήσης (\$) ως προς B (m)



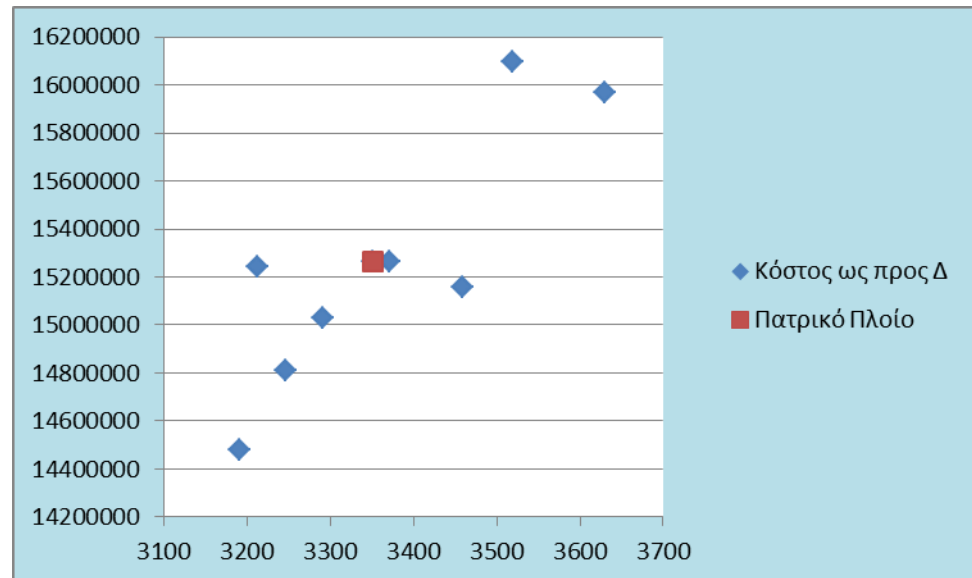
Σε σχέση με το προηγούμενο διάγραμμα, η σχέση του κόστους κτήσης με το πλάτος είναι πιο σαφής. Καθώς μεταβαίνουμε σε οικογένειες σχεδιάσεων με μεγαλύτερο πλάτος, το κόστος κτήσης γίνεται μεγαλύτερο. Για τις περιπτώσεις σχεδιάσεων με ίδιο πλάτος, μεγαλύτερο κόστος παρουσιάζουν οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο μήκος.

**Διάγραμμα 6.7.3**  
Κόστος Κτήσης (\$) ως προς L/B



Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα διαγράμματα η αύξηση του μήκους των σχεδιάσεων συνδέεται με αυξημένο κόστος κτήσης κάτι που γίνεται αντιληπτό και μεταξύ σχεδιάσεων του ίδιου λόγου L/B

**Διάγραμμα 6.7.4**  
Κόστος Κτήσης (\$) ως προς Δ (t)



Γενικά από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι αύξηση του εκτοπίσματος οδηγεί σε σχεδιάσεις με μεγαλύτερο κόστος κτήσης. Παρά ταύτα η συσχέτιση των δύο μεγεθών απέχει πολύ από το να χαρακτηριστεί γραμμική.

**Συμπέρασμα:** Η επιλογή για αύξηση των διαστάσεων των σχεδιάσεων είναι αναπόφευκτο να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος κτήσης. Ο παράγοντας αυτός αντισταθμίζει τις θετικές επιδράσεις που υπάρχουν σε σχέση με τα άλλα κριτήρια.





## VII. Σύγκριση Επίδοσης των Σχεδιάσεων

Στο σημείο αυτό αξιολογείται η επίδοση των πλοίων στα κριτήρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ακολουθώντας μια απλή μεθοδολογία. Τα πλοία κατατάσσονται σε φθίνουσα ή αύξουσα σειρά ανάλογα με το αν επιθυμείται η ελάττωση (π.χ. EEDI, περίοδος διατοιχισμού, κατανάλωση καυσίμου) ή η μεγιστοποίηση (π.χ. Payload) του κάθε κριτηρίου. Έτσι το κάθε πλοίο καταλαμβάνει μια θέση από 1 (καλύτερη επίδοση ως προς το συγκεκριμένο κριτήριο) έως 11 (χειρότερη επίδοση). Στη συνέχεια ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται λαμβάνουν έναν βαθμό. Το πλοίο που βρίσκεται στην πρώτη θέση λαμβάνει βαθμό 11 και το πλοίο που βρίσκεται στην τελευταία θέση λαμβάνει βαθμό 1. Με την ύπαρξη συγκεκριμένης βαθμολογίας για κάθε κριτήριο είναι δυνατή η τελική αξιολόγηση λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των κριτηρίων. Σημειώνεται ότι σε κάποιες περιπτώσεις, για την αξιολόγηση κάθε σχεδίασης δε λαμβάνεται υπόψη η ίδια η τιμή ενός δείκτη, αλλά το περιθώριο που υπάρχει σε σχέση με κάποια απαίτηση (*GMmargin*, *Amargin*, *EEDImargin*). Τα αποτελέσματα δίνονται αναλυτικά στη συνέχεια.

### Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς Intact Stability (Deepest Subdivision)

α/α	GM Required	GMAttained	Margin	Rank1	Rank2	Βαθμός
2	1.3875	2.1284	0.7409	4	6	4
3	1.2492	1.7731	0.5239	8	8	2
4	1.5293	2.4883	0.9590	3	3	7
5	1.3776	2.1267	0.7491	6	5	5
6	1.2438	1.7738	0.5300	7	7	3
7	1.2101	1.678	0.4679	9	9	1
9	1.523	2.4884	0.9654	2	2	8
10	1.3741	2.1279	0.7538	5	4	6
11	1.5189	2.4891	0.9702	1	1	9

Σε ότι αφορά την αξιολόγηση της άθικτης ευστάθειας, οι σχεδιάσεις αξιολογούνται με βάση το GM στην Deepest Subdivision Loading (*Rank 1*) και με βάση τη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ της τιμής του GM που απαιτείται και αυτού που επιτυγχάνεται (*Rank 2*). Και στις δύο περιπτώσεις οι σχεδιάσεις κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά, όπου καλύτερη σχεδίαση θεωρείται αυτή που λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή GM και αυτή που έχει τη μεγαλύτερη διαφορά από την απαιτούμενη αντίστοιχα. Και στις δύο προσεγγίσεις την καλύτερη επίδοση την παρουσιάζει η σχεδίαση **v.11** και την χειρότερη η **v.7**. Για τη βαθμολόγηση των σχεδιάσεων τελικά χρησιμοποιείται το περιθώριο (*Margin*) μεταξύ της απαιτούμενης και της επιτευχθείσας τιμής.

#### Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς Damage Stability

<i>a/a</i>	R	A	Margin	Rank1	Rank2	Βαθμός
<b>2</b>	0.741185	0.77827	0.037085	7	7	3
<b>3</b>	0.741215	0.75896	0.017745	9	9	1
<b>4</b>	0.741293	0.82454	0.083247	4	4	6
<b>5</b>	0.741246	0.81742	0.076174	5	5	5
<b>6</b>	0.741269	0.78696	0.045691	6	6	4
<b>7</b>	0.741278	0.76605	0.024772	8	8	2
<b>9</b>	0.741269	0.90091	0.159641	2	2	8
<b>10</b>	0.741301	0.88056	0.139259	3	3	7
<b>11</b>	0.741310	0.93166	0.190350	1	1	9

Στον πίνακα αυτόν καταγράφονται οι επιδόσεις των διαφόρων σχεδιάσεων σε φθίνουσα σειρά με βάση την καθαυτό τιμή του δείκτη A (*Rank1*). Εν συνεχεία παρουσιάζεται το περιθώριο (*Margin*) που προσφέρει κάθε σχεδίαση, δηλαδή η διαφορά του δείκτη A από τον R (*Rank2*). Η τελική βαθμολογία γίνεται με το *Rank2*. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρατηρείται ταύτιση στην κατάταξη των σχεδιάσεων με βάση και τα δύο κριτήρια αξιολόγησης. Καλύτερη σχεδίαση και στις δύο περιπτώσεις είναι η **v.11**, ενώ αντίστοιχα χειρότερη είναι η **v.3**.

**Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς Roll Period**

<i>a/a</i>	Req	Attained	Margin	Rank1	Rank2	Βαθμός
<b>2</b>	10	10.60	0.60	3	3	8
<b>3</b>	10	11.33	1.33	2	2	7
<b>4</b>	10	10.04	0.04	4	4	6
<b>5</b>	10	10.60	0.60	3	3	8
<b>6</b>	10	11.33	1.33	2	2	7
<b>7</b>	10	11.57	1.57	1	1	9
<b>9</b>	10	10.04	0.04	4	4	6
<b>10</b>	10	10.60	0.60	3	3	8
<b>11</b>	10	10.04	0.04	4	4	6

Στην περίπτωση αυτή οι σχεδιάσεις κατατάσσονται σε αύξουσα σειρά με βάση την καθαυτό τιμή της περιόδου διατοιχισμού (*Rank 1*). Η σχεδίαση με τη μεγαλύτερη περίοδο θεωρείται η καλύτερη, ενώ αυτή με τη μικρότερη θεωρείται πως είναι η χειρότερη. Ακόμη αξιολογείται η διαφορά που παρουσιάζει η περίοδος διατοιχισμού κάθε πλοίου από τα 10s που έχουν τεθεί ως κατώτατο όριο (*Rank 2*). Η καλύτερη σχεδίαση είναι αυτή με το μεγαλύτερο περιθώριο (*Margin*), ενώ αυτή με το μικρότερο περιθώριο θεωρείται ότι είναι η χειρότερη. Και στους δύο τρόπους αξιολόγησης παρατηρούμε ότι η σχεδίαση **v.7** δίνει την καλύτερη επίδοση ενώ οι σχεδιάσεις **v.4**, **v.9** και **v.11** δίνουν τη χειρότερη επίδοση. Επιπλέον παρατηρείται ταύτιση μεταξύ των δύο τρόπων αξιολόγησης (το κατώτατο όριο είναι σταθερό στα 10s, οπότε όσο μικρότερη η περίοδος διατοιχισμού, τόσο μικρότερη και η διαφορά από τον περιορισμό, και έτσι οι δύο τρόποι αξιολόγησης δίνουν ταυτόσημη κατάταξη). Τέλος σημειώνεται ότι οι σχεδιάσεις με το ίδιο πλάτος έχουν και ίδια περίοδο διατοιχισμού. Ως εκ τούτου λαμβάνουν όλες τον ίδιο αριθμό.

**Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς Payload**

<i>a/a</i>	Payload	Rank1	Βαθμός
2	469.5	8	2
3	465.8	9	1
4	498.4	4	6
5	494.7	5	5
6	483.7	6	4
7	475.7	7	3
9	525.16	2	8
10	514	3	7
11	545.1	1	9

Το κριτήριο για την αξιολόγηση των σχεδιάσεων σε αυτήν την περίπτωση είναι απλώς το Payload που έχει προϋπολογιστεί για κάθε ένα από αυτά, χωρίς κάποια άλλη επεξεργασία. Το πλοίο στο οποίο αντιστοιχεί το μεγαλύτερο Payload θεωρείται ότι λαμβάνει την καλύτερη επίδοση, και αυτό με το μικρότερο τη χειρότερη επίδοση. Την καλύτερη επίδοση παρουσιάζει η σχεδίαση **v.11**, ενώ τη χειρότερη η **v.3**

**Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς Fuel Consumption (σε tons/h)**

<i>a/a</i>	F.C	Rank	Βαθμός
2	13.54	8	2
3	11.97	1	9
4	12.77	5	5
5	12.86	6	4
6	12.66	4	6
7	12.41	3	7
9	13.82	9	1
10	12.08	2	8
11	12.98	7	3

Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση, η αξιολόγηση γίνεται με βάση την κατανάλωση σε καύσιμα της εκάστοτε σχεδίασης. Η κατάταξη γίνεται με αύξουσα σειρά καθώς η σχεδίαση με την μικρότερη κατανάλωση λαμβάνει και την καλύτερη επίδοση και κατά συνέπεια και το μεγαλύτερο βαθμό. Η καλύτερη επίδοση αντιστοιχεί στη σχεδίαση **v.3**, ενώ η χειρότερη στην **v.9**

#### Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς τον δείκτη EEDI

α/α	Required	Attained	Margin	Rank1	Rank2	Βαθμός
<b>2</b>	53.9079	52.2928	1.6151	9	<b>9</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	54.0585	46.1236	7.9349	3	2	8
<b>4</b>	52.7596	47.1213	5.6383	6	6	4
<b>5</b>	52.8938	47.3290	5.5648	7	7	3
<b>6</b>	53.3244	47.1121	6.2123	5	5	5
<b>7</b>	53.6480	46.7811	6.8669	4	4	6
<b>9</b>	51.7488	48.5934	3.1554	8	8	2
<b>10</b>	52.1575	42.9208	9.2367	1	<b>1</b>	<b>9</b>
<b>11</b>	51.0928	44.0760	7.0168	2	3	7

Για την αξιολόγηση της επίδοσης σε EEDI, χρησιμοποιείται η κατάταξη των πλοίων, από τον μικρότερο (καλύτερη επίδοση), στον μεγαλύτερο δείκτη EEDI (χειρότερη). Ακόμη αξιολογείται το περιθώριο της μεταξύ της εκάστοτε τιμής που προδιαγράφει ο IMO και της τιμής που λαμβάνει κάθε πλοίο (*Margin*). Η σχεδίαση με το μεγαλύτερο περιθώριο λαμβάνεται ως η καλύτερη, ενώ αυτή με το μικρότερο περιθώριο αξιολογείται ως η χειρότερη. Όπως καταγράφεται και στον πίνακα υπάρχει ταύτιση των δύο τρόπων αξιολόγησης για την καλύτερη (**v.10**) και τη χειρότερη σχεδίαση (**v.2**). Για την βαθμολόγηση των σχεδιάσεων επιλέγεται τελικά ως κριτήριο η διαφορά μεταξύ του απαιτούμενου από τον IMO δείκτη EEDI και του δείκτη που λαμβάνει κάθε σχεδίαση.

**Επίδοση Σχεδιάσεων ως προς το Κόστος Κτήσης**

<b>a/a</b>	<b>Κόστος Κτήσης</b>	<b>Rank</b>	<b>Βαθμός</b>
<b>2</b>	15240186	5	5
<b>3</b>	14478148	1	<b>9</b>
<b>4</b>	15264433	7	3
<b>5</b>	15261851	6	4
<b>6</b>	15029637	3	7
<b>7</b>	14810320	2	8
<b>9</b>	16094775	9	<b>1</b>
<b>10</b>	15158847	4	6
<b>11</b>	15970819	8	2

Η αξιολόγηση στην περίπτωση αυτή γίνεται με βάση το κόστος κτήσης της εκάστοτε σχεδίασης. Η κατάταξη γίνεται με αύξουσα σειρά καθώς η σχεδίαση με το μικρότερο κόστος κτήσης λαμβάνει και την καλύτερη επίδοση και κατά συνέπεια και το μεγαλύτερο βαθμό. Η καλύτερη επίδοση αντιστοιχεί στη σχεδίαση **v.3**, ενώ η χειρότερη στην **v.9**

**Μεθοδολογία Αξιολόγησης των σχεδιαστικών προτάσεων**

Στα βήματα που προηγήθηκαν αξιολογήθηκε η επίδοση των προτεινόμενων σχεδιάσεων ως προς μια σειρά από κριτήρια. Όπως γίνεται σαφές και από τα στοιχεία των πινάκων που προηγήθηκαν, πολλά από τα κριτήρια αυτά είναι μεταξύ τους, είτε αλληλοσυγκρουόμενα (στην δυσμενέστερη περίπτωση), είτε απλώς ασύνδετα μεταξύ τους (η πιο ευνοϊκή περίπτωση), κατά συνέπεια δεν υπάρχει κάποια σχεδίαση που να λαμβάνει την καλύτερη επίδοση σε όλα τα κριτήρια ταυτόχρονα. Συνεπώς το επόμενο ζητούμενο είναι να υιοθετηθεί ένας τρόπος αξιολόγησης της συνολικής επίδοσης των προτεινόμενων σχεδιάσεων, ώστε να βρεθεί ποιά από αυτές ικανοποιεί με τον καλύτερο τρόπο τα κριτήρια που θέτουμε. Προκειμένου να συμβεί αυτό εισάγουμε μια σειρά από «συντελεστές βάρους» σε κάθε ένα από τα κριτήρια ώστε να προκύψει ένας «σταθμισμένος μέσος όρος» της συνολικής επίδοσης της κάθε σχεδίασης.

Είναι προφανές ότι στην προσέγγιση αυτή υπάρχει επίδραση της υποκειμενικότητας του εκάστοτε σχεδιαστή ή ενδεχομένως του εκάστοτε τελικού χρήστη του πλοίου. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σωστό να χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις της συνολικής αξιολόγησης των σκαφών ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση της επίδοσης των σχεδιάσεων όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά και σε σχέση με τις διαφορετικές προσεγγίσεις. Τέλος εισάγεται μια τέταρτη προσέγγιση η οποία συνδυάζει τις προηγούμενες τρεις και κατά μια έννοια έχει θέση «τελικής κατάταξης».

### 1<sup>η</sup> Προσέγγιση

Η συνολική επίδοση δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma.E. = 0.4 \cdot Payload + 0.1 \cdot RollPeriod + 0.25 \cdot FuelConsumption + 0.25 \cdot EEDI$$

### 2<sup>η</sup> Προσέγγιση

Η συνολική επίδοση δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma.E. = 0.8 \cdot EEDI + 0.2 \cdot RollPeriod$$

### 3<sup>η</sup> Προσέγγιση

Η συνολική επίδοση δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma.E. = 0.1 \cdot IntactStability + 0.1 \cdot DamageStability + 0.4 \cdot Payload + 0.15 \cdot FuelConsumption + 0.15 \cdot EEDI$$

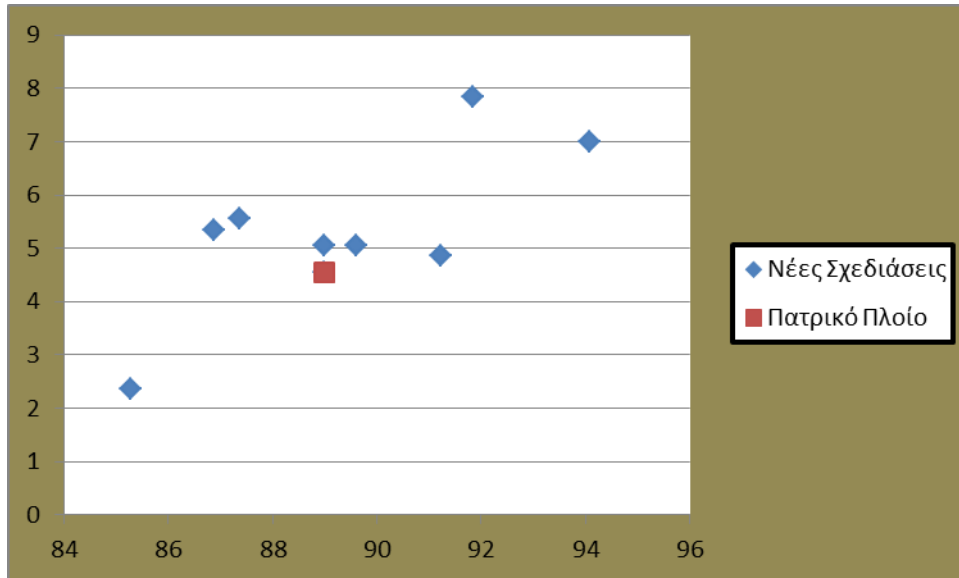
### 4<sup>η</sup> Προσέγγιση (Συνδυαστική)

Η συνολική επίδοση δίνεται από τον τύπο:

$$\Sigma.E. = 0.4 \cdot \text{Προσέγγιση1} + 0.2 \cdot \text{Προσέγγιση2} + 0.4 \cdot \text{Προσέγγιση3}$$

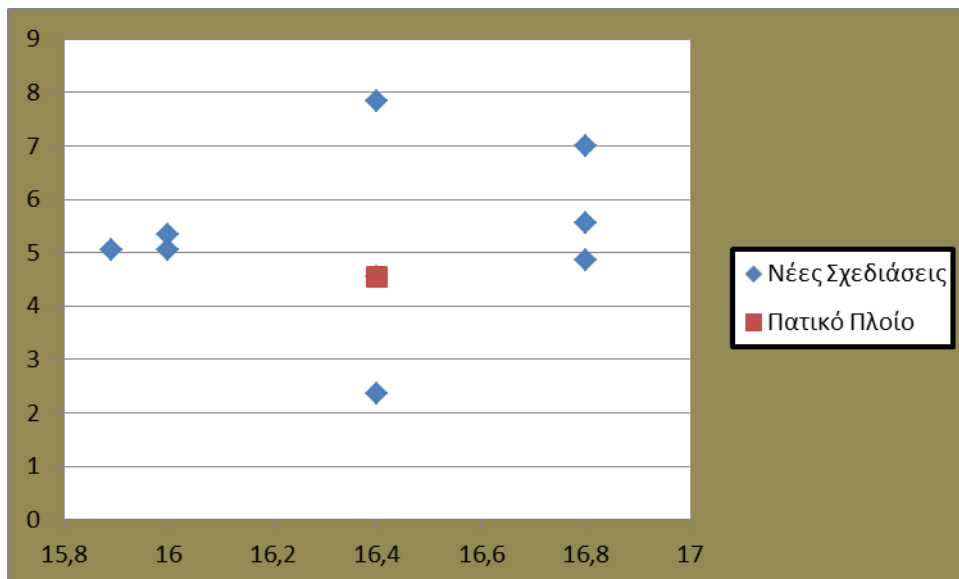
1<sup>η</sup> Προσέγγιση

**Διάγραμμα 7.1.1**  
Συνολική Επίδοση ως προς L



Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο μήκος από το πατρικό πλοίο παρουσιάζουν συνολική επίδοση καλύτερη αυτού.

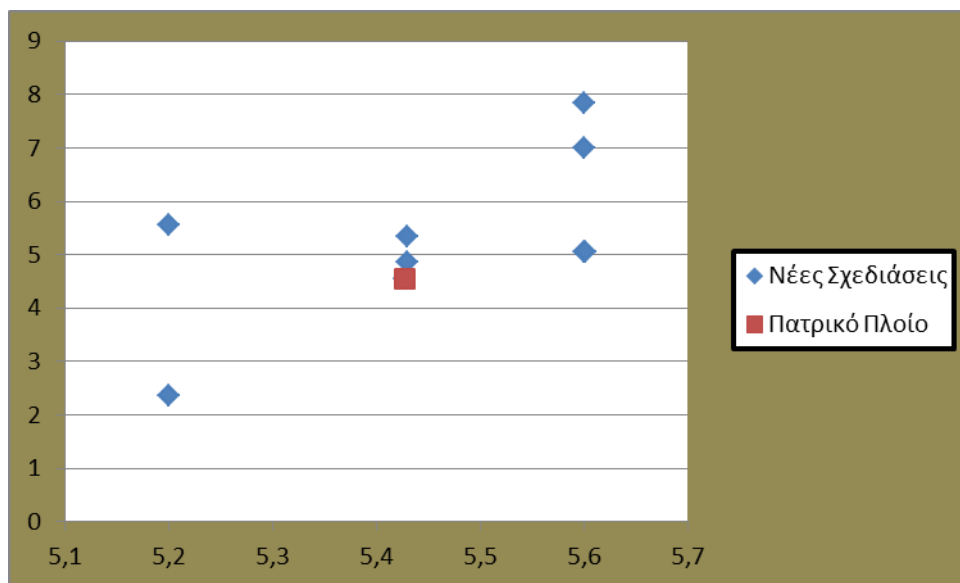
**Διάγραμμα 7.1.2**  
Συνολική Επίδοση ως προς B





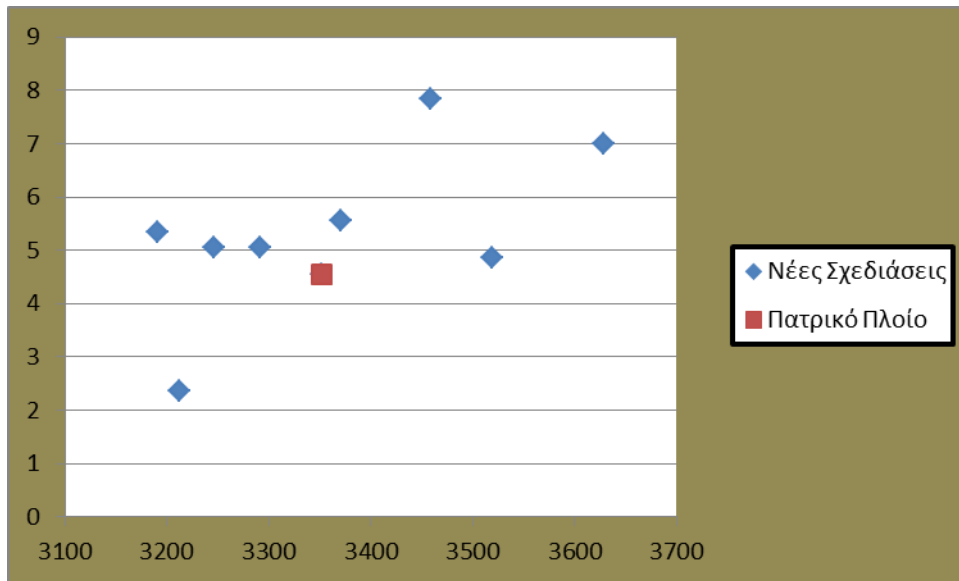
Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η διαφοροποίηση της συνολικής επίδοσης, δεδομένου μάλιστα ότι υπάρχουν σχεδιάσεις με διαφορετικό πλάτος. Όπως φαίνεται εδώ, η καλύτερη απόδοση αντιστοιχεί σε τιμή του πλάτους που δεν είναι η μέγιστη. Αυτό εξηγείται από την δυσμενή επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πλάτους στη περίοδο διατοιχισμού και στην ανάγκη για μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ.

**Διάγραμμα 7.1.3**  
Συνολική Επίδοση ως προς L/B



Η αύξηση του λόγου L/B δίνει μια αύξηση της συνολικής επίδοσης μεταξύ των διαφορετικών οικογενειών L/B, με την καλύτερη επίδοση να αντιστοιχεί στον μεγαλύτερο λόγο (L/B=5.6). Εξετάζοντας όμως τις σχεδιάσεις της οικογένειας αυτής και συνδέοντας τα στοιχεία αυτά, με τα στοιχεία που προκύπτουν από το διάγραμμα «Συνολική Επίδοση ως προς L», η καλύτερη επίδοση δεν αντιστοιχεί τελικά στη σχεδίαση με το μεγαλύτερο μήκος.

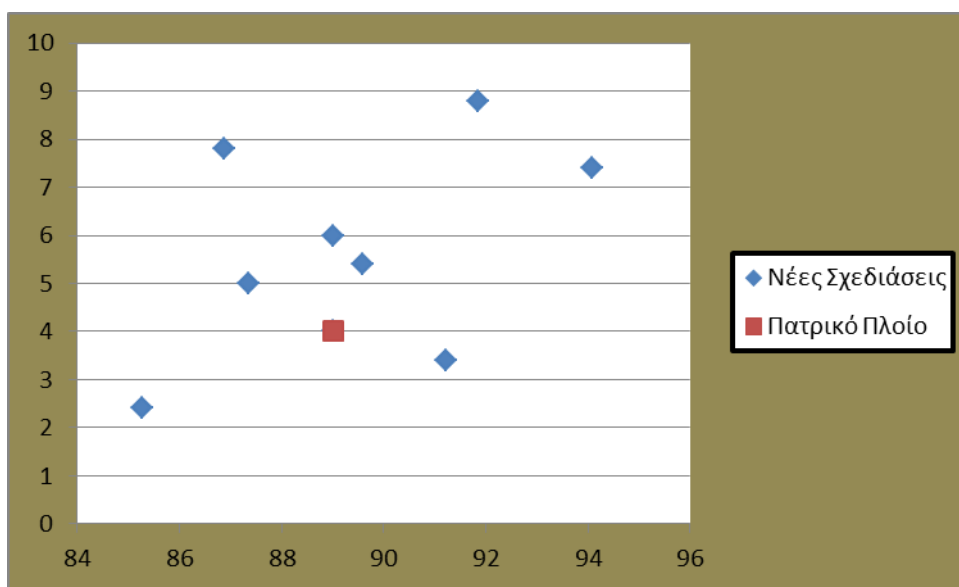
**Διάγραμμα 7.1.4**  
Συνολική Επίδοση ως προς Δ



Όπως φαίνεται εδώ, δεν υπάρχει κάποια σαφής συσχέτιση του εκτοπίσματος με τη συνολική επίδοση των σχεδιάσεων. Ενώ οι σχεδιάσεις με μεγαλύτερο εκτόπισμα από το πατρικό πλοίο παρουσιάζουν όλες τους καλύτερη συνολική επίδοση από αυτό, δεν υπάρχει μια σαφής τάση βελτίωσης της επίδοσης με αύξηση του εκτοπίσματος καθώς παρατηρείται μια έντονη αυξομείωση της. Είναι ακόμη σημαντικό να τονιστεί ότι η καλύτερη επίδοση δεν αντιστοιχεί στο μέγιστο εκτόπισμα, αλλά σε μικρότερη τιμή.

## 2<sup>η</sup> Προσέγγιση

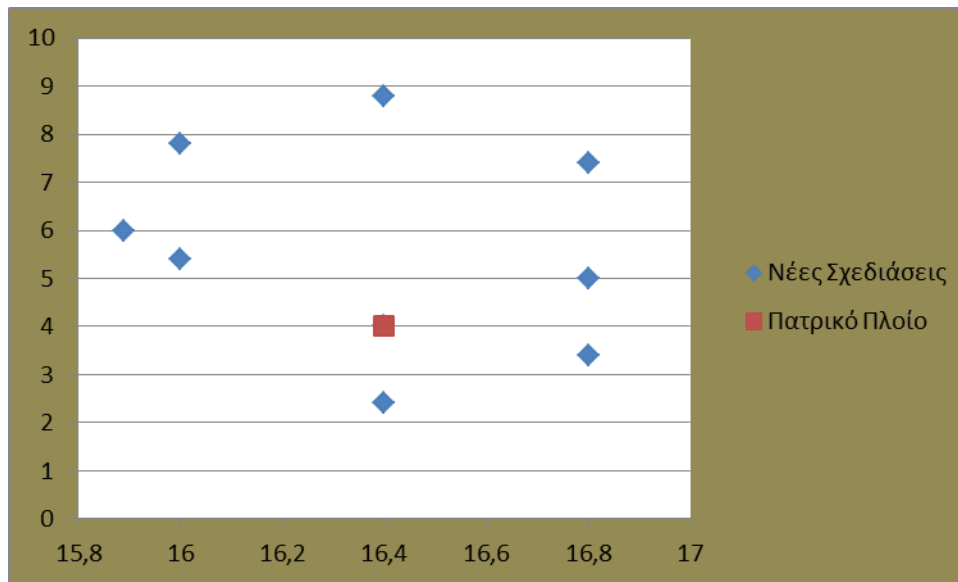
**Διάγραμμα 7.2.1**  
Συνολική Επίδοση ως προς L



Διερεύνηση της Ευστάθειας κατόπιν βλάβης και Ενεργειακής Αποδοτικότητας Επιβατηγού – Οχηματαγωγού Πλοίου

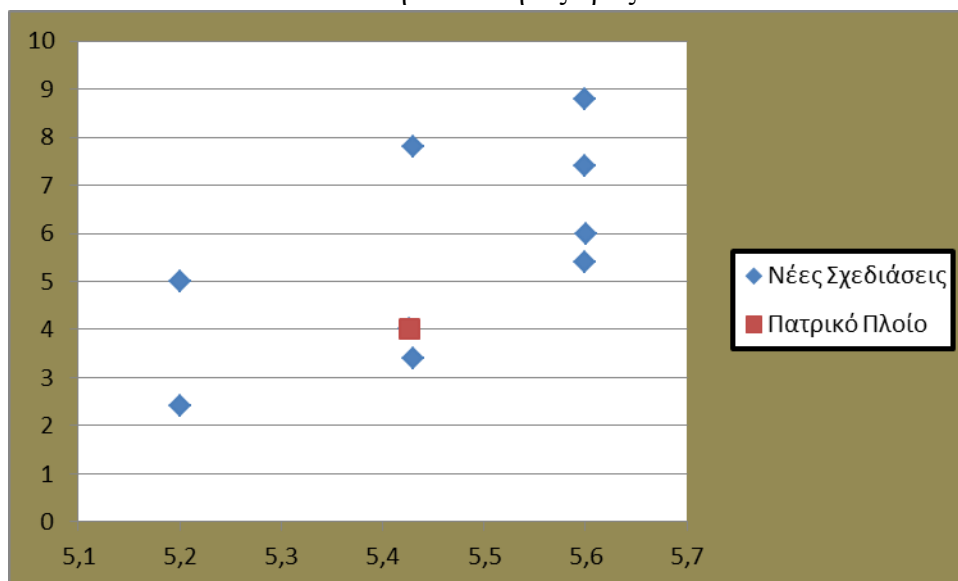
Παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται κάποιες διακυμάνσεις στις τιμές της συνολικής επίδοσης, διακρίνεται μια τάση για βελτίωση της με την αύξηση του μήκους του πλοίου. Οι σχεδιάσεις με μήκος μεγαλύτερο από αυτό του πατρικού κατά κανόνα επιτυγχάνουν και καλύτερη επίδοση. Μάλιστα στην εκδοχή αυτή η καλύτερη επίδοση επιτυγχάνεται σαφώς από το πλοίο με το μεγαλύτερο μήκος.

**Διάγραμμα 7.2.2**  
Συνολική Επίδοση ως προς Β



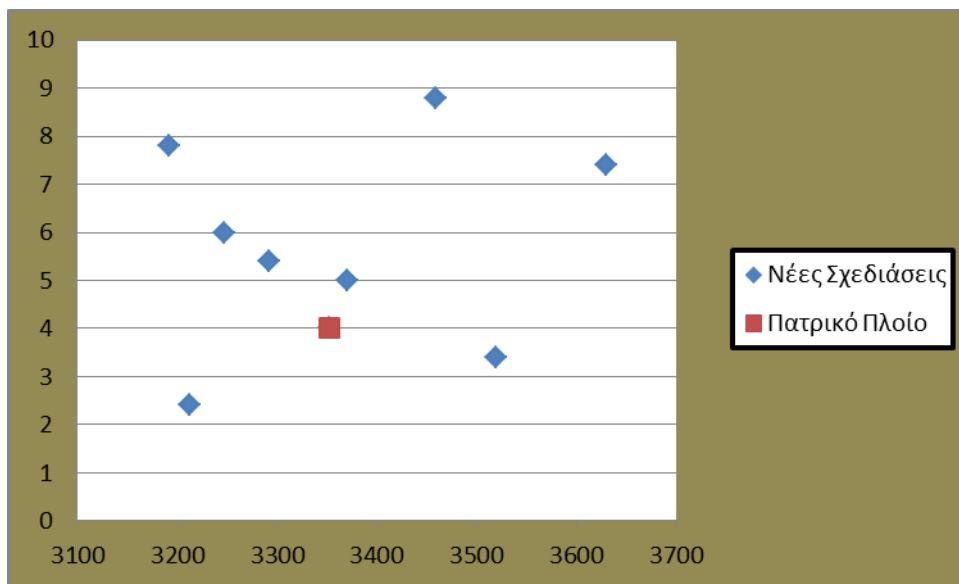
Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι η καλύτερη επίδοση αντιστοιχεί σε πλοίο της οικογένειας με το μεγαλύτερο πλάτος (16.8), ενώ και στις δύο εκδοχές που προηγήθηκαν η καλύτερη επίδοση αντιστοιχούσε σε πλοίο με μικρότερο πλάτος (16.4).

**Διάγραμμα 7.2.3**  
Συνολική Επίδοση ως προς L/B



Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που προκύπτουν και από τα διαγράμματα που προηγήθηκαν, καθίσταται σαφές ότι η καλύτερη επίδοση θα ανήκει στην οικογένεια με το μεγαλύτερο λόγο  $L/B$  (κάτι που συνέβαινε και στις προηγούμενες εκδόσεις), με την διαφορά πως στην περίπτωση αυτή για τις σχεδιάσεις της οικογένειας  $L/B = 5.6$  την καλύτερη επίδοση την επιτυγχάνει η σχεδίαση με το μεγαλύτερο μήκος.

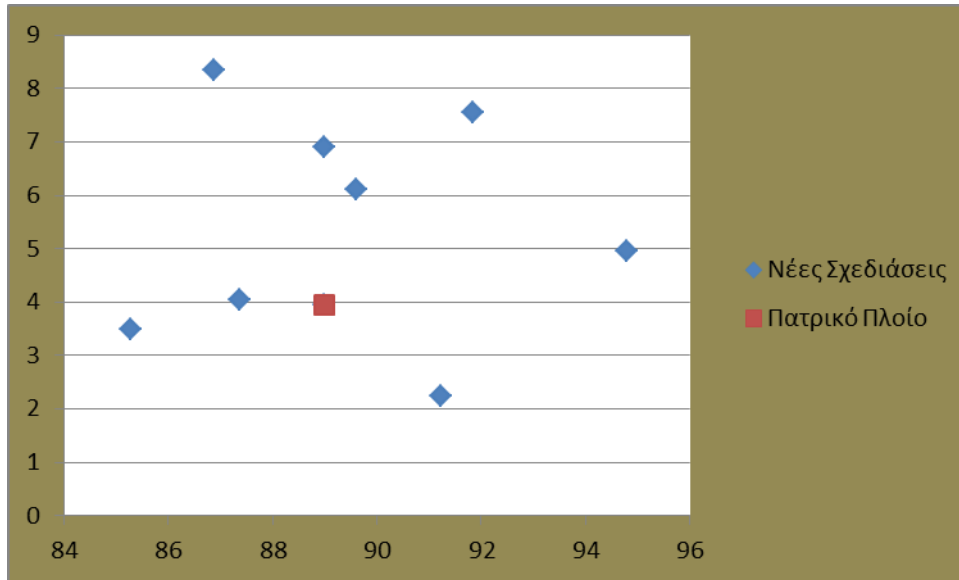
**Διάγραμμα 7.2.4**  
Συνολική Επίδοση ως προς  $\Delta$



Παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται μια σειρά από διακυμάνσεις, ουσιαστικά αύξηση του εκτόπισματος συνεπάγεται και αύξηση της συνολικής επίδοσης. Οι σχεδιάσεις με εκτόπισμα μεγαλύτερο του πατρικού πλοίου επιτυγχάνουν καλύτερη επίδοση από αυτό. Επιπλέον την καλύτερη επίδοση παρουσιάζουν πλοία με το μεγαλύτερο εκτόπισμα.

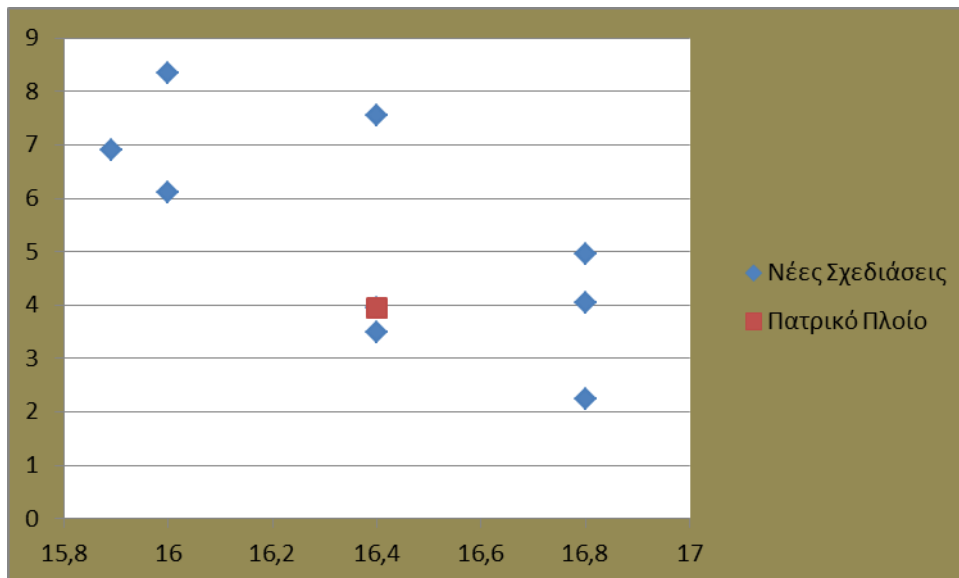
3<sup>η</sup> Προσέγγιση

**Διάγραμμα 7.3.1**  
Συνολική Επίδοση ως προς L



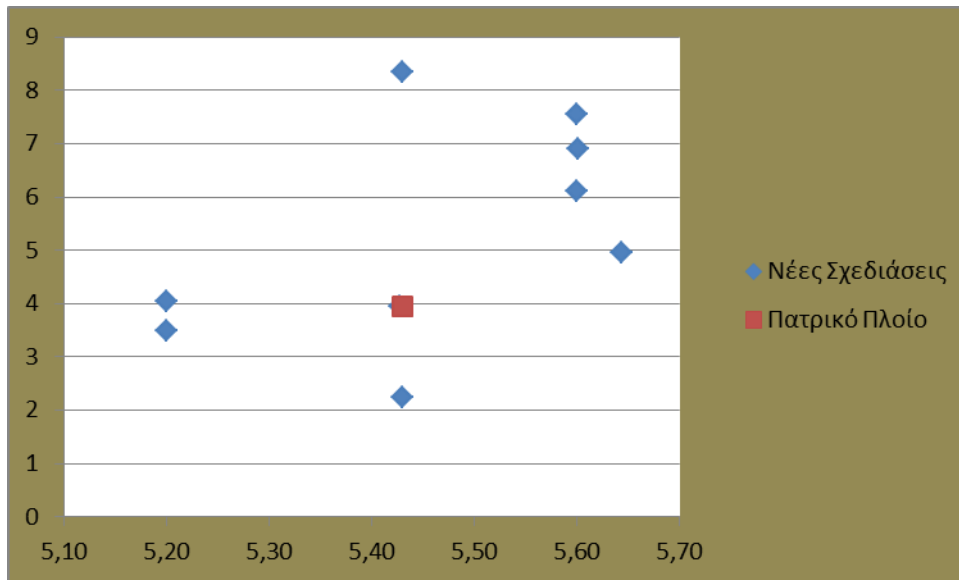
Αντίθετα με τις προηγούμενες προσεγγίσεις, στην περίπτωση αυτή δεν προκύπτει κάποια σαφής συσχέτιση του μήκους με τη συνολική επίδοση της εκάστοτε σχεδίασης.

**Διάγραμμα 7.3.2**  
Συνολική Επίδοση ως προς B



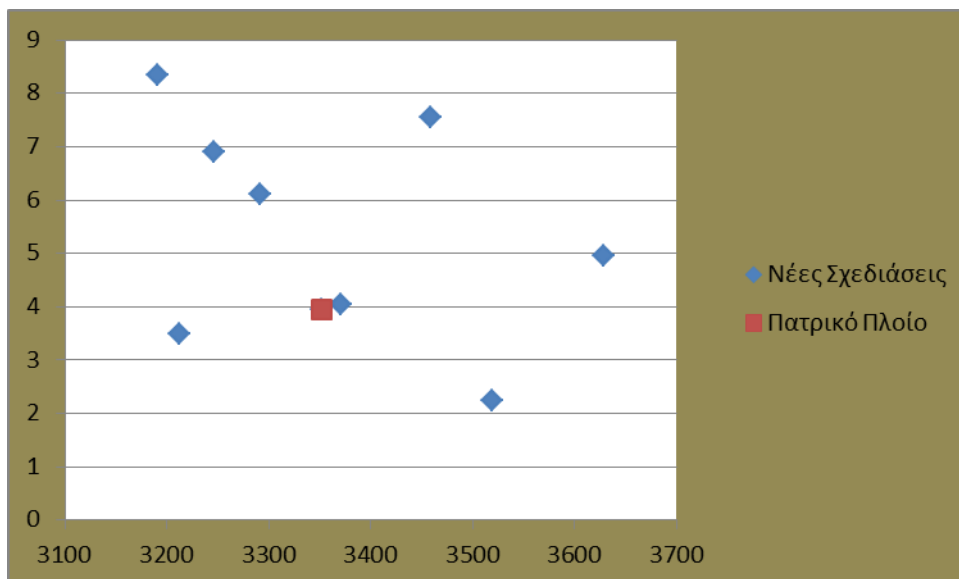
Η αύξηση του πλάτους δείχνει να οδηγεί κατά κανόνα σε χαμηλότερη συνολική βαθμολογία, απόρροια ενδεχομένως της μεγάλης συνεισφοράς που δίνουν οι τιμές του EEDI και της κατανάλωσης καυσίμου έναντι της χαμηλής συνεισφοράς της ευστάθειας (*Intact* και *Damage*).

**Διάγραμμα 7.3.3**  
Συνολική Επίδοση ως προς L/B



Κατά κανόνα η συνολική επίδοση βελτιώνεται καθώς οδηγούμαστε σε σχεδιάσεις με μεγαλύτερο λόγο L/B

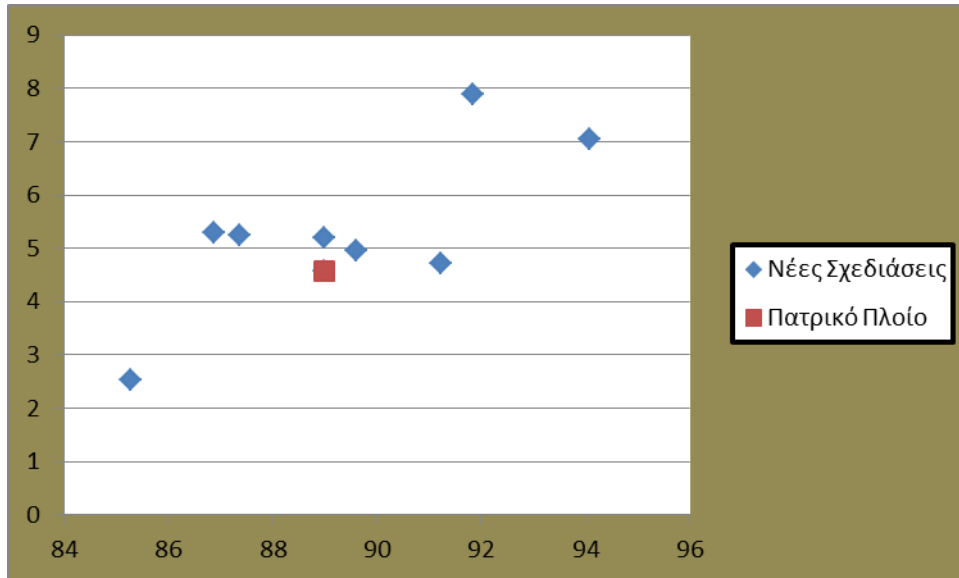
**Διάγραμμα 7.3.4**  
Συνολική Επίδοση ως προς Δ



Αν και δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια άμεση συσχέτιση μεταξύ της συνολικής επίδοσης και του εκτοπίσματος, παρατηρείται γενικότερα μια βελτίωση της συνολικής επίδοσης στις χαμηλότερες τιμές.

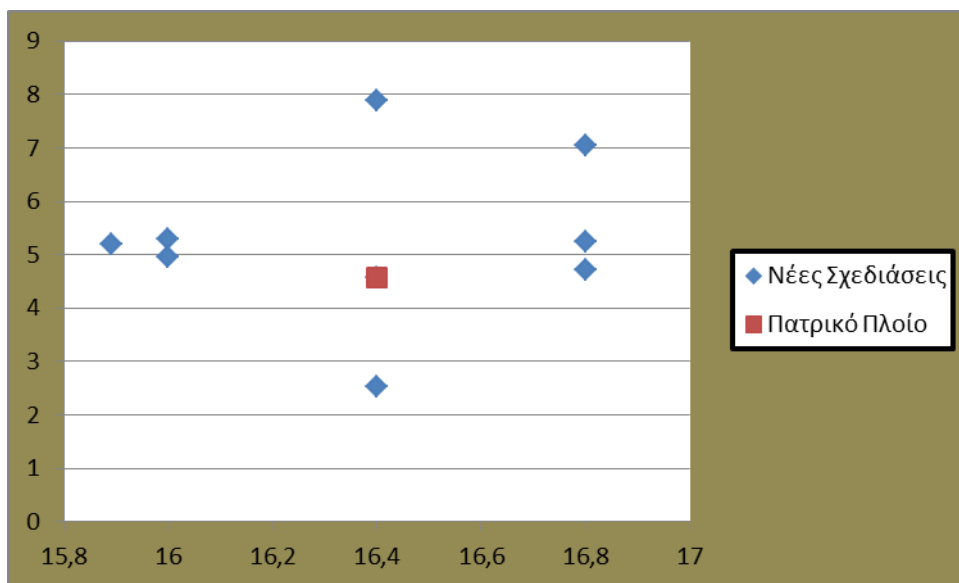
4<sup>η</sup> Προσέγγιση

**Διάγραμμα 7.4.1**  
Συνολική Επίδοση ως προς L



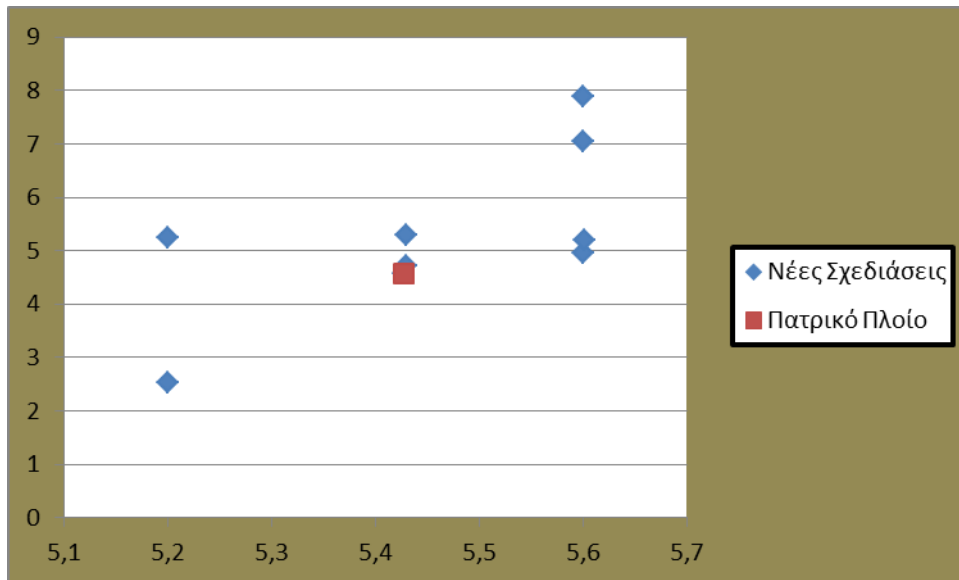
Στην περίπτωση της συνδυαστικής μεθόδου βλέπουμε ότι η αύξηση του μήκους ευνοεί τη συνολική βαθμολογία. Οι υψηλότερες τιμές ανήκουν στις δύο σχεδιάσεις με το μεγαλύτερο μήκος.

**Διάγραμμα 7.4.2**  
Συνολική Επίδοση ως προς B



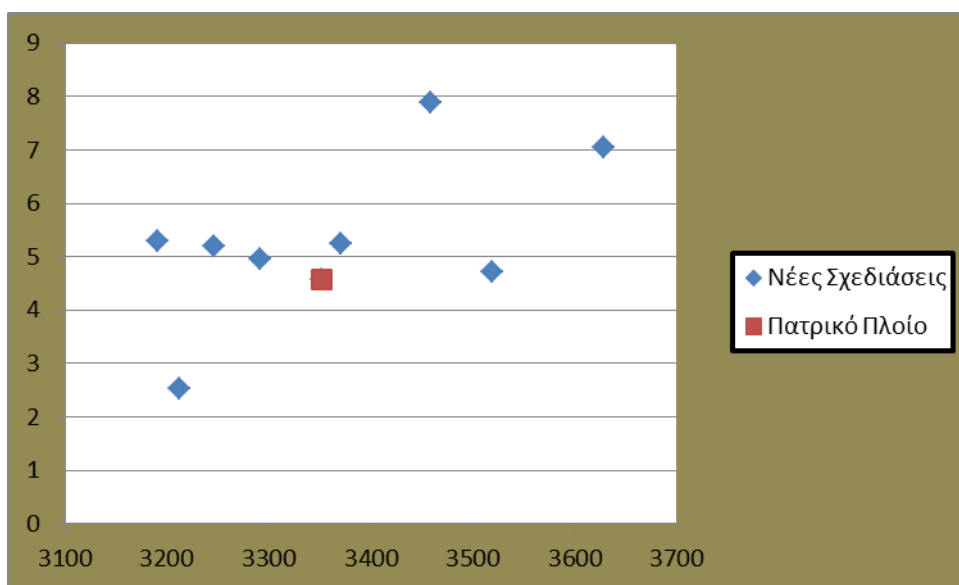
Γενικά παρατηρείται μια βελτίωση της συνολικής βαθμολογίας με αύξηση του πλάτους, αν και η υψηλότερη τιμή ανήκει σε σχεδίαση με το αρχικό πλάτος (16.4) και όχι το μέγιστο (16.8)

**Διάγραμμα 7.4.3**  
Συνολική Επίδοση ως προς L/B



Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι μεγαλύτερες τιμές του λόγου L/B συνεπάγονται και μεγαλύτερη συνολική επίδοση. Το γεγονός αυτό πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό και με τη συνεισφορά του μήκους στη συνολική επίδοση, όπως ειπώθηκε και πριν.

**Διάγραμμα 7.4.4**  
Συνολική Επίδοση ως προς Δ





Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται πως η συσχέτιση της συνολικής επίδοσης και του εκτοπίσματος δεν είναι τόσο σαφής όσο στην περίπτωση του μήκους. Η καλύτερη επίδοση ανήκει σαφώς σε σχεδίαση με εκτόπισμα μικρότερο από το μέγιστο.

#### Σύγκριση των επιδόσεων των Σχεδιάσεων

α/α	Rank1	Rank2	Rank3	Rank4	Βαθμός1	Βαθμός2	Βαθμός3	Βαθμός4
2	8	9	8	9	2.35	2.4	2.75	2.52
3	4	8	1	3	5.35	7.8	3.95	5.28
4	3	4	6	6	5.25	4.4	5.65	5.24
5	7	5	7	7	4.55	4	4.85	4.56
6	5	6	4	5	5.05	5.4	4.65	4.96
7	5	7	3	4	5.35	6.6	4.35	5.2
9	6	3	9	8	4.55	2.8	5.85	4.72
10	1	2	2	1	7.85	8.8	7.45	7.88
11	2	1	5	2	6.7	6.8	7.5	7.04

Συμπέρασμα: Στον πίνακα που προηγήθηκε, αποτυπώνεται η κατάταξη και η βαθμολογία της κάθε σχεδίασης σε κάθε μια από τις τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν. Είναι σαφές πως ανάλογα με το ποιά μέθοδο αξιολόγησης χρησιμοποιεί ο κάθε υποθετικός σχεδιαστής, η κάθε σχεδίαση αξιολογείται διαφορετικά. Σε ένα πρώτο επίπεδο ανάλυσης προκύπτει ότι στις τρεις από τις τέσσερις μεθόδους οι δύο μεγαλύτερες σχεδιάσεις καταλαμβάνουν τις θέσεις 1 και 2 (με αμοιβαία αντιμετάθεση στην περίπτωση των δύο πρώτων μεθόδων αξιολόγησης) ενώ είναι και οι δύο που παρουσιάζουν και την υψηλότερη βαθμολογία στην συνδυαστική μέθοδο αξιολόγησης. Επιπλέον η μικρότερη σχεδίαση λαμβάνει χαμηλές βαθμολογίες σε όλες τις μεθόδους αξιολόγησης και λαμβάνει και τη χειρότερη βαθμολογία στη συνδυαστική μέθοδο αξιολόγησης. Τα ενδιάμεσα μεγέθη παρουσιάζουν διακύμανση στις τιμές τους. Κατά συνέπεια το βασικό συμπέρασμα που μπορεί να προκύψει από τη μέχρι τώρα ανάλυση είναι πως οι μεγαλύτερες σχεδιάσεις είναι και οι καλύτερες δυνατές (παρά το γεγονός ότι συνδέονται με αυξημένο κόστος κτήσης) και είναι οι ενδεικνυόμενες λύσεις. Αντιθέτως η μικρότερη σχεδίαση θα πρέπει να απορριφθεί. Επισημαίνεται ότι, καθόσον οι εναλλακτικές σχεδιάσεις βρίσκονται σε ένα μικρό εύρος τιμών γύρω από

το πατρικό πλοίο, δεν αναμένεται κάποια από αυτές να αντιμετωπίσει πρόβλημα με ενδεχόμενους περιορισμούς όπως στο πλάτος (το βύθισμα διατηρείται σταθερό) ή κάποια ενδεχόμενη υπέρβαση στο κόστος καθώς αυτό είναι συγκρίσιμο με του πατρικού.

## VIII. Τελικά Συμπεράσματα

Με την εμπειρία που αποκτήθηκε τόσο κατά την εκτέλεση των απαιτούμενων υπολογισμών για την διπλωματική αυτή εργασία, όσο και κατά την προκαταρκτική ανάγνωση της αντίστοιχης βιβλιογραφίας προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις που κατά την άποψη του γράφοντα αξίζει να τονιστούν:

- Το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη σχεδίαση, αλλά και τη λειτουργία των πλοίων είναι εν πολλοίς αρκετά περίπλοκο, καθώς ο σχεδιαστής καλείται να προχωρήσει σε μια σειρά από αποφάσεις προκειμένου να επιτευχθούν οι αντικρουόμενες απαιτήσεις των διαφόρων κανονισμών.
- Η πολυπλοκότητα επεκτείνεται καθώς κάθε ένας φορέας προσπαθεί να καλύψει ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων (ασφάλεια έναντι κατάκλυσης, προστασία του περιβάλλοντος), μέσω μιας πληθώρας διακηρύξεων.. Ακόμη, οι διατάξεις που καθόριζαν ζητήματα ευστάθειας κατόπιν βλάβης φορτηγών πλοίων υιοθετήθηκαν μόλις το 1992 και είχαν πιθανοθεωρητικό χαρακτήρα, την ώρα που η μελέτη της ευστάθειας κατόπιν βλάβης των επιβατηγών πλοίων συνέχιζε να καθορίζεται από τις ντετερμινιστικές διατάξεις της SOLAS 1974 (1990). Τελικώς εναρμονισμός-ενοποίηση των κανονισμών που ισχύουν για τις δύο αυτές κατηγορίες πλοίων γίνεται μόλις το 2009, δηλαδή 17 χρόνια από τη στιγμή που ξεκίνησε η εφαρμογή των πιθανοθεωρητικών κανονισμών στα φορτηγά πλοία.
- Στα θέματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος διακρίνονται σοβαρές αντιθέσεις μεταξύ των διαφορετικών διατάξεων της ίδιας της σύμβασης MARPOL, καθώς, όπως φαίνεται, η ανάγκη για ικανοποίηση των απαιτήσεων για τις εκπομπές SO<sub>x</sub> και η ταυτόχρονη ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους εφόσον χρησιμοποιηθούν τα συνήθη μέχρι σήμερα καύσιμα. Η χρήση νέων καυσίμων (LNG, Methanole) θα έχει ως προαπαίτηση σημαντικές μετατροπές στις μηχανές των πλοίων, όσο και μεγάλες αλλαγές συνολικά στην εφοδιαστική αλυσίδα.
- Η μεθοδολογία που ακολουθείται από τον IMO σχετικά με τον υπολογισμό του δείκτη EEDI δείχνει να δημιουργεί σημαντικά προβλήματα σε ορισμένες κατηγορίες πλοίων όπως είναι τα Ro-Pax, που εξετάζονται στην παρούσα

διπλωματική, καθώς οι απαιτήσεις είναι πάρα πολύ υψηλές, περιορίζοντας σημαντικά τις δυνατότητες του ναυπηγού να επιλέξει τις σχεδιάσεις που αυτός επιθυμεί, είτε ωθώντας τον να επιλέξει διαφορετικά καύσιμα για την πρόωση του πλοίου που σχεδιάζει, πέρα από την βελτιστοποίηση της γάστρας που σε κάθε περίπτωση είναι ζητούμενο.

- Το γεγονός ότι τόσο η εφαρμογή της πιθανοθεωρητικής SOLAS 2009 όσο και του δείκτη EEDI είχαν σαν επακόλουθο την ενεργοποίηση της επιστημονικής κοινότητας, η οποία παρουσίασε μια σειρά από έρευνες από τις οποίες προέκυψε εμπειριστατωμένη κριτική για τη μεθοδολογία που διέπει τους κανονισμούς αυτούς και για τους τύπους που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς, δημιουργεί προβληματισμούς ως προς την ωριμότητα των κανονισμών όταν αυτοί τίθενται προς εφαρμογή.
- Γενικώς οι επιδόσεις των σχεδιάσεων δείχνουν να επιβεβαιώνουν τις βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την επίδραση των κυρίων διαστάσεων σε θέματα ευστάθειας και αντίστασης.
- Οι λόγοι L/B και B/T που δίνονται στην βιβλιογραφία δείχνουν να οδηγούν σε σχεδιάσεις με σημαντικά προβλήματα σε ότι αφορά τις απαιτήσεις ευστάθειας, ενώ και οι επιδόσεις στον τομέα της ενεργειακής αποδοτικότητας δεν είναι ικανοποιητικές. Είναι δε ενδεικτικό ότι και το πατρικό πλοίο, στο οποίο βασίστηκαν οι εναλλακτικές σχεδιάσεις είχε κύριες διαστάσεις, οι λόγοι των οποίων δεν περιλαμβάνονταν στις τιμές της βιβλιογραφίας. Η δεύτερη οικογένεια σχεδιάσεων που παρουσίασε σαφώς καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με την πρώτη, επίσης βρέθηκε εκτός των ορίων της βιβλιογραφίας. Θεωρείται σκόπιμο να υπάρξει μια ανανέωση.
- Το πρόβλημα της σχεδίασης του βέλτιστου πλοίου είναι πρακτικά ένα πολυσύνθετο πρόβλημα, καθώς υπεισέρχεται σε αυτό μια πλειάδα παραμέτρων και μεταβλητών και από τη στιγμή που ένας αριθμός από μοντέλα δείχνει να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις, ασφαλώς με διαφορετικές επιδόσεις σε ότι αφορά την κάθε παράμετρο, ουσιαστικά επαφίεται στον εκάστοτε σχεδιαστή να επιλέξει ποιά θα είναι τα σημεία στα οποία θα δώσει τελικά έμφαση.
- Τα πορίσματα της εργασίας αυτής αφορούν ένα μικρό δείγμα, στην πραγματικότητα μη υπαρκτών πλοίων που προέκυψαν ως παραλλαγές μιας αρχικής σχεδίασης. Ο σκοπός άλλωστε της εργασίας ήταν κατά βάση η προσπάθεια για την εξεύρεση της καλύτερης δυνατής σχεδίασης-παραλλαγής ενός αρχικού πλοίου. Θα ήταν σωστό εφόσον υπάρξει περαιτέρω έρευνα πάνω στα ζητήματα που καλύφθηκαν σε αυτήν την εργασία, τα αποτελέσματα να εξεταστούν σε αντιπαραβολή με πραγματικά πλοία ενός μεγαλύτερου

δείγματος για την εξαγωγή συμπερασμάτων με πιο γενικό χαρακτήρα και να ελεγχθεί η ορθότητα ορισμένων παραδοχών που έγιναν όπως της γραμμικής εξάρτησης του  $DWT$  από τις γραμμικές διαστάσεις (άρα και του όγκου εκτοπίσματος) του πλοίου. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή αυτή που ελήφθη από την [12] καθώς αξιοποιείται τόσο η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία όσο και τα συμπεράσματα, σε ότι αφορά τον υπολογισμό των διορθωτικών συντελεστών  $f_j$ . Από εκεί και πέρα εναλλακτικές προσεγγίσεις του ζητήματος αυτού μπορούν να βρεθούν στο [1, Πίνακας 2.1 σελ. 67], όπου κατ' αντίστοιχο τρόπο δίνονται όρια του λόγου  $DWT / \Delta$ , και κατά συνέπεια το  $DWT$  μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει του  $\Delta$  (γραμμικώς ανάλογο).



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπανικολάου, Α. Μελέτη Πλοίου-Μεθοδολογίες Μελέτης Πλοίου Τεύχος 1&2, Εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα 2009.
2. Σπύρου, Κ. Ευστάθεια Διατοιχισμού Πλοίου και Υπόβαθρο Κανονισμών, Αθήνα 2014.
3. Σπύρου, Κ. Σχεδίαση Πλοίων για Ασφάλεια και Περιβαλλοντική Προστασία, Αθήνα 2010.
4. Τζαμπίρας, Γ., Δαμάλα, Δ. Πέρρας, Π. Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου ΙΙ-Ευστάθεια Πλοίου Μετά από Βλάβη, Αθήνα 2008.
5. Παπανικολάου, Α. Μελέτη & Εξοπλισμός Πλοίου ΙΙ, «Ευστάθεια κατόπιν βλάβης», Διδακτικές Σημειώσεις.
6. Vassalos, D., Papanikolaou, A. Stockholm Agreement Past Present & Future (Part1), 2001
7. Francescutto, A., Papanikolaou, A.D., Buoyancy, Stability and Subdivision: From Archimedes to SOLAS 2009 and the Way Ahead.
8. Papanikolaou, A. Review of Damage Stability of Ships Recent Developments and Trends, Proceedings 10<sup>th</sup> Int. Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (Prads 2007) Houston, October 2007.
9. Ζαραφωνίτης, Γ. Επίδραση Νέων Πιθανοθεωρητικών Κανονισμών Ευστάθειας Μετά από Βλάβη στη Σχεδίαση και τα Χαρακτηριστικά Ε/Γ-Ο/Γ Πλοίων, Ετήσια Συνάντηση Ναυτικής Τεχνολογίας ΕΛ.Ι.Ν.Τ. 2009.
10. [www.kyotoprotocol.com](http://www.kyotoprotocol.com)
11. Ρεμούνδος, Γ. Πρόληψη Ρύπανσης Θαλασσίου Περιβάλλοντος από τα Πλοία, Παρουσίαση στα Πλαίσια του Μαθήματος Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου ΙΙ, της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 23-5-2012
12. Αλησαφάκη, Α. Διερεύνηση & Εναλλακτικές Προτάσεις Διατύπωσης Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index

EEDI) Σε Οχηματαγωγά Πλοία (Ro-Ro Cargo Ships) & Επιβατηγά-Οχηματαγωγά Πλοία (Ro-Ro/passenger Ships).

13. International Maritime Organization, Studies on the Feasibility and Use of LNG as a Fuel for Shipping, 2016.

14. Andersson, K., Carlos Marquez Salazar, C.M., Methanol as a Marine Fuel Report, Methanole Institute, 2015.

15. Κυρτάτος, Ν. Ναυτικοί Κινητήρες και Ατμοσφαιρική Ρύπανση-Νομοθεσία, Τεχνολογίες, Προοπτικές, Ημερίδα Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 5 Δεκεμβρίου 2007.

16. Alisafaki, A. Papanikolaou, A. On the Energy Efficiency Design Index of Ro-Ro passenger and Ro-Ro cargo ships, Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2015.

17. IMO, MEPC, ANNEX 5, 2014

18. MARPOL Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation, Supplement, 2015.

19. Ρεμούνδος, Γ. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Λειτουργίας των Πλοίων: Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου – Τεχνικά Μέτρα Περιορισμού τους. Παρουσίαση Σ.Δ.Ν.Μ.Ε, Πειραιάς, 05-12-2011.

20. Ερευνητικό Πρόγραμμα: Ανάπτυξη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας Σχεδίασης Ε/Γ-Ο/Γ Πλοίου Τροφοδοτικών Γραμμών για τις Ανάγκες της Ελληνικής Ακτοπλοΐας, 2006.

21. Holtrop, J. Mennen, G.G.J. An Approximate Power Prediction Method, International Shipbuilding Progress, Vol 29, July 1982 pp. 166-170

22. Holtrop, J. A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data, Int.Shipbuilding Progress.,1984,31, 272 - 276

23. Κανελλοπούλου, Α. Έρευνα για Ευστάθεια μετά από Βλάβη σε Επιβατηγό-Οχηματαγωγό Πλοίο με Χρήση του Ναυπηγικού Προγράμματος Nara, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2013.

24. Παναγιωτακόπουλος, Νίκος. Μελέτη και Σχεδίαση Ε/Γ – Ο/Γ Πλοίου Κλειστού Τύπου, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2014.

25. GOALDS- Goal Based Damage Stability of Passenger Ships, Papanikolaou, A., Hamann, R., Suk Lee, B.S., Mains, C., Olufsen, O., Tvedt, E., Vassalos, D., Zaraphonitis, G., Sname AM 2013.



## Επιπλέον Βιβλιογραφία

### **Ευστάθεια Πλοίου**

Παπανικολάου, Α. Μελέτη & Εξοπλισμός Πλοίου ΙΙ, «Ευστάθεια Πλοίου», Διδακτικές Σημειώσεις..

Τζαμπίρας, Γ. Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου Ι, Αθήνα 2007

Rawson, K.J. & Tupper, E.C. Βασική Θεωρία Πλοίου Τεύχος 1&2, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004

### **Αντίσταση και Πρόωση Πλοίου**

Kristensen, H.O. Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships, 2013.

### **Αέριοι Ρύποι προερχόμενοι από Μηχανές Πλοίων**

Kristensen, H.O. Energy Demand and Exhaust Gas Emissions of Marine Engines, 2012.

### **Χρήση εναλλακτικών Καυσίμων σε Ε/Γ - Ο/Γ Πλοία**

Westling P., Methanol a Good Alternative for Ferries and Short Sea Shipping, Interferry October 2013.

### **Μια Κριτική Ανάγνωση στον Δείκτη EEDI**

Kruger, S. The Energy Efficiency Design Index (EEDI), TU Hamburg-Harburg, Institute of Ship Design and Ship Safety.

### **Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση σε Ε/Γ-Ο/Γ Πλοία με Έμφαση στην Ευστάθεια κατόπιν Βλάβης**

Ζαραφωνίτης, Γ. , Σ. Σκούπας, Σ. , Κατσαούνης, Γ., Παπανικολάου, Α. Ανάπτυξη & Εφαρμογή Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας για τη Μελέτη & Σχεδίαση Ε/Γ - Ο/Γ Πλοίων, Ετήσια Συνάντηση Ναυτικής Τεχνολογίας ΕΛ.Ι.Ν.Τ. 2008.

Zaraphonitis, G., Boulougouris, E., Papanikolaou, A. Multi-objective Optimization of Cruise Ships considering the SOLAS2009 and Goalds Damage Stability Formulations Proceedings of the IDFS 2013, Shanghai, China

Boulougouris, E. Papanikolaou, A., Zaraphonitis, G. Optimization of Arrangements of Ro-Ro Passenger Ships with Genetic Algorithms.

Papanikolaou, A. Multiobjective Ship Design-Optimisation for Lifecycle: Applications to the Design of Tankers and Passenger Ships, Friendship Systems 10 Year Anniversary, 16. October 2013, Berlin.

Zaraphonitis, G., Papanikolaou, A., Roussou, C., Kanelopoulou, A., Comparative Study of Damage Stability Regulations and their Impact on the Design and Safety of Modern ROPAX Ships.

Zaraphonitis, G. Multi-Objective Optimization of Passenger Ships with Emphasis on Enhanced Survivability in Damaged Condition, The Greek Section of SNAME, Athens, 16/5/2013.

Papanikolaou, A. (Ed.) Risk Based Ship Design – Methods, Tools and Applications, 2009.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### Συνοπτική Παρουσίαση Μεθοδολογίας από την Εργασία “On the Energy Efficiency Design Index of Ro-Ro passenger and Ro-Ro cargo ships”

Ένα γνώρισμα των πλοίων Ro-Ro και Ro-Pax είναι η υψηλή πλεονάζουσα εγκατεστημένη ισχύς για μια σειρά από λόγους (ανάγκη αυστηρής τήρησης των δρομολογίων, ανάγκη για μεγάλες ελκτικές ικανότητες κλπ.), κάτι που οδήγησε στο να παρατηρηθεί μεγάλη διασπορά τιμών στο διάγραμμα EEDI/Capacity (DWT), με αποτέλεσμα να υπάρχει χαμηλή συσχέτιση (μικροί αριθμοί  $R^2$ ). Κατά συνέπεια στην MEPC 64/4/14 προτάθηκαν οι ακόλουθες διορθωτικές τροποποιήσεις:

- Εισάγεται η Σχεδιαστική Μεταβλητή του Πλοίου (*Ship Design Variable – SDV*) που δίνεται από τους ακόλουθους τύπους σε δυο παραλλαγές:

$$SDV_{PME} = Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot Fn_L^{(a+1)} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{\beta} \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \cdot \nabla^{\varepsilon} \quad (1)$$

$$SDV_{EEDI} = Fn_L^a \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{\beta} \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \quad (2)$$

Βασική παραδοχή για την ανάπτυξη των προηγούμενων τύπων είναι η γραμμική εξάρτηση μεταξύ της ισχύος της κύριας μηχανής  $P_{ME}$  και της SDV. Οπότε μπορεί να γραφτεί και ότι:

$$P_{ME} \leq Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot Fn_L^{(a+1)} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^{\beta} \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^{\gamma} \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^{\delta} \cdot \nabla^{\varepsilon} \quad (3)$$

- Επιπλέον εισάγεται ο διορθωτικός παράγοντας  $f_j$ , λόγω της μεγάλης διασποράς που παρουσιάζουν τα πλοία της κατηγορίας αυτής ως προς την εγκατεστημένη ισχύ πρόωσης. Ο παράγοντας αυτός δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$f_{jRo-Ro} = \frac{1}{SDV_{EEDI}} = \frac{1}{Fn_L^a \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^\delta} \quad (4)$$

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής αυτός αφορά τόσο τα Ro-Ro, όσο και τα πλοία τύπου Ro-Pax.

Οι χρησιμοποιούμενοι εκθέτες δίνονται στον επόμενο πίνακα. Σημειώνεται ότι οι εκθέτες που αφορούν τα πλοία τύπου Ro-Pax υπέστησαν τροποποιήσεις από την MEPC 65/4/14, κάτι που δεν αφορά τα πλοία τύπου Ro-Ro των οποίων οι συντελεστές παρέμειναν σταθεροί.

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$
Ro-Ro (MEPC 64/4/14)	2.00	0.50	0.75	1.00	0.503
Ro-Pax (MEPC 64/4/14)	2.50	1.00	0.50	0.75	0.567
Ro-Pax (MEPC 65/4/14)	2.50	0.75	0.75	1.00	0.567

- Ακόμη, η χωρητικότητα στα πλοία αυτού του τύπου ισούται με το DWT, για το οποίο γίνεται η παραδοχή ότι είναι γραμμικώς ανάλογο του εκτοπίσματος (και κατά συνέπεια και του όγκου εκτοπίσματος). Επομένως λαμβάνεται:

$$Capacity = DWT = C_1 \cdot \nabla \quad (5)$$

- Η Εκτιμώμενη Τιμή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας, δίνεται ως ακολούθως:

$$EEDI_{est} = f_{jRo-Ro} \cdot \frac{C_F \cdot \left(190 \cdot \sum P_{ME(i)} + 215 \cdot P_{AE}\right)}{Capacity \cdot V_{ref}} \quad (6)$$

Στη σχέση αυτήν αντικαθιστούμε το  $f_{jRo-Ro}$  και το  $Capacity$  με τις εξισώσεις των σχέσεων (4) και (5) που δόθηκαν παραπάνω. Επιπλέον προχωράμε στην παραδοχή ότι η κύρια συνεισφορά στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από τις κύριες μηχανές πρόωσης. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να αντικαταστήσουμε τον αριθμητή της σχέσης (6) με τη σχέση (3). Κατά συνέπεια η (6) μετασχηματίζεται ως ακολούθως:

$$EEDI_{est} = \frac{1}{Fn_L^a \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^\delta} \cdot \frac{C_F \cdot Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot Fn_L^{(a+1)} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^\delta \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \nabla \cdot V_{ref}} \Rightarrow$$

$$EEDI_{est} = \frac{C_F \cdot Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot Fn_L \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \nabla \cdot V_{ref}} .$$

Από τον ορισμό του αριθμού Froude, έχουμε:

$$F_{nL} = \frac{0.5144 \cdot V_{ref}}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Ως εκ τούτου η σχέση (6) λαμβάνει τη μορφή:

$$EEDI_{est} = \frac{C_F \cdot Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot V_{ref} \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \nabla \cdot V_{ref} \cdot \sqrt{g \cdot L}} = \frac{C_F \cdot Const \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot V_{ref} \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \nabla \cdot V_{ref} \cdot \sqrt{g \cdot L^{\frac{1}{2}}}} = \frac{C_F \cdot Const \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \sqrt{g \cdot \nabla}} \Rightarrow$$

$$EEDI = \frac{Const \cdot \nabla^\varepsilon}{C_1 \cdot \nabla} \quad (7).$$

Συνεχίζοντας την απλοποίηση προκύπτει:

$$EEDI = C \cdot \nabla^{\varepsilon-1} \sim \alpha \cdot Capacity^{-c} \quad (8)$$

- Ακόμη εισάγεται ο διορθωτικός παράγοντας  $f_{cRoPax}$  προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι μεγάλες χωρητικότητες που συνδέονται με πλοία που διαθέτουν μεγάλους χώρους ενδιάιτησης. Ο συντελεστής υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$f_{cRoPax} = \left( \frac{\left( \frac{DWT}{GT} \right)}{0.25} \right)^{0.8} \quad (9)$$

Ο συντελεστής αυτός διορθώνει προς τα πάνω το DWT και χρησιμοποιείται όταν ο λόγος  $\left( \frac{DWT}{GT} \right)$  λαμβάνει τιμή μικρότερη από 0.25 που είναι και η τιμή του μέσου όρου του λόγου αυτού.

- Τελικώς η Εκτιμώμενη Τιμή του Σχεδιαστικού Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας για Ro-Pax πλοία υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$EEDI_{est} = \frac{f_{jRo-Ro} \cdot C_F \cdot (190 \cdot \sum P_{ME(i)} + 215 \cdot P_{AE})}{f_{cRoPax} \cdot Capacity \cdot V_{ref}} \quad (10)$$

Η σχεδιαστική μεταβλητή πλοίου μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} SDV_{PME} &\approx L^{\frac{1}{2}} \cdot Fn_L^{(a+1)} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^\delta \cdot \nabla^\varepsilon = \\ &L^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{V_{ref}}{\sqrt{g \cdot L}}\right)^{(a+1)} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^\beta \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^\gamma \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}}\right)^\delta \cdot \nabla^\varepsilon = \\ &V_{ref}^{(a+1)} \cdot g^{-\frac{(a+1)}{2}} \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot L^{-\frac{1}{2}} \cdot L^{-\frac{a}{2}} \cdot L^\beta \cdot B^{-\beta} \cdot B^\gamma \cdot T^{-\gamma} \cdot L^\delta \cdot \nabla^{-\frac{\delta}{3}} \cdot \nabla^\varepsilon = \\ &V_{ref}^{(a+1)} \cdot g^{-\frac{(a+1)}{2}} \cdot L^{\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta} \cdot B^{-\beta + \gamma} \cdot T^{-\gamma} \cdot \nabla^{-\frac{\delta}{3} + \varepsilon} \end{aligned}$$

Οπότε λαμβάνουμε:

$$P_{ME} = Const \cdot V^{(a+1)} \cdot L^{\frac{\alpha}{2} + \beta + \delta} \cdot B^{-\beta + \gamma} \cdot T^{-\gamma} \cdot \nabla^{-\frac{\delta}{3} + \varepsilon}$$

Κρατώντας σταθερά τα μεγέθη L, B, T και  $\nabla$  λαμβάνεται:

$$P_{ME} = Const' \cdot V^{(a+1)}$$

Ο εκθέτης της ταχύτητας μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$(a+1) = P_{ME}' \cdot \frac{V_0}{P_{ME0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta V} \cdot \frac{V_0}{P_{ME0}}, \Delta V \rightarrow 0$$

Με αντίστοιχο τρόπο, οι εκθέτες και των υπολοίπων μεγεθών προκύπτουν κρατώντας σταθερά τα υπόλοιπα τέσσερα μεγέθη. Κατά συνέπεια προκύπτουν οι επόμενες σχέσεις:

$$\left(-\frac{a}{2} + \beta + \delta\right) = P_{ME}' \cdot \frac{L_0}{P_{ME0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta L} \cdot \frac{L_0}{P_{ME0}}, \Delta L \rightarrow 0$$

$$\left(-\beta + \gamma\right) = P_{ME}' \cdot \frac{B_0}{P_{ME0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta B} \cdot \frac{B_0}{P_{ME0}}, \Delta B \rightarrow 0$$

$$(-\gamma) = P_{ME} \cdot \frac{T_0}{P_{ME0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta T} \cdot \frac{T_0}{P_{ME0}}, \Delta T \rightarrow 0$$

$$\left(-\frac{\delta}{3} + \varepsilon\right) = P_{ME} \cdot \frac{\nabla_0}{P_{ME0}} = \frac{\Delta P_{ME}}{\Delta \nabla} \cdot \frac{\nabla_0}{P_{ME0}}, \Delta \nabla \rightarrow 0$$

Η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία είναι ανάλογη της μεθόδου *Normand* για τον υπολογισμό του εκτοπίσματος  $\Delta$ , μέσω της εξίσωσης εκτοπίσματος και όπως και στην μέθοδο *Normand* ισχύει μόνο για μικρές μεταβολές.

Ουσιαστικά χρησιμεύει εφόσον υπάρχει ένα πατρικό πλοίο πάνω το οποίο μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι βασικές μεταβολές μεγεθών.

Στη συνέχεια η ισχύς  $P_{ME}$  υπολογίζεται μέσω της μεθόδου *Holtrop*, κάθε φορά συναρτήσει μιας μόνο μεταβλητής.





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

### Συνοπτική Περιγραφή της Μεθόδου Holtrop – Mennen για τον υπολογισμό της Αντίστασης των Πλοίων

Σύμφωνα με τη μέθοδο Holtrop του 1984, η αντίσταση διακρίνεται στις ακόλουθες συνιστώσες:

$$R_{TOT} = (1 + k_1) \cdot R_F + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A ,$$

όπου:

- $R_{TOT}$ : Η συνολική τριβή
- $R_F$ : Η αντίσταση τριβής κατά ITTC – 1957
- $R_{APP}$ : Η αντίσταση των παρελκόμενων
- $R_W$ : Η αντίσταση κυματισμού
- $R_B$ : Η πρόσθετη αντίσταση λόγω βολβοειδούς πλώρης
- $R_{TR}$ : Η αντίσταση λόγω βυθισμένου καθρέπτη πρύμνης
- $R_A$ : Η αντίσταση συσχέτισης μοντέλου – πλοίου. Στον όρο αυτόν λαμβάνεται υπόψη η τραχύτητα της γάστρας και η αντίσταση του αέρα.
- $(1+k_1)$ : Συντελεστής μορφής για την προσαύξηση της αντίστασης μορφής της γάστρας του πλοίου σε σχέση με την αντίσταση τριβής επίπεδης πλάκας.
- Η αναθεωρημένη σχέση για τον υπολογισμό του  $k_1$  είναι η ακόλουθη:

$$(1 + k_1) = 0.93 + 0.487118 \cdot c_{14} \cdot (B/L)^{1.06806} \cdot (T/L)^{0.46106} \cdot (L/L_R)^{0.121563} \cdot (L^3/\nabla)^{0.36486} \cdot (1 - C_P)^{-0.60424}$$

όπου:

- $L$ : Το μήκος ισάλου
- $B$ : Το πλάτος
- $T$ : Το βύθισμα

- $\nabla$  : Ο Όγκος Εκτοπίσματος
- $C_p$  : Ο Πρισματικός Συντελεστής
- $L_R = L \cdot (1 - C_p + 0.06 \cdot C_p \cdot lcb / (4 \cdot C_p - 1))$
- $lcb$  : Η Διαμήκης Θέση του Κέντρου Άντωσης, μετρημένη πρόραθεν του μέσου του  $L$
- $c_{14} = 1 + 0.011 \cdot C_{STERN}$ , όπου  $C_{STERN}$  συντελεστής που προδιαγράφει το σχήμα της πρύμνης του πλοίου

Για  $Fn > 0.5$ , όπου  $Fn$  ο αριθμός *Froude*, ισχύουν:

- $R_{W-B} = c_{17} \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp\{m_3 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda \cdot F_n^{-2})\}$
- $c_{17} = 6919.3 \cdot C_M^{-1.3346} \cdot (\nabla / L^3)^{2.00973} \cdot (L/B - 2)^{1.40692}$
- $m_3 = -7.2035 \cdot (B/L)^{0.326869} \cdot (T/B)^{0.605375}$
- $c_2 = \exp(-1.89 \cdot \sqrt{c_3})$
- $c_3 = 0.56 \cdot A_{BT}^{1.5} / \{B \cdot T \cdot (0.31 \cdot \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\}$
- $d = -0.9$

Όπου:

- $A_{BT}$  : Η Βρεχόμενη Επιφάνεια Καθρέπτη
- $A_T$  : Η Εγκάρσια Επιφάνεια Βολβού
- $h_B$  : Η κατακόρυφη Θέση του Κέντρου του Βολβού
- $\lambda = 1.446 \cdot C_p - 0.03 \cdot L/B$ , για  $L/B < 12$  και  
 $\lambda = 1.446 \cdot C_p - 0.36$ , για  $L/B > 12$  και
- $m_4 = c_{15} \cdot 0.4 \cdot \exp(-0.034 \cdot F_n^{-3.29})$
- $c_{15} = -1.69385$ , για  $L/\nabla^{1/3} < 512$

- $c_{15} = -1.69385 + \left( L / \nabla^{1/3} - 8 \right) / 2.36$  , για  $512 < L / \nabla^{1/3} < 1726.91$
- $c_{15} = 0$  , για  $L / \nabla^{1/3} > 1726.91$

Για  $Fn \sim 0.4$  :

- $R_{W-A} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp \left\{ m_1 \cdot F_n^d + m_4 \cdot \cos \left( \lambda \cdot F_n^{-2} \right) \right\}$
- $c_1 = 2223105 \cdot c_7^{3.78613} \cdot (T/B)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565}$
- $c_7 = 0.229577 \cdot (B/L)^{0.3333}$  , για  $B/L < 0.11$
- $c_7 = B/L$  , για  $0.11 < B/L < 0.25$
- $c_7 = 0.5 - 0.0625 \cdot L/B$  , για  $B/L > 0.25$
- $m_1 = 0.0140407 \cdot L/T - 1.75254 \cdot \nabla^{1/3} / L - 4.79323 \cdot B/L - c_{16}$
- $c_{16} = 8.07981 \cdot C_p - 13.8673 \cdot C_p^2 + 6.984388 \cdot C_p^3$  , για  $C_p < 0.8$
- $c_{16} = 1.73014 - 0.7067 \cdot C_p$  , για  $C_p > 0.8$

Για  $0.4 < Fn < 0.5$  λαμβάνεται:

- $R_W = R_{W-A0.4} + (10 \cdot F_n - 4) \cdot (R_{W-B0.55} - R_{W-A0.4}) / 1.5$

Όπως ειπώθηκε και πριν

- $c_8 = B \cdot S \cdot (L \cdot D \cdot T_A)$  , για  $B/T_A < 5$
- $c_8 = S \cdot (7 \cdot B/T_A - 25) / (L \cdot D \cdot (B/T_A - 3))$  , για  $B/T_A > 5$
- $c_9 = c_8$  , για  $c_8 < 28$
- $c_9 = 32 - 16 / (c_8 - 24)$  , για  $c_8 > 28$
- $c_{11} = T_A / D$  , για  $T_A / D < 2$
- $c_{11} = 0.0833333 \cdot (T_A / D)^3 + 1.33333$  , για  $T_A / D > 2$

- $c_{19} = 0.12997 / (0.95 - C_B) - 0.11056 / (0.95 - C_P)$  , για  $C_P < 0.7$
- $c_{19} = 0.18567 / (1.3571 - C_M) - 0.71276 + 0.38648 \cdot C_P$  , για  $C_P > 0.7$
- $c_{20} = 1 + 0.015 \cdot C_{STERN}$
- $C_{P1} = 1.45 \cdot C_P - 0.315 - 0.0225 \cdot lcb$
- $C_V = (1 + k) \cdot C_F + C_A$

Για διπλέλικα πλοία το ποσοστό μείωσης ομόρου ( $w$ ), το ποσοστό μείωσης ώσης ( $t$ ) και ο βαθμός σχετικής απόδοσης έλικας ( $n_R$ ) δίνονται ως ακολούθως:

- $w = 0.3095 \cdot C_B + 10 \cdot C_V \cdot C_B - 0.23 \cdot D / \sqrt{B \cdot T}$
- $t = 0.325 \cdot C_B - 0.1885 \cdot D / \sqrt{B \cdot T}$
- $n_R = 0.9737 + 0.111 \cdot (C_P - 0.0225 \cdot lcb) - 0.06325 \cdot P / D$