



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

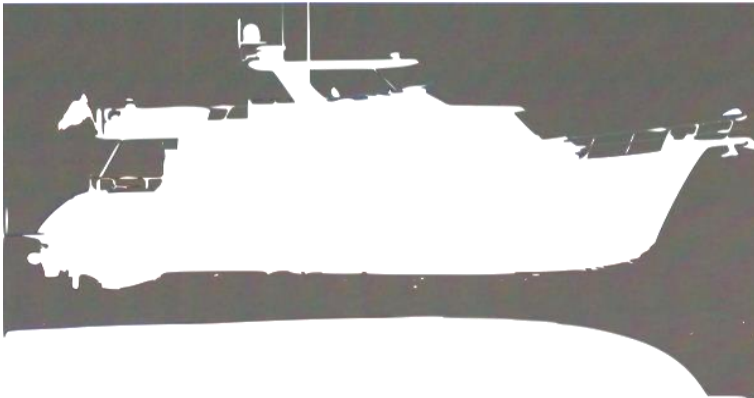
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΠΜΣ ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΑΣΤΡΑΣ
ΤΑΧΥΠΛΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ**

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Γ. ΛΙΑΤΣΗΣ



Επιβλέπων: ΝΙΚΟΛΑΟΣ Γ. ΤΣΟΥΒΑΛΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΔΠΜΣ ΝΑΥΤΙΚΗ & ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ
ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Γ. ΛΙΑΤΣΗΣ

Τριμελής Επιτροπή:

Νικόλαος Γ. Τσούβαλης, Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων)
Εμμανουήλ Σ. Σαμουηλίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Κων/νος Ανυφαντής, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ , ΜΑΡΤΙΟΣ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά την ολοκλήρωση των σπουδών του ΔΠΜΣ στο τμήμα των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κύριο Νικόλαο Τσούβαλη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, αναθέτοντάς μου ένα τόσο ενδιαφέρον και πρακτικό θέμα στο πλαίσιο του Κατασκευαστικού Σχεδιασμού. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερα για τον χρόνο που διέθεσε για εμένα και την πολύτιμη βοήθειά του. Να ευχαριστήσω ακόμη ένα σύνολο ανθρώπων που συνέβαλαν για να ενταχθώ και να ολοκληρώσω με επιτυχία το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Κλείνοντας, να ευχαριστήσω τον γιο μου για τη δύναμη που μου έδινε καθημερινά κοιτάζοντάς τον και τη γυναίκα μου για την στήριξή της σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπιζα. Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στον γιο μου και την αγαπημένη μου Σόφη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	0
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Σκοπός της Διπλωματικής	1
1.2 Γενικές πληροφορίες για το Αλουμίνιο	3
1.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αλουμίνιου	4
1.2.2 Ιδιότητες Αλουμίνιου	4
1.2.3 Κράματα αλουμίνιου	5
1.2.4 Ονοματολογία κραμάτων αλουμίνιου	6
1.2.5 Αλουμίνιο έναντι χάλυβα	11
1.2.6 Χρήσεις στη Ναυπηγική	12
1.3 Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO)	14
1.3.1 IMO – Ταχύπλοα σκάφη (HSC)	15
1.3.2 IMO – Υλικά κατασκευής	16
1.3.3 Κανονισμοί νηογνωμόνων	17
1.3.4 Διεθνής Ένωση Νηογνωμόνων (IACS)	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	20
2.1 Περιγραφή του υπό μελέτη σκάφους	20
2.2 Γενική διάταξη του σκάφους (<i>General Arrangement</i>)	20
2.3 Γεωμετρία γάστρας και ενισχύσεων σκάφους	24
2.4 Κατασκευή διαμήκων ενισχυτικών	25
2.5 Κατασκευή εγκάρσιων ενισχυτικών	26
2.6 Κατασκευή γάστρας σκάφους	28
2.7 Παραδοχές κατά τη σχεδίαση	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	31
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ	31
3.1 Γενικά	31
3.2 <i>Lloyd's Register (LR)</i>	31
3.2.1 Συνθήκες λειτουργίας (LR)	34
3.2.2 Βασικές αρχές (LR)	34
3.2.3 Απόκριση κίνησης σύμφωνα με τον (LR)	36
3.2.4 Φορτίσεις γάστρας σύμφωνα με τον (LR)	38
3.2.5 Κατασκευαστικά στοιχεία (LR)	45
3.3 <i>Det Norske Veritas (DNV)</i>	50
3.3.1 Βασικές αρχές (DNV)	54
3.3.2 Συνθήκες λειτουργίας (DNV)	55

3.3.3 Απόκριση κίνησης σύμφωνα με τον (DNV)	55
3.3.4 Φορτίσεις σύμφωνα με τον DNV	58
3.3.5 Κατασκευαστικά στοιχεία (DNV)	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	72
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΧΥΠΛΟΥΣ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	72
4.1 Εισαγωγή	72
4.2 Κατασκευή διαμήκων ενισχυτικών	72
4.3 Κατασκευή εγκάρσιων ενισχυτικών	74
4.4 Κατασκευή γάστρας σκάφους	75
4.5 Case study 1 ^ο σενάριο (Αξιολόγηση αποτελεσμάτων νηογνωμόνων)	76
4.5.1 Lloyd's Register	77
4.5.2 Det Norske Veritas	88
4.5.3 Μέγιστο πίεσης και πάχους (LR & DNV)	99
4.5.4 Διαστασιολόγηση ενισχυτικών (Primary & Secondary)	101
4.5.5 Συνολικό βάρος γάστρας(1 ^ο Σενάριο)	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	108
Συμπεράσματα	108
Βιβλιογραφία	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ο κατασκευαστικός σχεδιασμός γάστρας από αλουμίνιο, ταχυπλόου σκάφους (Motor Yacht), βάσει κανονισμών νηογνομόνων. Τα πρώτα βήματα για κάθε σχεδιαστή είναι να επιλέξει το προφίλ λειτουργίας (operational profile), το οποίο σχετίζεται με συνδυασμούς της ταχύτητας πλεύσης και των συνθηκών θάλασσας (sea states) που καλείται να συναντήσει το σκάφος. Το υπό μελέτη σκάφος εντάσσεται στην κατηγορία εκτοπίσματος και μελετάται η γάστρα (πυθμένας, πλευρά, κατάστρωμα και ενισχυτικά), σύμφωνα με τις απαιτήσεις που προδιαγράφουν οι κανονισμοί.

Αρχικά γίνεται κατανοητή η κατασκευαστική διαμόρφωση (structural configuration) του σκάφους, δίνοντας μια εικόνα για το πώς είναι διαμορφωμένη η κατασκευή και που ορίζει ο κατασκευαστής τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται το σκάφος όπως το μηχανοστάσιο, οι δεξαμενές και οι χώροι ενδιαίτησης. Έχοντας γνωστό το προφίλ λειτουργίας και τα βασικά χαρακτηριστικά του σκάφους υπολογίζεται η κατακόρυφη επιτάχυνση, μέσω της οποίας θα προκύψουν οι πιέσεις που ασκούνται σε όλα τα στοιχεία που συνθέτουν τη γάστρα.

Για να γίνει ο κατασκευαστικός σχεδιασμός χρειάζεται πρώτα να υπολογιστούν οι πιέσεις που ασκούνται στη γάστρα. Το γεγονός ότι το σημαντικό για ένα μικρό σκάφος είναι τα τοπικά φορτία που ασκούνται στην κατασκευή, δημιουργεί την ανάγκη να μελετηθεί το πρόβλημα διαφορετικά σε σχέση με τον τρόπο που μελετάται το πλοίο ως δοκός. Το κάθε σκάφος φτιάχνεται για να αντέξει το περιβάλλον φόρτισης και μέσω ημι-εμπειρικών σχέσεων παρουσιάζονται αποτελέσματα για κάθε κατασκευαστικό στοιχείο που μελετάται.

Εφόσον πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί και επιλεγεί ποια είναι η καταλληλότερη διαμόρφωση ενίσχυσης του σκάφους, με την ελάχιστη απαίτηση μάζας (βέλτιστο σενάριο), μελετάται το βάρος της αλουμινένιας κατασκευής. Η γάστρα του σκάφους, όπως και κάθε κατασκευαστικό τμήμα του θα πρέπει να είναι συμμορφωμένο με τους κανονισμούς που έχουν οριστεί απ' τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), καθώς και απ' τον εκάστοτε επιλεγμένο νηογνώμονα. Τα εξεταζόμενα στοιχεία, στην παρούσα μελέτη έχει αποφασιστεί να σχεδιαστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις δύο νηογνομόνων, των Det Norske Veritas (DNV), και Lloyd's Register (LR), έτσι ώστε να υπάρξει σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσπάθεια επίτευξης λύσεων χαμηλότερου κόστους και υψηλότερης απόδοσης χαρακτηρίζει κάθε κατασκευαστικό τομέα. Η βασική αυτή επιδίωξη ικανοποιείται με τη μεταβολή ορισμένων παραμέτρων που επηρεάζουν σημαντικά, άμεσα ή έμμεσα, τα μεγέθη αυτά. Μία συνήθης πρακτική οικονομικής και λειτουργικής βελτιστοποίησης μίας κατασκευής είναι η προσπάθεια μείωσης του βάρους της, η οποία αποτέλεσε ανέκαθεν καθοριστικό παράγοντα νέων σχεδιάσεων και τεχνολογικών εξελίξεων.

Οι ναυπηγικές κατασκευές αποτελούν τυπικά παραδείγματα κατασκευών, το βάρος των οποίων επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή τους. Είτε πρόκειται για πλωτές κατασκευές είτε για πλοία και μικρά σκάφη, η μείωση του βάρους συνεπάγεται πιθανή ελάττωση του κόστους κατασκευής. Παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα μεγαλύτερης μεταφορικής ικανότητας, αυξάνοντας έτσι την εμπορική εκμεταλλευσιμότητα τους. Επιπλέον, τα ελαφρύτερα σκάφη έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε ισχύ, ενώ η πιθανή μείωση της αντίστασης των γαστρών τους οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας. Συνεπώς, η ναυπηγική αποτελεί πεδίο εφαρμογής νέων σχεδιάσεων και τεχνολογιών που συμβάλλουν στην παραγωγή ελαφρύτερων κατασκευών.

Η πρακτική των συγκολλήσεων και η χρήση ενισχυτικών στα ελάσματα των ναυπηγικών κατασκευών συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση του βάρους εδώ και πολλά χρόνια. Όμως, η εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών χαμηλότερου ειδικού βάρους από εκείνο του παραδοσιακού ναυπηγικού χάλυβα προσέφερε νέες κατασκευαστικές λύσεις. Σύντομα, το αλουμίνιο αντικατέστησε το χάλυβα σε τμήματα σκαφών και πλοίων, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις αποτέλεσε το βασικό υλικό κατασκευής. Η πιο ευρεία χρήση του γίνεται σε σκάφη υψηλών ταχυτήτων νέας τεχνολογίας. Είναι προφανές ότι οι συνθήκες λειτουργίας αυτών των σκαφών ευνοούν την ανάπτυξη και τη διάδοση ρωγμών στα αλουμινένια ναυπηγικά ελάσματα και ως εκ τούτου, το ναυπηγικό αλουμίνιο καθίσταται σημαντικό αντικείμενο μελέτης σε αυτόν τον τομέα.

1.1 Σκοπός της Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στο πλαίσιο της μελέτης του κατασκευαστικού σχεδιασμού ταχύπλου σκάφους. Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι ο υπολογισμός του βάρους του περιβλήματος της γάστρας (ενισχυτικά διαμήκη & εγκάρσια, εγκάρσιοι νομείς και πλάκες) χωρίς όμως να συνυπολογίζονται οι υπερκατασκευές. Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης, γίνεται μια προσπάθεια κατανόησης του τρόπου με τον οποίο διαστασιολογείται ένα ταχύπλοο (Motor Yacht), με βάση τους κανονισμούς που ορίζουν οι νηογνώμονες. Το σκάφος που επιλέχτηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι το «Explorer 70E», Αμερικανικής προέλευσης το οποίο κατασκευάστηκε στις αρχές του 2007 και ανήκει στην κλάση του Βρετανικού νηογνώμονα.

Στο πρώτο Κεφάλαιο ορίζεται ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και θεμελιώδεις εισαγωγικές έννοιες που αφορούν στον κατασκευαστικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι στόχοι της και περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών κραμάτων του αλουμινίου και αναφέρονται γενικότερα οι ιδιότητες και η ονοματολογία αυτών. Γίνεται συγκριτική μελέτη του αλουμινίου έναντι του χάλυβα και αναφέρονται εφαρμογές του αλουμινίου στη ναυπηγική. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στους βασικούς οργανισμούς που διέπουν την ασφάλεια των πλοίων και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Παρουσιάζεται ο «Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός» και η αναγκαιότητα των κανονισμών στη κατασκευή σκαφών και στην επιλογή του κατάλληλου υλικού, με ιδιαίτερη αναφορά στο ρόλο που παίζει η Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (IACS) και οι νηογνώμονες που την αποτελούν.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο πραγματοποιείται εισαγωγή στον κατασκευαστικό σχεδιασμό ξεκινώντας με την περιγραφή και τη γενική διάταξη του υπό μελέτη σκάφους. Αναλύεται η γεωμετρία του σκάφους μέσα από κατάλληλα σχήματα, και γίνεται εμφανής η επιλογή της θέσης των ενισχυτικών, διαμήκων και εγκάρσιων. Επιπλέον, αναφέρονται όλες οι παραδοχές που ληφθήκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό.

Στο τρίτο Κεφάλαιο παρατίθενται δύο νηογνώμονες, οι 'Det Norske Veritas' (DNV) και 'Lloyd's Register' (LR), και γίνεται εφαρμογή τους. Οι δύο νηογνώμονες παρουσιάζουν τους τρόπους με τους οποίους θα γίνει η διαστασιολόγηση των πλακών και ενισχυτικών ανάλογα με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί. Στην συγκεκριμένη εργασία το υλικό που έχει επιλεγεί είναι το αλουμίνιο.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται ο κατασκευαστικός σχεδιασμός για το υπό μελέτη σκάφος. Ειδικότερα, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκάφους, παρουσιάζεται το σχέδιο γενικής διάταξης του καθώς και η κατασκευαστική διαμόρφωση της γάστρας ανά διαμέρισμα και ανά κατασκευαστικό στοιχείο με τη μορφή πλέγματος (ενισχυτικά διαμήκη & εγκάρσια, νομείς, δοκάρια και πλάκες). Μελετώνται διαφορετικά σενάρια διάταξης (case studies) και παρουσιάζονται σχηματικά τα αποτελέσματα της κατασκευαστικής διάταξης των ενισχυτικών για κάθε ένα από τα σενάρια. Τα τελικά αποτελέσματα διαστασιολόγησης εξάγονται μέσω λογισμικού που αναπτύχθηκε για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας στο MATLAB, για κάθε σενάριο και για τους δυο κανονισμούς. Με βάση αυτά, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του βάρους της γάστρας και γίνεται η σύγκριση μεταξύ των δυο κανονισμών.

Τέλος, στο πέμπτο Κεφάλαιο γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη διαδικασία σχεδίασης του σκάφους για όλα τα σενάρια και για τους δυο νηογνώμονες. Στη συνέχεια, εξάγονται συγκριτικά συμπεράσματα για το ποιος νηογνώμονας είναι πιο συντηρητικός και ποιο είναι το βέλτιστο σενάριο για τη διαστασιολόγηση του σκάφους. Προτάσεις για μελλοντική εργασία και προέκταση της παρούσας διπλωματικής συζητούνται στο τέλος του Κεφαλαίου.

1.2 Γενικές πληροφορίες για το Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική. Η ιστορία του στο χώρο των πλοίων ξεκινάει πάνω από έναν αιώνα πριν, όπου ήδη απ' τη τελευταία δεκαετία του 19^{ου} αιώνα υπάρχουν απόπειρες κατασκευής πλοίων εξ' ολοκλήρου από αλουμίνιο, παρόλο που η τιμή του εκείνη την περίοδο ήταν περίπου 30 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του χάλυβα. Συγκεκριμένα το 1891, στο ελβετικό ναυπηγείο Escher Wyss, κατασκευάζεται ένα σκάφος 5 μέτρων με ατμοκινητήρα, το οποίο πρόκειται για το πρώτο γνωστό σκάφος, που κατασκευάστηκε από αλουμίνιο. Ο κύριος λόγος επιδίωξης της χρήσης του αλουμινίου δεν ήταν άλλος απ' το χαμηλό βάρος, την επαρκή αντοχή και την εύκολη παραγωγή. Λόγω του μικρού βάρους είναι δυνατόν η περαιτέρω φόρτωση του σκάφους ή η επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Το τελευταίο το αντιλήφθηκαν και το απέδειξαν οι κατασκευαστές του 'Defender', που για το περίβλημα της γάστρας του σκάφους χρησιμοποίησαν αλουμίνιο, με αποτέλεσμα να κερδίσει το America's Cup το 1895.

Παρόλο την τεράστια εξέλιξη που υπήρξε εκείνη την δεκαετία στην χρήση του αλουμινίου, η συνέχεια δεν ήταν ανάλογη, και αυτό οφείλεται κυρίως στη μικρή διάρκεια ζωής που είχαν τα πλοία από αλουμίνιο, λόγω της έντονης διάβρωσης που αντιμετώπιζαν στα σημεία που υπήρχε επαφή με το θαλασσινό νερό. Έπρεπε να περάσουν δεκαετίες και να εμφανιστούν τα κράματα αλουμινίου-μαγνησίου της σειράς 5000, για να ξανάρθει στο προσκήνιο το αλουμίνιο, κάτι στο οποίο βοήθησε και η εφεύρεση της μεθόδου συγκόλλησης με τόξο βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW). Η υψηλή αντοχή σε διάβρωση που διακρίνει τα παραπάνω κράματα σε συνδυασμό με το χαμηλό βάρος που είναι το κύριο χαρακτηριστικό των κραμάτων αλουμινίου, οδήγησαν στην ευρεία χρήση τους, ειδικά στα πολεμικά σκάφη, όπου υπήρχαν απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες.

Ο πόλεμος που πραγματοποιήθηκε το 1982, στα νησιά Falkland, ανάμεσα σε Βρετανία και την Αργεντινή, είχε αρνητικό αντίκτυπο στη επιλογή αλουμινίου για τα πολεμικά σκάφη για αρκετές χώρες. Αυτό συνέβη γιατί στον πόλεμο αυτό, φάνηκαν οι αδυναμίες του αλουμινίου, και συγκεκριμένα η κακή του συμπεριφορά στην φωτιά, που οδήγησε, σύμφωνα με τα ΜΜΕ, στην βύθιση εννέα βρετανικών σκαφών, απ' την αεροπορία της Αργεντινής [1].



Σχήμα 1.1: Το βρετανικό σκάφος Sheffield έχει πάρει φωτιά αφού δέχτηκε βλήμα [1]

Μπορεί η σημαντική μείωση των ιδιοτήτων του αλουμινίου σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200 °C και το γεγονός στα νησιά Falkland να οδήγησε στον τερματισμό της ευρείας χρήσης του εκείνη την περίοδο, αλλά σήμερα υπάρχουν κράματα που διατηρούν αξιόλογες ιδιότητες ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες. Η δυνατότητα που έχουν πλέον τα κράματα αλουμινίου να έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη, καθώς και η ανάπτυξη νέων τεχνικών συγκολλήσεων, καθιστούν το αλουμίνιο ένα απ' τα καταλληλότερα υλικά για χρήση σε ναυπηγικές εφαρμογές.

1.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αλουμινίου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι βασικές ιδιότητες του αλουμινίου, τα κράματά του και η ονοματολογία τους. Επιπλέον, αναλύεται η χρήση του αλουμινίου εναλλακτικά του χάλυβα και η χρήση του στη ναυπηγική.

1.2.2 Ιδιότητες Αλουμινίου

Ο βασικότερος λόγος που καθιστά το αλουμίνιο ιδανικό για χρήση σε ναυπηγικές κατασκευές είναι η υψηλή τιμή του λόγου αντοχής προς βάρος. Η μείωση του βάρους της κατασκευής, σε συνδυασμό με τις καλές μηχανικές ιδιότητες και την άριστη αντιδιαβρωτική συμπεριφορά, έχουν καθιερώσει το αλουμίνιο ως βασικό μέταλλο σε πολλές ναυπηγικές εφαρμογές. Η εξοικονόμηση βάρους σε σχέση με τις χαλύβδινες κατασκευές μπορεί να φτάσει και το 55-67% για τις ίδιες απαιτήσεις αντοχής. Σημαντικό, επίσης, πλεονέκτημα που προσφέρει το χαμηλό ειδικό βάρος του αλουμινίου είναι η αύξηση της ταχύτητας του πλοίου, καθώς και του μεγέθους του, και κατ' επέκταση της μεταφορικής ικανότητας του. Αυτό οδηγεί σε σημαντική οικονομία καυσίμου κατά το χρόνο λειτουργικής ζωής του πλοίου.

Η αποδοχή του αλουμινίου ως ενός απ' τα πιο διαδεδομένα υλικά για επιλογή σε ναυπηγικές εφαρμογές δεν είναι τυχαία. Για παραπάνω από έναν αιώνα χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλοίων και αυτό είναι αποτέλεσμα των σημαντικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του, με πιο χαρακτηριστικές την χαμηλή πυκνότητα, την υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και την υψηλή αντίσταση σε διάβρωση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες από τις ιδιότητες του καθαρού αλουμινίου.

Πίνακας 1.1: Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου [2]

Ιδιότητες Αλουμινίου		
Πυκνότητα (20 °C)	2.75	gr/cm ³
Μέτρο Ελαστικότητας (E)	70	GPa
Μέτρο Στρέψης (G)	25.5	GPa
Συντελεστής Poisson	0.33	
Ηλεκτρική αντίσταση (20 °C)	2,69*10 ⁻⁸	Ωcm
Σημείο Τήξης	643-657	°C
Συντελεστής Θ/Δ	1,8*10 ⁻⁵ – 2,4*10 ⁻⁵	1/K
Όριο διαρροής	35	MPa
Αντοχή σε Εφελκυσμό	80	MPa
Σκληρότητα Vickers	20	HV

Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι πρόκειται σχετικά για ένα όχι και τόσο ανθεκτικό μέταλλο, που είναι όμως ιδιαίτερα όλκιμο και με καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Μια απ' τις πιο σημαντικές ιδιότητες του αλουμινίου είναι η δυνατότητα του να συνδυάζεται εύκολα με άλλα μέταλλα και να δημιουργεί κράματα, τα οποία παρουσιάζουν ποικίλες καινούριες ιδιότητες ανάλογα και με το δεύτερο κραματικό στοιχείο και έτσι έχουν καλύτερη συμπεριφορά από το καθαρό. Ακόμα, όπως έχει προαναφερθεί, ένας άλλος τρόπος για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό ή και όχι με την κραματοποίηση, είναι κάποιες θερμικές και μη κατεργασίες, οι οποίες ωφελούν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Επομένως είναι κατανοητό ότι οι τιμές του παραπάνω πίνακα παρουσιάζουν μια αρχική εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του αλουμινίου, οι οποίες όμως στην πραγματικότητα μεταβάλλονται, καθώς πριν τη χρήση του, στην συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών του το αλουμίνιο θα έχει υποστεί κραματοποίηση ή κάποια άλλη επεξεργασία.

Για παράδειγμα στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες απ' τις ιδιότητες του 5083 - O, ενός κράματος αλουμινίου που χρησιμοποιείται ευρέως σε ναυπηγικές εφαρμογές. Ανήκει στη σειρά 5xxx, δηλαδή περιέχει μαγνήσιο και πυρίτιο, ενώ ο κωδικός O υποδηλώνει ότι έχει υποστεί ανόπτηση για τη βελτίωση της ολκιμότητας του υλικού.

Πίνακας 1.2: Ιδιότητες του AL 5083 - O [2]

Ιδιότητες AL 5083 - O		
Πυκνότητα (20 °C)	2.66	gr/cm ³
Μέτρο Ελαστικότητας (E)	71	GPa
Μέτρο Στρέψης (G)	26.4	GPa
Συντελεστής Poisson	0.33	
Ηλεκτρική Αντίσταση	3,8*10 ⁻⁸	Ωm
Σημείο Τήξης	590 - 638	°C
Συντελεστής Θ/Δ	2,4*10 ⁻⁵	1/K
Όριο Διαρροής	200 - 260	MPa
Αντοχή σε Εφελκυσμό	275 - 350	MPa
Σκληρότητα (Vickers)	95	HV

1.2.3 Κράματα αλουμινίου

Τα πιο διαδεδομένα κράματα αλουμινίου έχουν ως στοιχεία κραμάτωσης χαλκό, ψευδάργυρο, μαγνήσιο, πυρίτιο και μαγγάνιο. Είναι πολύ ελαφρύτερα και έχουν μεγαλύτερη αντίσταση σε διάβρωση από τον απλό χάλυβα, αλλά όχι τόσο όσο το καθαρό αλουμίνιο. Τα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα κράματα διαμόρφωσης και τα κράματα χύτευσης. Τα κράματα των δύο αυτών κατηγοριών μπορούν να υποδιαιρεθούν σε άλλες δύο κατηγορίες, που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα των οποίων η θερμική κατεργασία είναι αδύνατη.

Πίνακας 1.3: Επιδράσεις των ιδιοτήτων βάσει των προσθηκών [3]

Προσθήκη	Επίδραση στις Ιδιότητες του Αλουμινίου
Χαλκός	Σε ποσοστό έως 12 % προκαλεί βελτίωση της μηχανικής αντοχής και της κατεργασιμότητας. Η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με κατακρήμνιση
Σίδηρος	Σε μικρά ποσοστά βελτιώνει την αντοχή και τη σκληρότητα και ταυτόχρονα μειώνει τις πιθανότητες θερμής ρωγμάτωσης κατά τη χύτευση
Μαγγάνιο	Βελτιώνει την ολκιμότητα και σε συνδυασμό με τον σίδηρο τη χυτευσιμότητα
Μαγνήσιο	Βελτιώνει τη μηχανική αντοχή και την αντοχή σε διάβρωση. Σε ποσοστό μεγαλύτερο του 6 % προκαλεί σκλήρυνση με κατακρήμνιση
Πυρίτιο	Βελτιώνει κατά πολύ τη χυτευσιμότητα και την αντοχή σε διάβρωση
Ψευδάργυρος	Μειώνει τη χυτευσιμότητα αλλά σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία προσθήκης βελτιώνει τη μηχανική αντοχή

1.2.4 Ονοματολογία κραμάτων αλουμινίου

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ονομασίας των κραμάτων βασίζεται σε τέσσερα αριθμητικά ψηφία. Την παραπάνω κατάταξη την έχει εμπνευστεί η *Aluminum Association* των ΗΠΑ και κάθε ψηφίο υποδηλώνει χαρακτηριστικά και συστατικά του κράματος. Το πρώτο ψηφίο (Xxxx) φανερώνει το κύριο στοιχείο του κράματος, το οποίο είναι κι αυτό που κατατάσσει το κράμα σε μια συγκεκριμένη σειρά. Οι σειρές αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1.4). Το δεύτερο ψηφίο (xXxx) αν είναι διαφορετικό του μηδενός είναι ένα χαρακτηριστικό παραλλαγής, ενώ το τρίτο και το τέταρτο ψηφίο (xxXX) αποτελούν το διακριτικό του συγκεκριμένου κράματος.[3]

1. Κράματα διαμόρφωσης

Το καθαρό αλουμίνιο κραματοποιείται εύκολα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κραμάτων με πληθώρα φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Τα κράματα διαμόρφωσης κατατάσσονται με το παρακάτω σύστημα τεσσάρων ψηφίων, ανάλογα με το στοιχείο κραμάτωσης.

- Πρώτο ψηφίο: Κύριο συστατικό
- Δεύτερο ψηφίο: Χαρακτηριστικό παραλλαγής
- Τρίτο & Τέταρτο ψηφίο: Διακριτικό κράματος

2. Κράματα χύτευσης

Στην περίπτωση των κραμάτων χύτευσης τα χυτά εξαρτήματα έχουν οριστική και καθορισμένη μορφή και δεν υφίστανται πλέον καμία πλαστική παραμόρφωση. Έχουν καλές μηχανικές και αντιαβρωτικές ιδιότητες. Όσον αφορά στην ονοματολογία τους, η κωδικοποίηση ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης είναι η εξής.

- Πρώτο ψηφίο: Κύριο στοιχείο προσθήκης

- Δεύτερο & τρίτο ψηφίο: Ειδική κατηγορία κράματος οικείας ομάδας
- Τέταρτο ψηφίο: Μορφολογία προϊόντος χύτευσης

Πίνακας 1.4: Σειρές κραμάτων αλουμινίου [3]

Σειρές Κραμάτων	Κύρια Σύσταση Κραμάτων
1xxx	Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας (Τουλάχιστον 99% Al)
2xxx	Χαλκός / Copper (Cu)
3xxx	Μαγγάνιο / Manganese (Mn)
4xxx	Πυρίτιο / Silicon (Si)
5xxx	Μαγνήσιο / Magnesium (Mg)
6xxx	Μαγνήσιο και Πυρίτιο / Magnesium and Silicon (Mg - Si)
7xxx	Ψευδάργυρος / Zinc (Zn)
8xxx	Άλλα στοιχεία / Other elements

Έχει αναφερθεί ότι στο αλουμίνιο γίνεται προσθήκη άλλων στοιχείων για να επιτευχθεί καλύτερη αντοχή, καθώς και άλλες ιδιότητες που είναι χρήσιμες στην κάθε εφαρμογή. Μετά την κραματοποίηση είναι δυνατή η περαιτέρω αύξηση της αντοχής του κράματος με διάφορες κατεργασίες. Γενικά για τα κράματα του αλουμινίου χρησιμοποιούνται δύο ειδών κατεργασίες, μη θερμικά κατεργασμένα και θερμικά κατεργασμένα κράματα. Το είδος της κατεργασίας στο οποίο θα υποβληθεί το κράμα εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό απ' το κύριο στοιχείο του και θα είναι φανερό χάρις στο γράμμα και ένα έως τρία ψηφία, που συνοδεύουν το όνομα του κράματος.

Πίνακας 1.5: Συμβολισμοί Κατεργασίας

F	Καμία επεξεργασία
O	Ανόπτηση (βελτίωση ολκιμότητας)
H	Ενδοτράχυνση (ακολουθείται από δύο ψηφία)
W	Θερμικά Επεξεργασμένο
T	Θερμική Κατεργασία

Στα **μη θερμικά κατεργασμένα κράματα** η αύξηση της αντοχής οφείλεται στα στοιχεία κραμάτωσης (σειρές 1000, 3000, 4000, 5000). Περαιτέρω αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται με κατεργασία διαμόρφωσης εν ψυχρό (cold working), δηλαδή πλαστική παραμόρφωση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και με τέτοιο ρυθμό, ώστε να προκληθεί ενδοτράχυνση.

Στα **θερμικά κατεργασμένα κράματα** η βασική αντοχή οφείλεται στα στοιχεία κραμάτωσης όπως, χαλκός, μαγνήσιο, ψευδάργυρος, πυρίτιο. Η θερμική κατεργασία αποτελείται από 4 βήματα. Κατεργασία διαλυτοποίησης (ή υπερβαφή), γρήγορη βαφή, κατακρήμνιση, και γήρανση. Είναι δυνατή η περαιτέρω αύξηση της αντοχής και σταθεροποίηση των ιδιοτήτων του κράματος με θέρμανση για ελεγχόμενο χρονικό διάστημα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (τεχνητή γήρανση, σκλήρυνση με κατακρήμνιση). Με αυτό τον τρόπο παρασκευάζονται κράματα διαμόρφωσης πολύ μεγάλης αντοχής.[3]

Παρακάτω γίνεται αναφορά στις χρησιμοποιούμενες σειρές κραμάτων διαμόρφωσης αλουμινίου και στις ιδιότητες τους. Μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στις σειρές 5000 και 6000, που είναι οι βασικές σειρές κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική.

➤ Σειρά 1000:

Τα κράματα της σειράς 1000 περιέχουν τουλάχιστον 99% αλουμίνιο. Οι κυριότερες ακαθαρσίες που περιέχονται σε αυτά τα κράματα είναι ο σίδηρος και το πυρίτιο, σε συνολικό ποσοστό έως 1%. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων τους είναι αρκετά χαμηλές, αλλά βελτιώνονται με ενδοτράχυνση. Τα κράματα αυτής της σειράς υπόκεινται σε κατεργασίες εν ψυχρό και έχουν εξαιρετική αντοχή σε υγρή και θαλάσσια ατμόσφαιρα. Έχουν θαυμάσια ηλεκτρική αγωγιμότητα (χρησιμοποιούνται για την κατασκευή συρμάτων, καλωδίων) και θερμική αγωγιμότητα (χρησιμοποιούνται για την κατασκευή καλοριφέρ). Επίσης έχουν εξαιρετική αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Χαρακτηριστικά κράματα της σειράς είναι τα 1100 και 1350.

➤ Σειρά 2000:

Αυτή η σειρά αποτελείται από κράματα αλουμινίου-χαλκού (Al-Cu), όπου ο χαλκός περιέχεται σε ποσοστά από 2.6 έως 6.3%, καθώς επίσης και κράματα Al-Cu-Mg, όπου το μαγνήσιο περιέχεται σε ποσοστά 0.5-1.5%. Τα κράματα της σειράς 2000 είναι θερμικά κατεργαζόμενα κράματα και η σκλήρυνση της δομής επιτυγχάνεται με κατακρήμνιση. Έτσι το κράμα έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, ιδίως σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, μετά από βαφή και γήρανση, έχουν μέτρια αντοχή σε διάβρωση και όχι καλή συγκολλητικότητα. Τα κράματα της σειράς 2000 μπορούν να περιέχουν επίσης τα στοιχεία Si και Mn σε ποσοστά, όμως, μικρότερα του 0.8%. Επίσης, στην ίδια σειρά ανήκουν και τα κράματα Al-Li, χάρις στο οποίο δημιουργούνται πολύ ελαφριά κράματα. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην αεροπορική βιομηχανία (κράμα 2024), καθώς και στην αεροδιαστημική βιομηχανία (κράμα 2195), λόγω της μικρής τους πυκνότητας και της υψηλής μηχανικής αντοχής που τα χαρακτηρίζουν.

➤ Σειρά 3000:

Η κύρια προσθήκη των κραμάτων της σειράς 3000 είναι το μαγγάνιο (Mn), σε ποσοστά έως 1.8%. Είναι μη θερμικά επεξεργάσιμα κράματα και χαρακτηρίζονται από καλή επεξεργασιμότητα, πολύ καλή αντοχή σε διάβρωση, καλή συγκολλητικότητα και μέτρια αντοχή. Τα πιο χαρακτηριστικά κράματα της σειράς είναι τα 3003, 3004, και 3005. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου πιο σημαντική είναι η δυνατότητα επεξεργασιμότητας και όχι η μηχανική αντοχή.

➤ Σειρά 4000:

Τα κράματα της σειράς 4000 περιέχουν πυρίτιο σε ποσοστά 4-22%. Είναι θερμικά επεξεργάσιμα κράματα με μέτρια αντοχή, αλλά καλή αντίσταση σε διάβρωση. Η προσθήκη πυριτίου κάνει το κράμα πιο ρευστό όταν υγροποιείται, και σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος του χρησιμοποιείται πολύ ως μέταλλο εναπόθεσης στις τεχνικές GMAW (Gas Metal Arc Welding) και GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Τα κυριότερα κράματα είναι το 4032 και το 4043 που χρησιμοποιείται ως καταναλισκόμενο μέταλλο.

➤ Σειρά 5000:

Βασικό στοιχείο κραματοποίησης των κραμάτων της σειράς 5000 είναι το μαγνήσιο (Mg), σε ποσοστά μικρότερα του 4%. Όταν χρησιμοποιείται ως κύριο στοιχείο κραμάτωσης (ή σε συνδυασμό με το μαγγάνιο), οδηγεί στη δημιουργία κράματος μέτριας μηχανικής αντοχής, που βελτιώνεται με ενδοτράχυνση, σε βάρος όμως της ολκιμότητας τους. Τα κράματα αυτά δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Συγκολλώνται εύκολα, έχουν υψηλή αντοχή σε θαλάσσια διάβρωση και παρουσιάζουν επιφάνεια καλής ποιότητας μετά από λείανση και ανοδίωση. Σε περίπτωση που πρόκειται να υποστούν τέτοιες επιφανειακές κατεργασίες,

πρέπει τα ποσοστά σιδήρου και πυριτίου να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα.

Όσο αυξάνεται η προσθήκη μαγνησίου στο κράμα, τόσο βελτιώνονται οι μηχανικές του ιδιότητες και η συγκολλητότητα του. Τα κράματα της σειράς 5000 συγκολλώνται εύκολα με πληθώρα τεχνικών. Ως αποτέλεσμα, τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατασκευαστική βιομηχανία (δρόμοι, γέφυρες, δεξαμενές), και στη ναυπηγική βιομηχανία. Ενδεικτικές τιμές μηχανικής αντοχής των κραμάτων της σειράς 5000, κυμαίνονται από 124-352 MPa, με σημαντική μείωση της αντοχής κοντά στις περιοχές της συγκόλλησης.

Εφαρμογές κραμάτων διαμόρφωσης της σειράς 5000 στη ναυπηγική βιομηχανία:

Κράματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε μαγνήσιο είναι τα 5086, 5083, 5456. Αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή της γάστρας του πλοίου και σε πληθώρα ναυπηγικών κατασκευών, συνήθως μετά από κατεργασία H116.

- 5086:

Μέσα επίπεδα αντοχής, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Mg, καλή συγκολλητότητα, καλή αντίσταση σε διάβρωση και καλή κατεργασιμότητα. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή της γάστρας, των καταστρωμάτων, των φρακτών, ιστών, πύργων, δεξαμενών.

- 5083:

Παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε Mg, καλή συγκολλητότητα, εξαιρετικές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες, μέτρια κατεργασιμότητα. Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που απαιτούν πολύ υψηλό λόγο αντοχής/βάρος, όπως γάστρες υδροπτερυγών, αμφίβια σκάφη. Επίσης, λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που εμφανίζει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή σφαιρικών δεξαμενών πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φορτίου (LNG).

Τα κράματα 5083-H113/H321 βρίσκουν εφαρμογή σε ταχύπλοα σκάφη, στην κατασκευή της γάστρας, ενισχυτικών, καταστρωμάτων και υπερκατασκευών. Επίσης, το κράμα 5083 χρησιμοποιείται σε συγκολλητές κατασκευές όπου απαιτείται υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε υγρό θαλάσσιο περιβάλλον, όπως εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου.

➤ Σειρά 6000:

Κύρια στοιχεία προσθήκης είναι το μαγνήσιο και το πυρίτιο, σε ποσοστά που κάνουν δυνατή τη δημιουργία Mg_2Si , έτσι ώστε να μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία. Ορισμένα κράματα της σειράς 6000 περιέχουν μικρές προσθήκες Mn (<0.8%) και Cr (<0.3%). Αυτές οι προσθήκες συντελούν στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής και της δυσθραυστότητας του κράματος. Τα κράματα αυτά εμφανίζουν πολύ υψηλή αντίσταση σε διάβρωση, εξαιρετικές δυνατότητες εξέλασης που το καθιστούν ιδανικό για κατασκευαστικά δύσκολα τμήματα που απαιτούν υψηλή αντοχή, καλές μηχανικές ιδιότητες και αντοχή. Επίσης εμφανίζουν καλή συγκολλητότητα, κυρίως με τις μεθόδους GTAW ή GMAW. Ακόμη ένα στοιχείο της σειράς αυτής είναι η καλή μηχανική συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά η χρήση τους περιορίζεται μέχρι τους 150 °C. Τυπικές τιμές αντοχής των κραμάτων σειράς 6000 κυμαίνονται από 124-400 MPa, με τις τιμές να μειώνονται σημαντικά σε περιοχές κοντά στη συγκόλληση.

➤ Σειρά 7000:

Πρόκειται για κράματα Al-Zn-Mg. Το κύριο στοιχείο κραμάτωσης σε αυτή τη σειρά είναι ο ψευδάργυρος, ο οποίος σε συνδυασμό με μικρό ποσοστό μαγνησίου προσδίδει πολύ καλές

μηχανικές ιδιότητες στο κράμα και πολύ υψηλή αντοχή. Είναι κράματα εύκολα θερμικά κατεργαζόμενα και παρουσιάζουν τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου, ανάλογα με το είδος της κατεργασίας. Ωστόσο, εμφανίζουν μέτρια συγκολλητότητα. Το κύριο μειονέκτημα των κραμάτων 7000 είναι η μειωμένη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, έτσι η χρήση τους περιορίζεται στους 120 °C.

Κυριότερο κράμα της σειράς είναι το 7075, το οποίο χρησιμοποιείται στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών τα οποία απαιτούν πολύ υψηλή αντοχή λόγω των συνεχών και υψηλών καταπονήσεων που υφίστανται, και πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά. Είναι ένα κράμα πολύ υψηλού κόστους και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που άλλα φθηνότερα κράματα αποδεικνύονται ανεπαρκή.

Στον πίνακα 1.6 που ακολουθεί, φαίνεται η κωδικοποίηση σύμφωνα με την *Aluminum Association*, των κραμάτων αλουμινίου, ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν υποστεί.[4]

Πίνακας 1.6: Κωδικοποίηση με βάση την κατεργασία [4]

Κωδικός	Κατεργασία
F	Προϊόν χωρίς μηχανική ή θερμική κατεργασία
O	Ανόπτηση
H	Ενδοτράχυνση, μόνο για τα κράματα διαμόρφωσης
	H1X Μόνο ενδοτράχυνση (το X αναφέρεται στο βαθμό ενδοτράχυνσης)
	H11: Κράμα ελάχιστης σκληρότητας
	H12: Κράμα σκληρωμένο κατά 25 %
	H14: Κράμα σκληρωμένο κατά 50 %
	H16: Κράμα σκληρωμένο κατά 75 %
	H18: Κράμα σκληρωμένο κατά 100 %
	H19: Υπέρσκληρο κράμα
	H2X Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από ανόπτηση αποκατάστασης. Το X κυμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης πριν από τη σταθεροποίηση
H3X Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία σταθεροποίησης σε χαμηλή θερμοκρασία, προκειμένου να αποφευχθεί σκλήρυνση λόγω γήρανσης	
T	Θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση
	T1 Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και φυσική γήρανση
	T2 Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, μηχανική κατεργασία εν ψυχρό και φυσική γήρανση
	T3 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρό και φυσική γήρανση
	T4 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και φυσική γήρανση
	T5 Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος
	T6 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και τεχνητή γήρανση σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος
	T7 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, θερμική κατεργασία σταθεροποίησης
T8 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, θερμική κατεργασία εν ψυχρό και τεχνητή γήρανση	

	T9 Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, τεχνητή γήρανση και κατεργασία εν ψυχρό
	T10 Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, κατεργασία εν ψυχρό και τεχνητή γήρανση
W	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, χρησιμοποιείται μόνο για τα κράματα που υφίστανται σκλήρυνση με γήρανση

1.2.5 Αλουμίνιο έναντι χάλυβα

Συγκριτικά πλεονεκτήματα:

1. Μικρό βάρος: Τα κράματα του αλουμινίου χαρακτηρίζονται για την μικρή τους πυκνότητα, με τιμές γύρω στο 2.7 g/cm^3 όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες. Η τιμή αυτή είναι περίπου ίση με το ένα τρίτο της πυκνότητας του χάλυβα (γύρω στο 7.8 g/cm^3 η πυκνότητα του χάλυβα), πράγμα που σημαίνει ότι το αλουμίνιο έχει χαμηλότερο ειδικό βάρος και υψηλότερη ειδική αντοχή. Έτσι η επιλογή του αλουμινίου για την κατασκευή μιας γάστρας ή μιας υπερκατασκευής ενός πλοίου μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση βάρους κοντά στο 50%. Η επίτευξη μικρότερου βάρους οδηγεί σε θετικό αντίκτυπο για το πλοίο, το οποίο ο σχεδιαστής μπορεί να το εκμεταλλευτεί όπως εκείνος επιθυμεί. Συγκεκριμένα με τη μείωση του βάρους ο σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου (payload) και άρα να γίνει αποδοτικότερο και να αυξηθούν τα έσοδα. Αν επιλεγθεί να διατηρηθεί σταθερή η μεταφορική ικανότητα τότε θα μπορέσουν να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες, να γίνει εξοικονόμηση καυσίμου, να βελτιωθεί η αντοχή σε βάθος χρόνου ή καλύτερες ελκτικές ικανότητες. Αν το τμήμα στο οποίο χρησιμοποιηθεί το αλουμίνιο είναι μια υπερκατασκευή, πέρα απ' τα παραπάνω, θα μειωθεί και η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους με αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης ευστάθειας.

2. Αντοχή σε διάβρωση: Η πολύ καλή αντοχή του αλουμινίου στη διάβρωση οφείλεται στην ικανότητα του να δημιουργεί ένα λεπτό και συνεχές επιφανειακό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου (Al_2O_3), το οποίο αν διασπαστεί σχηματίζεται αμέσως νέο και είναι αδιαπέραστο απ' το οξυγόνο προσφέροντας του μια αντιοξειδωτική προστασία. Καθώς το αλουμίνιο δε διαβρώνεται, εύλογα συμπεραίνει κανείς ότι το κόστος συντήρησης μια αλουμινένιας κατασκευής θα είναι σημαντικά μικρότερο από μιας αντίστοιχης χαλύβδινης. Πρέπει να σημειωθεί πως παρόλο την ύπαρξη του προστατευτικού στρώματος πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση διάβρωσης με βελονισμούς (η αντίσταση του κράματος βελτιώνεται με κάποια θερμική ή μη κατεργασία) και της γαλβανικής (όταν υπάρχει επαφή μ' άλλο μέταλλο, πρέπει να γίνει ηλεκτρική απομόνωση τους).

3. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής: Είναι λογικό ότι απ' τη στιγμή που έχει καλύτερη συμπεριφορά στη διάβρωση, θα αντέχει και περισσότερο στο χρόνο.

4. Αντιμαγνητικές ιδιότητες: Είναι μια ιδιότητα που αφορά πλοία του πολεμικού ναυτικού, καθώς τη μικρή μαγνητική υπογραφή κάνει την ανίχνευση τους δυσκολότερη.

5. Ευκολία διαμόρφωσης και διαθεσιμότητα: Στη σημερινή εποχή με την τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί η κοπή, διαμόρφωση και συγκόλληση των κραμάτων του αλουμινίου γίνεται

εύκολα και χωρίς σφάλματα. Γι' αυτό και στην αγορά είναι διαθέσιμα πλήθος προϊόντων αλουμινίου.

6. Μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο: Όπως προαναφέρθηκε με την χρήση του αλουμινίου μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου, ενώ και τα ίδια τα κράματα του είναι εξ' ολοκλήρου ανακυκλώσιμα.[5]

Συγκριτικά μειονεκτήματα:

1. Μικρή δυσκαμψία: Με μέτρο ελαστικότητας περίπου το ένα τρίτο του χάλυβα (70 GPa έναντι 210 GPa), τα κράματα αλουμινίου παρουσιάζουν αρκετά μικρότερη δυσκαμψία. Αυτό σημαίνει ότι το αλουμίνιο θα παρουσιάζει μεγαλύτερες παραμορφώσεις και βέλη κάμψης σε σχέση με το χάλυβα για τα ίδια φορτία. Για μια μεγάλη κατασκευή όπως είναι ένα εμπορικό πλοίο, οι μεγάλες παραμορφώσεις είναι απαγορευτικές, γι' αυτό και η μικρότερη δυσκαμψία θεωρείται αρνητικό χαρακτηριστικό του υλικού. Παρόλα αυτά υπάρχουν εφαρμογές στη ναυπηγική στις οποίες είναι επιθυμητή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η χρήση του αλουμινίου στις συνδέσεις υπερκατασκευής με κατάστρωμα, όπου λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας είναι δυνατή η αποφυγή των αρμών διαστολής. Ακόμα η μικρή δυσκαμψία βοηθάει στην καλύτερη απορρόφηση των κρουστικών φορτίων, δηλαδή φορτίσεων που συναντώνται κυρίως σε μικρά σκάφη που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Παρόλα αυτά το μικρό μέτρο ελαστικότητας είναι ο λόγος που κατασκευάζονται μεγάλα πλοία εξ' ολοκλήρου από αλουμίνιο.

2. Χαμηλή δυσθραυστότητα: Τα κράματα αλουμινίου παρουσιάζουν μικρότερη δυσθραυστότητα απ' το χάλυβα ($36 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ έναντι $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), κάτι το οποίο συνεπάγεται μικρότερη αντοχή σε κόπωση.

3. Συγκολλητότητα: Γίνεται σημαντική υποβάθμιση της αντοχής μερικών κραμάτων αλουμινίου με τη συγκόλληση, γι' αυτό πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή, καθώς τα λάθη είναι απαγορευτικά.

4. Γαλβανική διάβρωση: Τις περιοχές που το αλουμίνιο έρχεται σε επαφή μ' άλλα μέταλλα θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή του σχηματισμού γαλβανικού στοιχείου. Είναι δηλαδή απαραίτητος ο διαχωρισμός του απ' τα γειτονικά μέταλλα και αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση δακτυλίων, μονωτικών υλικών κλπ.

5. Συμπεριφορά στη φωτιά: Το σχετικά χαμηλό σημείο τήξης και η σημαντική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες, αποτελούν κίνδυνο για τη διατήρηση της λειτουργικότητας της υπερκατασκευής. Επομένως η ανάγκη για μονωτικά υλικά, σωστή διαμερισματοποίηση, εγκατάσταση συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς κι άλλων πυροσβεστικών μέτρων, είναι αρκετά πιο απαραίτητα για το αλουμίνιο, απ' ότι σε μια κατασκευή από χάλυβα.[5]

1.2.6 Χρήσεις στη Ναυπηγική

Το αλουμίνιο αποτελεί μετά απ' το χάλυβα το πιο δημοφιλές υλικό για χρήση σε ναυπηγικές εφαρμογές. Ευρεία χρήση έχει σε εφαρμογές μικρών σκαφών αναψυχής, καθώς με το χαμηλό βάρος που διακρίνει το αλουμίνιο δίνει τη δυνατότητα επίτευξης μεγαλύτερων

ταχυτήτων ή μικρότερων απαιτήσεων σε ισχύ, ανάλογα με τις επιθυμίες του σχεδιαστή. Εφαρμογές όμως έχει και στα μεγάλα εμπορικά πλοία. Η κατασκευή της υπερκατασκευής του πλοίου απ' το ελαφρύτερο αλουμίνιο επιτρέπει την επίτευξη μεγαλύτερων τιμών payload και επομένως εσόδων για τον πλοιοκτήτη. Συχνή είναι και η χρήση του στα καλύμματα στομίων κυτών, καθώς και τμήματα τους εξοπλισμού του πλοίου, δηλαδή σκάλες, παράθυρα, πόρτες κλπ. Την ίδια πρακτική ακολουθούν και για τα επιβατηγά πλοία, όπου και εκεί για την υπερκατασκευή και τη γάστρα είναι δυνατή η χρήση κραμάτων αλουμινίου. Τις μεγάλες ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν λόγω του μικρού βάρους του σκάφους, καθώς και τις αντιμαγνητικές ιδιότητες του αλουμινίου εκμεταλλεύονται και τα πολεμικά ναυτικά, όπου προτιμούν κράματα του για την κατασκευή των σκαφών τους.[5]



Σχήμα 1.2: Πολεμικό Catamaran, FSF-1 SEA FIGHTER [5]

Σκάφη αναψυχής:

Η χρήση σκαφών αναψυχής έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Η χρήση του αλουμινίου γίνεται κυρίως σε μικρά σκάφη. Το χαμηλό βάρος των σκαφών αυτών είναι πλεονεκτικό, διότι μειώνει το κόστος κατασκευής και δίνει τη δυνατότητα πλεύσης με μικρότερες απαιτήσεις ισχύος και μεγαλύτερη αυτονομία. Επίσης, τα σκάφη από αλουμίνιο (βλέπε σχήμα 1.3), φθείρονται λιγότερο από τα χαλύβδινα σκάφη, λόγω του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου, που έχει ως αποτέλεσμα, μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας.



Σχήμα 1.3: Ταχύπλοο σκάφος κατασκευασμένο από κράματα αλουμινίου [6]

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται και στον εξοπλισμό των μικρών σκαφών, ανεξάρτητα του

υλικού κατασκευής της γάστρας, στο εξωτερικό τους, στον πίνακα οργάνων κ.α. Τα μικρά σκάφη κατασκευάζονται συνήθως από τα κράματα αλουμινίου σειράς 5xxx και 6xxx, τα οποία αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Αυτά παρουσιάζουν ένα συνδυασμό αντοχής, κόστους, ευκολίας κατασκευής και ανθεκτικότητας στη διάβρωση, που τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση σε μικρά σκάφη.

Για μεγαλύτερα σκάφη, μήκους 6 έως 36 m, χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου για τους ίδιους λόγους με τα μικρά σκάφη. Τα σκάφη αυτά κατασκευάζονται από συγκολλητά τμήματα για τη γάστρα, για τα εσωτερικά τμήματα και για τις καμπίνες. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο κράμα για τη κατασκευή της γάστρας είναι το 5086- H32, σε πάχη από 0.45 έως 12.7 mm. Επίσης, από το ίδιο κράμα κατασκευάζονται φρακτές, δεξαμενές καυσίμου και καμπίνες.

Στα ιστιοπλοϊκά, η χρήση αλουμινίου οδηγεί σε σημαντική μείωση του βάρους του σκάφους, που βελτιώνει σημαντικά την απόδοσή του. Μελέτες που έγιναν σε ξύλινα σκάφη, σκάφη από ενισχυμένο πλαστικό (glass reinforced plastic) και από αλουμίνιο, βρέθηκε σημαντική διαφορά βάρους. Το ξύλινο σκάφος ήταν βαρύτερο κατά 37% και το πλαστικό κατά 10% σε σχέση με το σκάφος από κράματα αλουμινίου, (βλέπε σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Ιστιοφόρο κατασκευασμένο από κράματα αλουμινίου [7]

1.3 Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO)



Σχήμα 1.5: Λογότυπο του IMO [8]

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Marine Organization – IMO), το λογότυπο του οποίου παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5, ιδρύθηκε το Μάρτη του 1948 στη Γενεύη και η αρχική του ονομασία ήταν IMCI (Intergovernmental Maritime Consultative Organization). Παρόλη την ίδρυση του, χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια για να συμβεί η πρώτη του συνεδρία, η οποία πραγματοποιήθηκε το Γενάρη του 1959. Πρόκειται για ένα πολυεθνικό, διακυβερνητικό οργανισμό με έδρα το Λονδίνο, που αποτελεί εξειδικευμένο

φορέα του ΟΗΕ και έχει ως κύριο σκοπό την θέσπιση μέτρων για την αντιμετώπιση προβλημάτων στο χώρο της ναυτιλίας. Σήμερα η συμβολή του ΙΜΟ στην αντιμετώπιση θεμάτων ναυτικής ασφαλείας και μόλυνσης είναι ιδιαίτερα σημαντική (Σπύρου, 2017).[9]

Η ναυτιλία είναι μία διεθνής δραστηριότητα, επομένως ο ΙΜΟ είναι απαραίτητος, ώστε να υπάρχει ένα γενικό πλαίσιο κανονισμών και απαιτήσεων που δε θα διαφέρει από χώρα σε χώρα. Τα 174 κράτη μέλη και τα 3 συνδεδεμένα μέλη του, είναι υποχρεωμένα να υιοθετούν τους κανονισμούς που εκδίδει, έχουν συμφωνήσει δηλαδή να τους συμπεριλαμβάνουν στην εθνική τους νομοθεσία και να είναι τα ίδια υπεύθυνα για την επιβολή τους. Οι κανονισμοί του ΙΜΟ εκδίδονται με την μορφή διεθνών συμβάσεων και διακηρύξεων, οι οποίες διαμορφώνονται απ' τις αντιπροσωπείες των κρατών μελών και συνεχώς εμπλουτίζονται. Παραδείγματα τέτοιων συμβάσεων αποτελούν η Διεθνής Σύμβαση Γραμμής Φόρτωσης και η SOLAS, οι οποίες είναι ένα σύνολο κανονισμών που κάθε σκάφος υποχρεούται να ικανοποιεί.

Όταν σχηματίστηκε ο ΙΜΟ, οι νηογνώμονες είχαν ήδη καλύψει εξ' ολοκλήρου τους κανονισμούς που αφορούσαν την κατασκευαστική δομή του σκάφους και την επάρκεια των ζωτικών μηχανημάτων, γι' αυτό η δράση και οι κανονισμοί του ΙΜΟ δεν επικεντρώθηκαν στο κομμάτι αυτό (Σπύρου, 2017)[9]. Μάλιστα απ' τον Ιούλιο του 1998, μέσω νέας παραγράφου που προστέθηκε στη SOLAS (Κανονισμός 3-1, Μέρος Α-1, Κεφάλαιο ΙΙ-1), ο ΙΜΟ απαιτεί όλα τα πλοία να έχουν σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και να συντηρούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των νηογνώμωνων (ή εθνικών προτύπων με ισοδύναμο επίπεδο ασφαλείας). Αναγνωρίζοντας την δουλειά των νηογνώμωνων, ο ΙΜΟ και οι κανονισμοί του στράφηκαν κυρίως στη ναυτική ασφάλεια, στα φορτία, στις μεταφορές, στις τεχνολογίες, στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και στα νομικά ζητήματα.

1.3.1 ΙΜΟ - Ταχύπλοα σκάφη (HSC)

Μη συμβατικό σχεδιασμό αποτελούν και τα ταχύπλοα σκάφη, ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής. Όσον αφορά λοιπόν, τα ταχύπλοα σκάφη, ο ΙΜΟ έχει αναπτύξει τον κώδικα 'HSC – Code 2000 – International Code of Safety for HSC (MSC 97.73)' τον οποίο καλούνται να ικανοποιούν όλα τα σκάφη αυτής της κατηγορίας. Σκοπός του παραπάνω κώδικα είναι να θέσει για τα ταχύπλοα σκάφη επίπεδα ασφαλείας που να ισοδυναμούν με εκείνα που έχουν θέσει για τα συμβατικά πλοία οι διεθνείς συμβάσεις για την ασφάλεια της ζωής (SOLAS) και τη γραμμή φόρτωσης (International Convention on Load Line).

Οι παραπάνω κανονισμοί αφορούν ταχύπλοα σκάφη που πραγματοποιούν διεθνείς πλόες. Για τον ΙΜΟ ένα σκάφος ανήκει στην κατηγορία των ταχύπλοων, δηλαδή είναι High Speed Craft (HSC), αν ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη, όπου V η ταχύτητα σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο και ∇ ο όγκος εκτοπίσματος σε κυβικά μέτρα:

$$V [m/s] \geq 3,7 * \nabla^{0,1667} [m^3]$$

Ακόμα και αν δεν ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη για ένα σκάφος, ανάλογα με το τύπο λειτουργίας του, υπάρχουν απαιτήσεις που εφόσον τηρούνται, οι κανονισμοί εφαρμόζονται και γι' αυτό. Συγκεκριμένα ένα επιβατηγό σκάφος εξετάζεται με βάση τον

παραπάνω κώδικα, εφόσον δεν πραγματοποιεί ταξίδια στα οποία κινείται με την υπηρεσιακή του ταχύτητα για παραπάνω από τέσσερις ώρες. Το ίδιο ισχύει και για φορητά σκάφη, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 500 tonnage, όπου σ' αυτά επιτρέπεται να κινούνται με την υπηρεσιακή τους ταχύτητα μέχρι και οχτώ ώρες. Επιπλέον υπάρχουν και σκάφη, που παρόλη την ικανοποίηση της απαίτησης για HSC, οι παραπάνω κανονισμοί δε τα αφορούν. Εξαίρεση λοιπόν αποτελούν τα σκάφη που έχουν κατασκευαστεί από ξύλο, που δεν χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για την κίνηση τους, ή ανήκουν στην κατηγορία των πολεμικών, αναψυχής ή αλιευτικών σκαφών.

1.3.2 IMO - Υλικά κατασκευής

Όσον αφορά τα υλικά κατασκευής, οι απαιτήσεις του IMO αφορούν σκάφη που έχουν κατασκευαστεί από χάλυβα ή οποιοδήποτε ισοδύναμο υλικό. Γι' αυτό αν επιλεγεί η χρήση του αλουμινίου ή των σύνθετων υλικών ο IMO έχει εκδώσει ειδικές οδηγίες που πρέπει να ακολουθηθούν. Γενικά το αλουμίνιο και τα σύνθετα υλικά όσον αφορά τη μηχανική τους αντοχή παρουσιάζουν ισοδύναμη αν όχι και καλύτερη συμπεριφορά απ' το χάλυβα. Το πρόβλημα που προκύπτει με τη χρήση τους είναι η κακή συμπεριφορά που παρουσιάζουν σε υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή η μείωση των ιδιοτήτων τους σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Αυτό είναι λοιπόν και το κομμάτι στο οποίο επικεντρώνεται ο IMO, δηλαδή με το κεφάλαιο II-2 της SOLAS, που αφορά κανονισμούς για την πυροπροστασία, την πυρανίχνευση και την κατάσβεση.

Η SOLAS λοιπόν, κατατάσσει ένα διαχωριστικό στην 'Α' τάξη εφόσον είναι ικανό να μην επιτρέπει τη διάδοση καπνού και φωτιάς και να είναι κατασκευασμένο από μη εύφλεκτο υλικό, κατάλληλα ενισχυμένο και μονωμένο, ώστε το διαχωριστικό να διατηρεί τη δομική του ακεραιότητα σε τυπική δοκιμή πυρκαγιάς για μία ώρα. Ακόμα τα παραπάνω διαχωριστικά, κατατάσσονται σε επιπλέον κατηγορίες ανάλογα με το χρονικό διάστημα που δεν επιτρέπουν στην εξωτερική πλευρά του υλικού να φτάσει σε θερμοκρασία άνω των 180 °C απ' τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε τις τάξεις 'A-60', 'A-30', 'A-15' και 'A-0', όπου ο αριθμός συμβολίζει το χρόνο που ικανοποιείται το παραπάνω κριτήριο.[9]

Ο χάλυβας χωρίς κάποια μόνωση έχει τις ιδιότητες για να διατηρεί την δομική του ακεραιότητα για μία ώρα έκθεσης σε μια τυπική δοκιμή πυρκαγιάς. Μόνωση θα χρειαστεί μόνο εφόσον είναι υλικό διαχωριστικού, ενός διαμερίσματος που απαιτεί διαφορετική τάξη απ' την 'A-0', καθώς και να μην διατηρεί την ακεραιότητα του στους 180 °C, αλλά λόγω της υψηλής του θερμικής αγωγιμότητας η θερμοκρασία αυτή θα έχει διαδοθεί και στην εξωτερική του πλευρά. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για το αλουμίνιο. Ενώ πρόκειται για ένα υλικό με καλύτερες ιδιότητες αντοχής απ' τον χάλυβα, η συμπεριφορά του στις υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι ανάλογη. Στους 200 °C, μια κατασκευή από αλουμίνιο θα έχει χάσει την κατασκευαστική της αντοχή. Αυτό το έχει αντιληφθεί η SOLAS [9], η οποία επιτρέπει την χρήση κραμάτων αλουμινίου, μόνο εφόσον χρησιμοποιείται κατάλληλη μόνωση ώστε η θερμοκρασία του δομικού πυρήνα να μην αυξάνεται περισσότερο από 200 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της πρότυπης δοκιμής πυρκαγιάς. Συνεπώς είναι κατανοητό ότι ο IMO απαιτεί τη χρήση μονώσεων για κατασκευές

αλουμινίου, ακόμα και αν το διαχωρισμένο διαμέρισμα είναι τάξης 'A-0', ώστε να έχουν δομικές και ιδιότητες ακεραιότητας ισοδύναμες με του χάλυβα.

1.3.3 Κανονισμοί νηογνώμωνων

Το πλοίο ως κατασκευή πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις, οι οποίες εξασφαλίζουν την επαρκή αντοχή του. Οι απαιτήσεις για την κατασκευαστική δομή του πλοίου προκύπτουν απ' τους κανονισμούς που έχουν θέσει οι νηογνώμονες, οι οποίοι είναι ιδιωτικοί οργανισμοί, πρώτα αναγνωρισμένοι απ' το κράτος μέσα στο οποίο ιδρύθηκαν και στη συνέχεια από έναν αριθμό κρατών που εξαρτάται απ' τη ποιότητα των υπηρεσιών και τη φήμη τους. Οι πρώτοι νηογνώμονες έκαναν την εμφάνισή τους στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και από τότε μέσω επιθεωρήσεων σκοπός τους είναι η παρακολούθηση του πλοίου απ' το στάδιο της κατασκευής του, μέχρι και το τέλος της λειτουργίας του και η ταξινόμηση του σε κλάσεις, ανάλογα με το αν ικανοποιεί ή όχι τους κανονισμούς που οι ίδιοι έχουν δημοσιεύσει.

Πέρα απ' την αντοχή του πλοίου ως κατασκευή, οι νηογνώμονες εκδίδουν και κανονισμούς που αφορούν τις απαιτήσεις για να υπάρχει επάρκεια των ζωτικών μηχανικών συστημάτων στο πλοίο. Τους απαραίτητους ελέγχους τους πραγματοποιούν ειδικοί επιθεωρητές, οι οποίοι είναι άτομα με εμπειρία και γνώσεις στην βιομηχανία, που έχουν εγκριθεί απ' την ίδια επιτροπή του νηογνώμονα. Επειδή οι κανονισμοί, κυρίως εκείνοι που αφορούν την κατασκευαστική δομή, προκύπτουν από θεωρητικές σχέσεις, οι επιθεωρητές πρέπει να συλλέγουν δεδομένα τα οποία χρησιμεύουν στην εξέλιξη των κανονισμών. Οι αλλαγές στους κανονισμούς είναι απαραίτητες για την διόρθωση λαθών, την ενσωμάτωση νέων σχεδιάσεων ή λειτουργιών του πλοίου (διπλά τοιχώματα), τη χρήση εναλλακτικών υλικών ή ακόμα και την εφαρμογή νέων μεθόδων (πεπερασμένα στοιχεία) που θα δώσουν ακριβέστερες σχέσεις.

Όπως προαναφέρθηκε οι νηογνώμονες δεν ελέγχουν το πλοίο μόνο κατά το στάδιο κατασκευής, αλλά καθ' όλη τη λειτουργική του ζωή, για να ελέγχεται αν συνεχίζει να ανταποκρίνεται στην κλάση που έχει ταξινομηθεί. Πέρα απ' τις επιθεωρήσεις που πραγματοποιούνται λόγω κάποιου συμβάντος (ατυχήματος, πώληση, μετασκευή κλπ.), απ' τους κανονισμούς απαιτείται κάθε τέσσερα χρόνια να πραγματοποιείται μια ειδική έρευνα (special survey) κατά την οποία γίνεται επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή σ' όλα τα τμήματα του πλοίου.

Η τήρηση και συμμόρφωση σ' όλες τις επιθεωρήσεις με τους κανονισμούς που απαιτούν οι νηογνώμονες, είναι ιδιαίτερα σημαντικές για ένα σκάφος. Ένα πλοίο χωρίς κλάση είναι πολύ δύσκολο διαχειρίσιμο, καθώς θα είναι σχεδόν αδύνατο να ασφαλιστεί ή ναλωθεί. Η ταξινόμηση του σε μια κλάση καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, φανερώνει ότι το πλοίο συνεχώς αξιολογείται από κρατικούς και μη φορείς, κάτι το οποίο ανεβάζει την αξία του στη βιομηχανία.

1.3.4 Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (IACS)

Στις μέρες μας πολλά κράτη έχουν τον δικό τους νηογνώμονα, χωρίς βέβαια να ικανοποιούν κρατικά συμφέροντα. Απ' το μεγάλο αυτό αριθμό, δώδεκα είναι οι διεθνείς

αναγνωρισμένοι που απαρτίζουν τη Διεθνή Ένωση Νηογνώμωνων (International Association of Classification Societies – IACS). Ο IACS (σχήμα 1.6) ιδρύθηκε στις 11 Σεπτεμβρίου το 1968 στο Αμβούργο, όμως η σημερινή του έδρα είναι στο Λονδίνο. Οι δώδεκα νηογνώμονες που συνθέτουν την παραπάνω ένωση παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 1.7.

Πίνακας 1.7: Νηογνώμονες μέλη του IACS

Όνομα Νηογνώμονα	Έδρα
American Bureau of Shipping (ABS)	Χιόστων
Bureau Veritas (BV)	Παρίσι
Registro Italiano Navale (RINA)	Γένοβα
Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK)	Τόκιο
Croatian Register of Shipping (CRS)	Σπλιτ
Det Norske Veritas (DNV)	Όσλο
Indian Register of Shipping (IRS)	Μουμπάι
Korean Register of Shipping (KR)	Μπούσαν
Lloyd's Register (LR)	Λονδίνο
Polish Register of Shipping (PRS)	Γκντανσκ
Russian Register of Shipping	Αγία Πετρούπολη
China Classification Society (CCS)	Πεκίνο



Σχήμα 1.6: Λογότυπο της Διεθνούς Ένωσης Νηογνώμωνων (IACS)[10]

Ο IACS είναι μια μη κυβερνητική οργάνωση που έχει σκοπό την ασφάλεια των πλοίων και την διατήρηση καθαρών θαλασσών. Μέσω τεχνικής υποστήριξης, έλεγχου και επιβολής σε συμμόρφωση στα πλοία, αλλά και έρευνα και ανάπτυξη, ο IACS συνεισφέρει σημαντικά στην επίτευξη μιας ασφαλέστερης ναυσιπλοΐας. Περισσότερο απ' το 90% του εμπορικού στόλου είναι συμμορφωμένο με τους κανονισμούς ενός απ' τους 12 νηογνώμονες-μέλη. Οι κανονισμοί αφορούν τόσο τον καθορισμό των απαιτήσεων της κατασκευαστικής δομής και των απαραίτητων ζωτικών μηχανικών συστημάτων του πλοίου, αλλά και μέτρων που πρέπει να τηρούνται για την προστασία των θαλασσών και των ακτών από τον κίνδυνο μόλυνσης λόγω λειτουργίας του σκάφους.

Στις μέρες μας οι νηογνώμονες μέλη του IACS πραγματοποιούν προγραμματισμένους ή και μη ελέγχους, σε καθένα απ' τα πλοία τους ξεχωριστά, προκειμένου να εξακριβώσουν αν το σκάφος είναι συμμορφωμένο με τους ισχύοντες κανονισμούς. Με την τεράστια εμπειρία και γνώση που έχει αποκτήσει στην ναυτιλιακή βιομηχανία και την οποία εμπλουτίζει με κάθε επιθεώρηση, ο IACS είναι απαραίτητος για τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (International Marine Organization) καθώς με την παροχή τεχνικών γνώσεων και το συμβουλευτικό του χαρακτήρα ως προς τα κράτη-μέλη του IMO, συμβάλλει στην επίτευξη

του στόχου του, που δεν είναι άλλος από μια ασφαλή ναυτιλία σε συνδυασμό μ' ένα προστατευμένο περιβάλλον.

Όπως επισημάνθηκε και πριν ο IACS συνεχώς προσπαθεί να εμπλουτίζει τις γνώσεις τους, μέσα από δεδομένα που προκύπτουν απ' τις επιθεωρήσεις των νηογνομόνων-μελών του, αλλά και από έρευνες που πραγματοποιεί. Αυτές τις νέες γνώσεις τις αξιοποιεί για τη βελτίωση ή και διόρθωση των υπαρχόντων κανονισμών. Λόγοι που μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στους κανονισμούς μπορεί να είναι η αναγνώριση λαθών, η εξέλιξη στην κατανόηση της μηχανικής και νέες σχεδιάσεις ή υλικά. Στα πλαίσια αποφυγής των διάφορων παραλλαγών και την μη ύπαρξη συνοχής, που οφείλεται στους διαφορετικούς κανονισμούς του κάθε νηογνώμονα μέλους, ο IACS ανέπτυξε κοινούς κανονισμούς για τα πλοία. Οι «Κοινοί δομικοί κανόνες για Bulk Carriers και Oil Tankers» (Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers – CRS BC & OT), τέθηκαν σε ισχύ την 1^η Απριλίου του 2006 και αφορούν πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και πετρελαιοφόρα, μήκους μεγαλύτερου των 90 m και 150 m αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

2.1 Περιγραφή του υπό μελέτη σκάφους

Το υπό μελέτη σκάφος είναι το «Explorer-70E», Αμερικάνικης προέλευσης, κατασκευασμένο το 2006, από την εταιρεία Marlow Yachts. Είναι ιδανικό για αναψυχή καθώς μπορεί να φιλοξενήσει στο σύνολο 8 άτομα και να κάνει ακόμα και υπερατλαντικά ταξίδια. Το «Explorer-70E» ανήκει στην κλάση του βρετανικού νηογνώμονα «Lloyd's Register» και η γάστρα του είναι κατασκευασμένη από σύνθετα υλικά. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η εναλλακτική κατασκευή της γάστρας από αλουμίνιο.



Σχήμα 2.1: Το υπό μελέτη σκάφος «Explorer – 70E» εν πλω

Τα βασικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το σκάφος, αφορούν στη γενική του διάταξη, στον εξοπλισμό και στο εσωτερικό του και αντλήθηκαν από επίσημους καταλόγους του κατασκευαστή. Η γεωμετρία του σκάφους, απεικονίζεται σχηματικά στη συνέχεια του Κεφαλαίου, σε διάφορες όψεις.

2.2 Γενική διάταξη του σκάφους (General Arrangement)

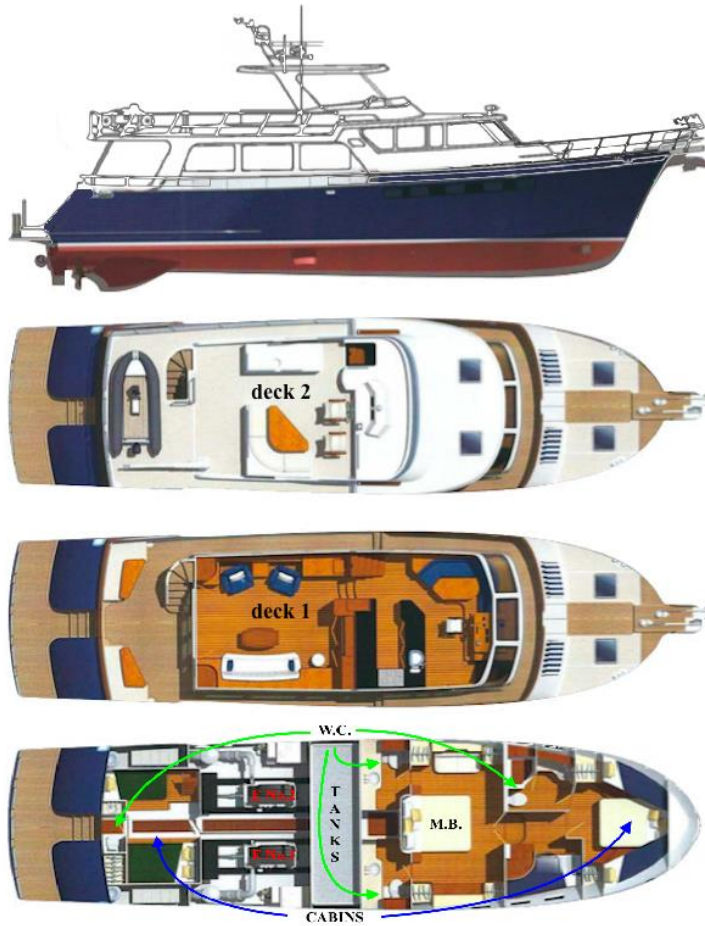
Το «Explorer - 70E» ανήκει στην κατηγορία σκαφών εκτοπίσματος (displacement). Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους αναγράφονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Κύρια χαρακτηριστικά του υπό μελέτη σκάφους

Κύριες Διαιστάσεις			
Ολικό Μήκος	Length Overall Approximately	L_{OA} [m]	22.81
Μήκος Κανονισμών	Rule Length	L_{RULE} [m]	20.12
Μήκος στην Ίσαλο	Waterline Length	L_{WL} [m]	20.12
Πλάτος	Breadth	B [m]	5.59
Κοίλο	Depth	D [m]	3.20
Βύθισμα Σχεδίασης	Designed Draft	T_{design} [m]	1.35
Σημαντικό Ύψος Κύματος	Significant Wave Height	H_S [m]	1.5
Εκτόπισμα	Displacement	Δ [ton]	36.7
Συντελεστής Γάστρας	Block Coefficient	C_B	0.236
Υπηρεσιακή Ταχύτητα	Service Speed	V_s [kn]	20
Μέγιστη Ταχύτητα	Maximum Speed	V_{max} [kn]	25

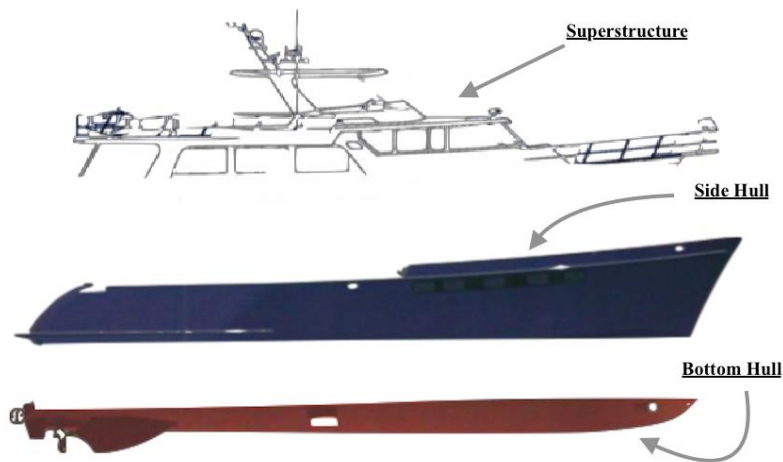
Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται το προφίλ και τα καταστρώματα, η εσωτερική διαρρύθμιση του χώρου, με το μηχανοστάσιο και τις δεξαμενές και φυσικά η πλήρη και η πρύμνη να θέτουν συγκεκριμένες οριακές συνθήκες για το υπό μελέτη Yacht. Το μηχανοστάσιο του σκάφους είναι εξοπλισμένο με δύο κύριες μηχανές (*Standard Power 2 x C12 CAT 715 MHP*), δύο ηλεκτρομηχανές (*Standard Generator Onan 21.5KW @ 60HZ & Onan 17KW @ 50 HZ*). Συνεπώς, η προωστήρια εγκατάσταση αποτελείται από δύο άξονες και δύο ρεβέρσες (Reverse Thrust), καθώς και τις αντίστοιχες έλικες. Στο κέντρο του σκάφους βρίσκονται δύο δεξαμενές νερού και ακόμη πιο χαμηλά η δεξαμενή πετρελαίου.

Το Explorer – 70E διαθέτει στο εσωτερικό του δύο καμπίνες στην πλήρη του (κάτω από το κύριο κατάστρωμα) και μια στην πρύμνη του, από τις οποίες μία είναι του Καπετάνιου (Master) στο κέντρο περίπου του σκάφους με δύο τουαλέτες και η δεύτερη στην προωρία περιοχή, έχοντας 1 τουαλέτα αντίστοιχα. Η τρίτη καμπίνα η οποία βρίσκεται σε διαφορετική θέση, αριστερά του μηχανοστασίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (βλέπε σχήμα 2.2), περιλαμβάνει 1 τουαλέτα.



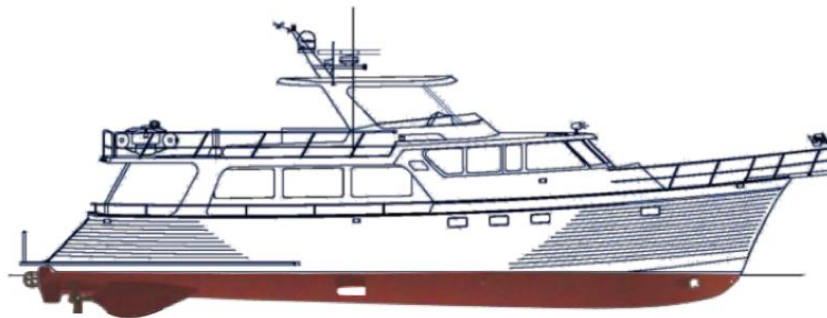
Σχήμα 2.2: 'General configuration' του υπό μελέτη σκάφους «Explorer – 70E»

Εκτός των παραπάνω, χώροι όπως σαλόνι, κουζίνα, τραπεζαρία βρίσκονται στο κατάστρωμα, 'deck 1' η αλλιώς κυρίως 'deck'. Το 'summer deck' η αλλιώς 'deck 2', βρίσκεται ακόμη πιο ψηλά και αποτελεί μέρος της υπερκατασκευής η οποία ωστόσο δεν μοντελοποιείται στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας (βλέπε σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Διαχωρισμός βασικών τμημάτων του σκάφους (superstructures, side & bottom hull)

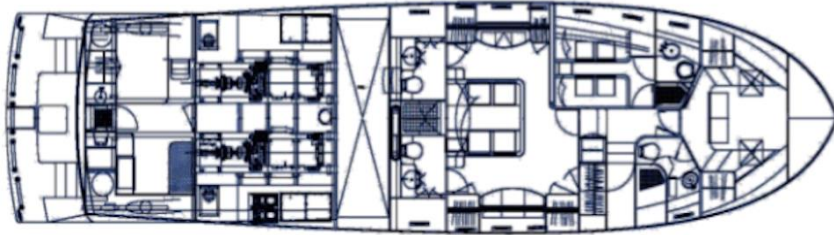
Το προφίλ και η κάτοψη του υπό μελέτη σκάφους φαίνεται στα σχήματα 2.4 & 2.5 αντίστοιχα.



Σχήμα 2.4: Πλάγια όψη του υπό μελέτη σκάφους

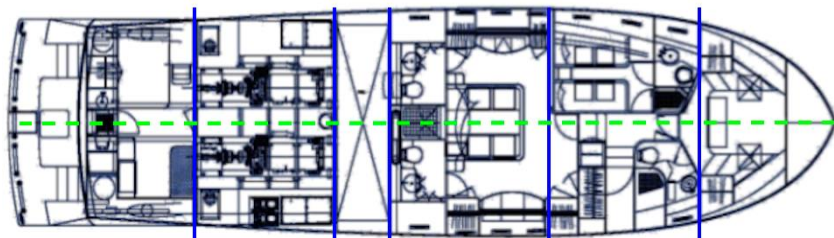
Εξετάζοντας το προφίλ του σκάφους, ακολουθεί περιγραφή που αναφέρεται στην πλευρά (side shell) και στον πυθμένα (bottom shell). Το σκάφος διαθέτει φινιστρίνια από τη μέση τομή και πρόρα και bow thruster. Επομένως, για το λόγο ότι εξετάζεται μόνο το περίβλημα της γάστρας, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού σχεδιασμού με βάση τους κανονισμούς, γεωμετρικές όπως αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω δεν λαμβάνονται υπόψη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα σχέδια για τα κατασκευαστικά στοιχεία του σκάφους ήταν ελλιπή. Για το λόγο αυτό, μελετήθηκε η κάτοψη του σκάφους, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο μια πρώτη εκτίμηση για την ακριβή θέση και το είδος κάθε ενίσχυσης. Εξετάζοντας λοιπόν το general arrangement του σκάφους (βλέπε σχήμα 2.5), βάσει των οριακών συνθηκών και των περιορισμών, χωρίστηκε το σκάφος σε περιοχές και προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:



Σχήμα 2.5: Κάτοψη του υπό μελέτη σκάφους

- Ο καθρέφτης (transom) στην πρύμνη αποτελεί κομμάτι των πλευρικών ελασμάτων οπότε δεν θα τοποθετηθεί εγκάρσιος νομέας.
- Η περιοχή που βρίσκεται το μηχανοστάσιο περικλείεται από δύο φρακτές, λόγω των βαρών (μηχανών, σωληνώσεων, γεννητριών) που καλείται να αντιμετωπίσει.
- Οι δεξαμενές νερού και πετρελαίου βρίσκονται κοντά στη θέση του κέντρου βάρους του σκάφους η μία κάτω απ' την άλλη, άρα θα περικλείονται επίσης από δύο φρακτές.
- Από την καμπίνα του καπετάνιου (Master bedroom), μέχρι και την φρακτή σύγκρουσης, το μεγάλο ανυποστήρικτο μήκος ίσως θα πρέπει να ενισχυθεί με εγκάρσιο νομέα.
- Στην τρόπιδα θα διατρέχει κατά το διάμηκες μια μεγάλη δοκός (center girder) η οποία θα ενισχύσει τη 'center line' και κατ' επέκταση ολόκληρο τον πυθμένα.

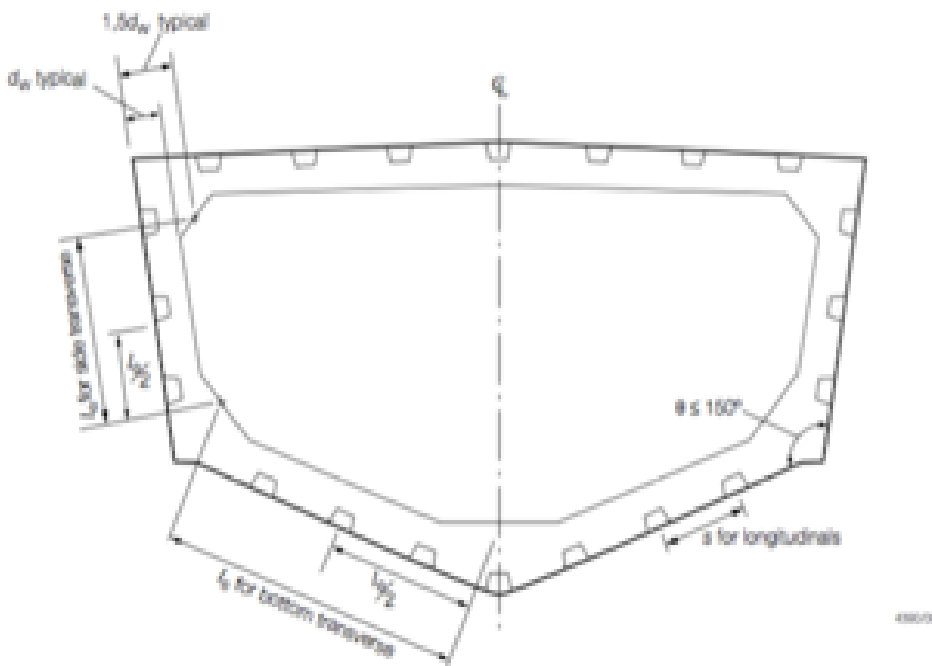


Σχήμα 2.6: Εγκάρσιες φρακτές που χωρίζουν το σκάφος σε περιοχές

Οι περιοχές και τα διαμερίσματα του σκάφους καθώς και η ενίσχυση αυτού θα σχεδιαστούν στο 4^ο κεφάλαιο όπου πραγματοποιείται ο κατασκευαστικός σχεδιασμός, συνοδευόμενος από τα ανάλογα σενάρια υπολογισμού.

2.3 Γεωμετρία γάστρας και ενισχύσεων σκάφους

Όσον αφορά τα κατασκευαστικά στοιχεία της γάστρας, δεν είναι ξεκάθαρη η θέση στην οποία βρίσκονται, ωστόσο αποτελείται από ελάσματα (πλευράς, πυθμένα και καταστρώματος), τα οποία την περιβάλλουν. Ο πυθμένας είναι συνδεδεμένος με την πλευρά, η πλευρά συνδέεται με το κατάστρωμα, διαμορφώνοντας έτσι το περίβλημα των πλακών, οι διαστάσεις των οποίων θα αναλυθούν στη συνέχεια. Η κατασκευαστική διαμόρφωση των ενισχυτικών (διαμήκων & εγκάρσιων) θα μοιάζει με το αντίστοιχο σχήμα (βλέπε σχ. 2.7) που βρίσκεται παρακάτω, ακολουθώντας τη μορφή κλασσικής σχεδίασης σκάφους.

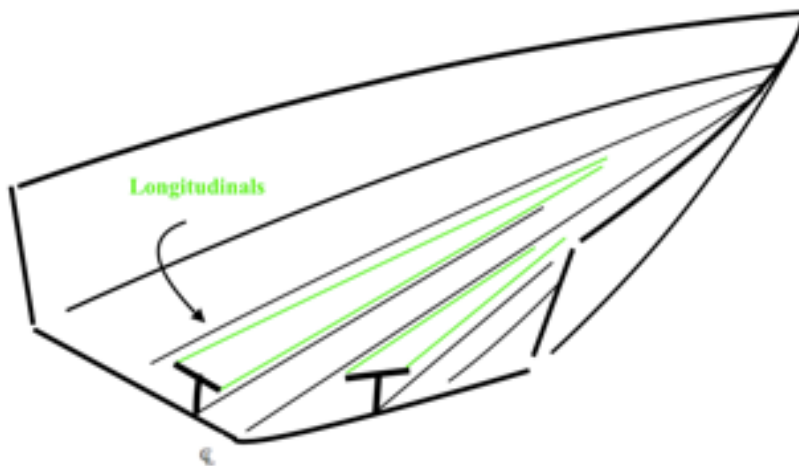


Σχήμα 2.7: Κλασική σχεδίαση ταχυπλόου σκάφους από FRP [11]

Τα ενισχυτικά γενικότερα συμβάλουν στην υποστήριξη μιας κατασκευής, συγκεκριμένα όμως κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες, τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα. Προφανώς, είναι δουλειά του σχεδιαστή να επιλέξει τον τύπο ενίσχυσης για το σκάφος αλλά ορισμένες φορές, οι περιοχές όπου πονάει το σκάφος είναι τόσο κρίσιμες, που ίσως να απαιτείται να χρησιμοποιηθούν πρωτεύοντα ενισχυτικά (Girders, Web frames). Ωστόσο κάποιες φορές τα διαμήκη, μπορεί να λαμβάνονται υπόψη ως πρωτεύοντα και κάποιες άλλες ως δευτερεύοντα (ανάλογα τον νηογνώμονα), αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι το ίδιο ισχύει και για τα μικρά απλά δοκάρια (Transverses), τα οποία είναι μόνο δευτερεύοντα.

2.4 Κατασκευή διαμήκων ενισχυτικών

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν σκαριφήματα σχετικά με τη σχεδίαση διαμήκων, εγκάρσιων και συνδυασμός των δύο ενισχυτικών, πάντα βάσει της κλασικής σχεδίασης που ακολουθούν οι σχεδιαστές για το συγκεκριμένο τύπο σκάφους. Τα ενισχυτικά τύπου T που παρατίθενται στα σχήματα (βλέπε σχ. 2.8, 2.9, 2.10), αποτελούν παράδειγμα ενίσχυσης, χωρίς να σημαίνει ότι θα εφαρμοστεί ο συγκεκριμένος τύπος ενισχυτικού. Αυτό θα προκύψει από τις πιέσεις που θα ασκηθούν στα στοιχεία και κατ' επέκταση από την απαίτηση της ροπής αντίστασης. Έπειτα ο σχεδιαστής θα καθορίσει τη γεωμετρία του ενισχυτικού και τον τύπο, επιλέγοντας συνήθως συντηρητική σχεδίαση, βάσει της διαθεσιμότητας των προμηθευτών.

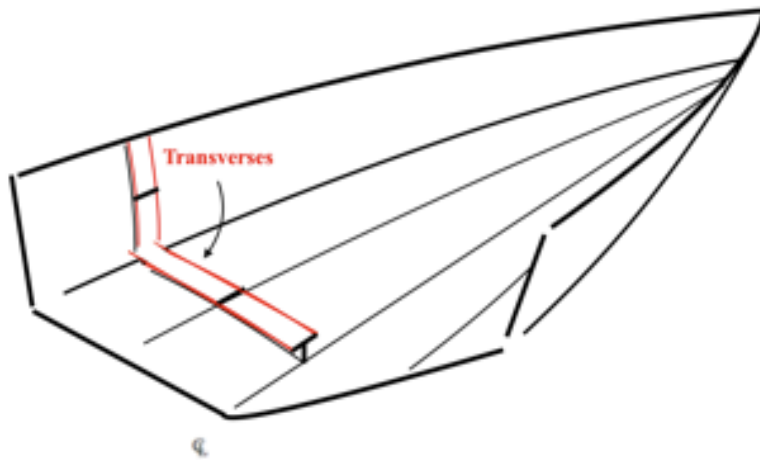


Σχήμα 2.8: Διαμήκης ενίσχυση σε γάστρα ταχυπλόου σκάφους

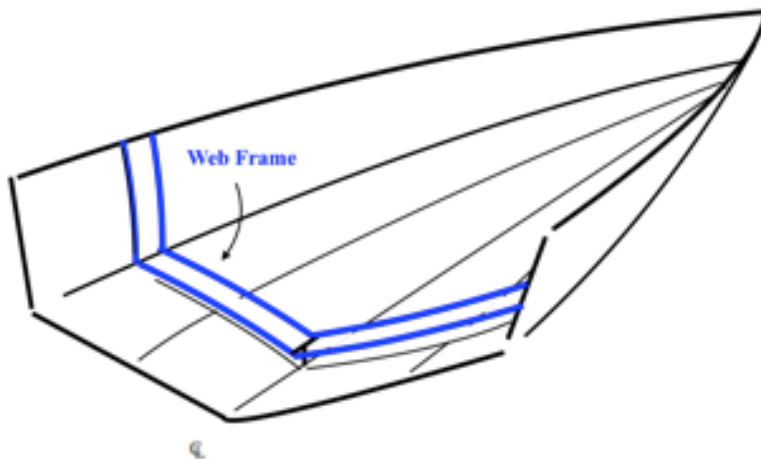
Συγκεκριμένα, στα εδάφια 2.4, 2.5, και 2.6, παρατίθενται σκαριφήματα για να είναι πιο ευδιάκριτη για τον αναγνώστη η ενίσχυση που επιλέγεται. Στο 4^ο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η επιλογή των ενισχυτικών όπως προαναφέρθηκε (ως προς τον τύπο, το πλήθος καθώς και την κατηγορία) διότι χρειάζονται οι διάφορες απαιτήσεις (πέσεις, γεωμετρία διαμερισμάτων) για να πραγματοποιηθεί η σχεδίαση. Επίσης σημαντικό βήμα που πρέπει να γίνει στο ίδιο κεφάλαιο είναι να επιλεγεί αν το ενισχυτικό θα είναι πρωτεύον ή δευτερεύον. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι το μήκος των διαμήκων που υπάρχουν σε μια περιοχή του σκάφους (όχι διαμέρισμα) ορίζεται από τις γειτονικές φρακτές η εγκάρσιους νομείς.

2.5 Κατασκευή εγκάρσιων ενισχυτικών

Τα ενισχυτικά τα οποία ενισχύουν το σκάφος εγκαρσίως, είναι δύο ειδών. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο ενισχυτικούς φορείς, του σχήματος 2.9 και του σχήματος 2.10, είναι ότι τα κόκκινα κόβονται από διαμήκη πρωτεύοντα, ενώ τα μπλε (ως πρωτεύοντα), κόβουν τα διαμήκη τα οποία εκτείνονται ανάμεσα από δύο διαδοχικά 'web frames'.



Σχήμα 2.9: Εγκάρσιο δευτερεύον ενισχυτικό (Transverse beam)



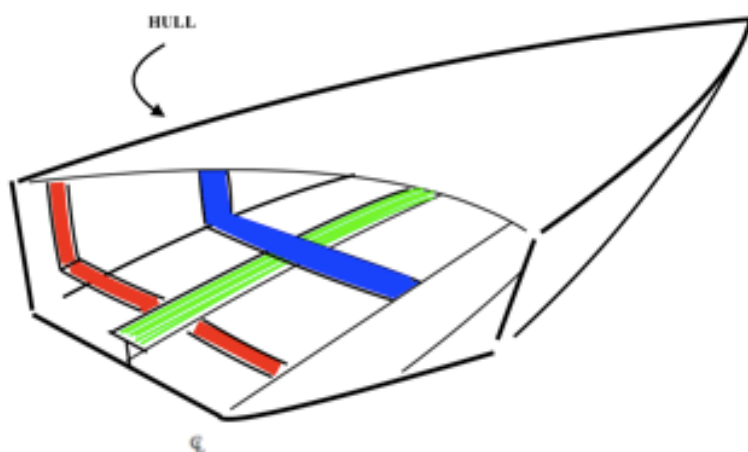
Σχήμα 2.10: Εγκάρσιο πρωτεύον ενισχυτικό ή αλλιώς ενισχυμένος νομέας (Web frame)

Συνεπώς, τα μικρά δευτερεύοντα (κόκκινα) ενισχυτικά εκτείνονται ανάμεσα από δύο διαδοχικά διαμήκη, ενώ τα μεγάλα πρωτεύοντα (μπλε) ενισχυτικά δεν επηρεάζονται από κάποια οικογένεια ενίσχυσης. Ένας ενισχυμένος νομέας αγκαλιάζει το σκάφος περιμετρικά, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επιβάλλεται να έχει το ίδιο μέγεθος στον πυθμένα σε σχέση με την πλευρά, εξάλλου αυτό θα οδηγούσε σε υπερδιαστασιολόγηση της κατασκευής. Όσον αφορά τον πυθμένα ενός σκάφους, είναι επιλογή του σχεδιαστή αν το ενισχυτικό θα εκτείνεται καθ' όλο το μήκος της εγκάρσιας διατομής ή αν θα κόβεται στη 'Centre Line' ($B/2$ =στο μισό πλάτος του σκάφους). Φυσικά δεν αποτελεί λειτουργική σχεδίαση η επιλογή ενός τέτοιου ενισχυτικού με ανυποστήρικτο μήκος όσο είναι το πλάτος του πυθμένα εάν το ύψος του κορμού απαιτηθεί να είναι πολύ μεγάλο. Για παράδειγμα αν το συγκεκριμένο ύψος είναι μισό μέτρο, θα εμποδίζει την άνεση των επιβαίνόντων κατά την μετάβαση από έναν

χώρο σε κάποιον άλλο, οπότε αποφεύγεται αυτή η σχεδίαση και τοποθετείται ένας επιπλέον νομέας κατά το διάμηκες (μικρότερης διατομής), για να παραλάβει τα φορτία.

2.6 Κατασκευή γάστρας σκάφους

Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η μορφή που θα έχει το σκάφος μετά τον καθορισμό των ενισχυτικών (εγκάρσιων, διαμήκων). Το στάδιο αυτό κρίνεται απαραίτητο για να πραγματοποιηθούν σωστά οι υπολογισμοί με βάση τους νηογνώμονες (κεφάλαιο 3^ο), καθώς οι κανονισμοί αυτών χρησιμοποιούν διαφορετικούς συντελεστές για κάθε ενισχυτικό που ανήκει στην κατηγορία πρωτεύοντων ή δευτερευόντων. Προφανώς τα ενισχυτικά εκτείνονται και στο κατάστρωμα με την ίδια λογική, οπότε είναι φυσικό και επόμενο να είναι μικρότερα από της πλευράς και κατ' επέκταση απ' του πυθμένα, εφόσον απομακρυνόμαστε από την ίσαλο.



Σχήμα 2.11 Γάστρα ενισχυμένη κατά το εγκάρσιο και κατά το διάμηκες

2.7 Παραδοχές κατά τη σχεδίαση

Για το υπό μελέτη σκάφος, η κατασκευαστική διαμόρφωση έχει καθοριστεί εξαρχής απ' την εταιρεία Marlow Yachts, η οποία είναι Αμερικάνικης προέλευσης. Ο προσδιορισμός του αριθμού των φρακτών καθώς πιθανή εναλλακτική σχεδίαση της θέσης του μηχανοστασίου για παράδειγμα, δεν αφορά την παρούσα μελέτη, με αποτέλεσμα ο κατασκευαστικός σχεδιασμός να περιορίζεται στην επιλογή υλικών και στον καθορισμό της ισαπόστασης των ενισχυτικών. Οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να επιλεγθούν έτσι ώστε ο συνδυασμός τους να επιτρέπει στο σκάφος την ομαλή λειτουργία του κατά το εκτιμώμενο διάστημα ζωής του.

Τα ενισχυτικά επομένως είναι τα στοιχεία που οριοθετούν μια πλάκα, και η απόστασή τους είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος αστοχίας ή μεγάλων βελών κάμψης. Σε μια κατασκευή δε χρησιμοποιείται μόνο ένα είδος ενισχυτικού. Υπάρχουν μεγαλύτερα ενισχυτικά (webs και girders) πάνω στα οποία στηρίζονται τα μικρότερα προκειμένου να μειωθεί το

ανυποστήρικτο μήκος τους. Δηλαδή πάντα υπάρχει μια ομάδα ενισχυτικών που είναι σημαντικά πιο δύσκαμπτα και τα οποία ορισμένοι νηογνώμονες τα εξετάζουν με διαφορετικές απαιτήσεις. Σε μια κατασκευή χρησιμοποιούνται υποστυλώματα (pillars), σκοπός των οποίων είναι να στηρίζουν τα ενισχυτικά αυτά. Ωστόσο, στο υπό μελέτη σκάφος, λόγω της κατηγορίας υπηρεσίας και πλεύσης που υπάγεται (yacht - unrestricted), δεν θα χρησιμοποιηθούν υποστυλώματα. Επίσης, το ανυποστήρικτο μήκος των διάφορων ενισχυτικών μειώνεται με τη χρήση των αγκώνων (brackets). Καθώς δε λαμβάνονται υπόψη στον εν λόγω σχεδιασμό, το μήκος (ενισχυτικού) αυτό θα θεωρηθεί μεγαλύτερο απ' ό τι είναι στην πραγματικότητα, υπόθεση που καθιστά χειρότερη περίπτωση τον εν λόγω σχεδιασμό. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι τα φορτία που δέχεται η κατασκευή έχουν τη μορφή ομοιόμορφων πιέσεων, οπότε έχει επιλεγθεί οι στηρίξεις των κατασκευαστικών στοιχείων της, δηλαδή των πλακών και των ενισχυτικών, να θεωρούνται ότι είναι πακτώσεις και όχι απλές εδράσεις, που αντιθέτως με τα μπρακέτα των ενισχυτικών δεν αποτελεί χειρότερο σενάριο.

Η μελέτη περιορίστηκε στο πλαίσιο κατασκευής της γάστρας από αλουμίνιο, με τις υπερκατασκευές να αποτελούν εξαίρεση από τον σχεδιασμό. Γενικότερα, οτιδήποτε έχει να κάνει με τους χώρους ενδιαίτησης, τα απαιτητά στηρίγματα για τα βοηθητικά μηχανήματα και τις κύριες μηχανές του μηχανοστασίου, ακόμα και τις δεξαμενές, δεν συμπεριλήφθηκαν στους υπολογισμούς. Ως προς την προέκταση του μηχανοστασίου, δηλαδή αξονικό σύστημα πρόωσης, πηδάλια και προπέλες, επίσης απουσίαζαν από τον σχεδιασμό. Εν συνεχεία, εξετάζοντας την διαμόρφωση του σκάφους κατά το διάμηκες, παραλήφθηκε η σχεδίαση των φρακτών και των εδρών (floors), που χωρίζουν αφενός την κατασκευή σε διαμερίσματα και αφετέρου διαμορφώνουν τον πυθμένα σε ένα οριζόντιο επίπεδο (λόγω του v που έχει ο πυθμένας).

Όλες οι παραπάνω υποθέσεις πραγματοποιήθηκαν για να δοθεί έμφαση στο βάρος της γάστρας που θα προκύψει από τους υπολογισμούς των δύο κανονισμών και όχι για να γίνει ακριβής προσέγγιση του πραγματικού σκάφους (ως προς τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάστηκε) ή ακόμα και ενός σκάφους που θα μπορούσε να κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου από την αρχή σε ένα ναυπηγείο.

Η διαδικασία υπολογισμού όλων των φορτίσεων της γάστρας με το «χέρι» (στο Excel), για δύο νηογνώμονες, είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία που μπορεί να είναι επιρρεπής σε λάθη. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό σε περιβάλλον προγραμματισμού MATLAB, για τον σωστό υπολογισμό των ανωτέρω και για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των δύο κανονισμών. Παρακάτω θα παρουσιαστούν παραδοχές που καθορίστηκαν κατά τη διάρκεια της κατάστρωσης της αυτοματοποιημένης διαδικασίας.

Κατά την κατασκευή του κώδικα ο πυθμένας αναλύθηκε με βάση τη γεωμετρία που υπήρχε στη μπροσούρα του κατασκευαστή. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρχε ξεκάθαρη εικόνα για το ακριβές βύθισμα σε κάθε διαμέρισμα του σκάφους. Υπολογίστηκαν με την βοήθεια των εικονοστοιχείων (Pixels) κάποια βυθίσματα όπου δεν υπήρχε απότομη αλλαγή της γεωμετρίας και έπειτα για τα υπόλοιπα έγινε γραμμική παρεμβολή. Το βύθισμα του σκάφους είναι 1,35 m, αλλά ο Lloyd's υπολογίζει τις πιέσεις στον πυθμένα ανάλογα με το βύθισμα που έχει κάθε διαμέρισμα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα της θέσης που βρίσκεται η ακμή, με σκοπό να θεωρηθεί ότι το chine βρίσκεται πάνω στην ίσαλο. Όλες οι

πλάκες θεωρήθηκαν επίπεδες, χωρίς να έχουν την παραμικρή καμπυλότητα, κάνοντας την επιλογή σχεδίασης πιο συντηρητική. Στο πλαίσιο του κώδικα μοντελοποιήθηκαν ακόμη κάποιες ιδιαιτερότητες που έχει ο Lloyd's, όπως να σχεδιαστούν λωρίδες σε απόσταση 150 mm άνω και κάτω της γραμμής του chine. Επίσης ο ίδιος κανονισμός επιλέγει ακόμα μια συντηρητική παράμετρο στην τρόπιδα (keel) του σκάφους, σχεδιάζοντας με αυτό τον τρόπο μία ενισχυμένη πλάκα η οποία εκτείνεται μέχρι την πλώρη. Όσον αφορά τις πλάκες του πυθμένα, η πίεση έχει θεωρηθεί ότι ασκείται στο κέντρο της πλάκας, ενώ για τα πλευρικά ελάσματα, εφόσον δεν λήφθηκε υπόψη το γραμμικά μεταβαλλόμενο φορτίο, η πίεση στο χαμηλότερο σημείο της πλάκας που την καθιστά και χειρότερη περίπτωση. Επίσης πλάκες στο κατάστρωμα οι οποίες βρίσκονται σε περιοχές όπου η κατασκευή γίνεται πιο δύσκαμπτη (Stiff), έχουν αγνοηθεί, διότι είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί η πλήρης γεωμετρία του σκάφους στο MATLAB χωρίς να υπάρχει το σχέδιο σε ψηφιακή μορφή. Επιπροσθέτως, μια σημαντική διαφορά ως προς τα κατασκευαστικά στοιχεία μεταξύ των δύο κανονισμών είναι η εξής: ο DNV θεωρεί τα διαμήκη ως δευτερεύοντα εν αντιθέσει με τον Lloyd's ο οποίος δεν δίνει κάποια σχέση για τον υπολογισμό των βαρών (Heavy Units) που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο (κύριες μηχανές).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

3.1 Γενικά

Κάθε νηογνώμονας ορίζει τους δικούς του κανόνες και κανονισμούς που πρέπει να συμμορφώνονται όλες οι ναυπηγικές κατασκευές. Η κεντρική ιδέα όλων των κλάσεων και ο τρόπος προσέγγισης των απαιτήσεων είναι περίπου ίδιος, αυτό που διαφοροποιεί κάθε κανονισμό από έναν άλλο, είναι το πόσο ‘strict’ είναι οι απαιτήσεις που προδιαγράφει. Επομένως για να λάβει χώρα η διαδικασία σχεδίασης επιβάλλεται να είναι γνωστό το ‘general arrangement’ του σκάφους. Ανάλογα με την ταχύτητα υπηρεσίας και το σημαντικό ύψος κύματος, θα πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί των κατακόρυφων επιταχύνσεων. Εν συνεχεία, οι επιταχύνσεις αυτές θα καθορίσουν τα φορτία που θα ασκηθούν στα ενισχυτικά, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των πιέσεων που έχουν προηγηθεί, διαστασιολογώντας έτσι τη γάστρα με βάση το υλικό που έχει επιλεγεί απ’ τον εκάστοτε σχεδιαστή.

Οι κανονισμοί των Νηογνωμόνων αφορούν όλα τα πλοία, εκτός των πολεμικών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος τους και το αν εκτελούν εσωτερικούς ή διεθνείς πλόες. Μπορεί οι κανονισμοί να αφορούν όλα τα πλοία, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι είναι ίδιοι για όλους τους διάφορους τύπους πλοίων και υλικών. Είναι φυσιολογικό οι νηογνώμονες να εκδίδουν διαφορετικούς κανονισμούς ανάλογα με το υλικό κατασκευής, καθώς ο χάλυβας παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες απ’ το αλουμίνιο και τα δύο αυτά υλικά διαφέρουν σημαντικά απ’ τα σύνθετα υλικά. Επίσης ένα πλοίο που μεταφέρει φορτίο θα έχει διαφορετικές απαιτήσεις ανάλογα με το είδος του φορτίου, και επιπλέον οι απαιτήσεις του θα διαφέρουν σημαντικά σε σχέση μ’ ένα επιβατηγό πλοίο. Σημαντικό ρόλο στους κανονισμούς παίζει η ταχύτητα με την οποία πλέει το πλοίο, καθώς και οι περιοχές στις οποίες θα λειτουργεί. Μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερη απόσταση απ’ τις ακτές σημαίνει αυτόματα και μεγαλύτερες φορτίσεις που λαμβάνονται υπόψη απ’ τους κανονισμούς.

3.2 Lloyd’s Register (LR)

(Rules and Regulations for the classification of special service craft, July 2021, Lloyd’s Register)

Ο Αγγλικής καταγωγής νηογνώμονας αποτελεί παράδειγμα για όλους τους νηογνώμονες που υπάρχουν ανά τον κόσμο, καθώς είναι απ’ τους πρώτους που δραστηριοποιήθηκε στη βιομηχανία της ναυτιλίας. Ο συγκεκριμένος έδωσε το έναυσμα να δημιουργηθούν περισσότεροι νηογνώμονες σε διάφορα κρατίδια ανά τον κόσμο εφόσον μέχρι τότε αποτελούσε μονοπώλιο για τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο. Πλέον η τεράστια συνεισφορά του στη βιομηχανία και η εμπειρία που έχει αποκτήσει όλα αυτά τα χρόνια της λειτουργίας του, είναι αδιαπραγμάτευτη. Παρά την τεράστια εμπειρία του δεν επαναπαύεται, ανανεώνοντας συνεχώς τους κανονισμούς του, στους οποίους παρουσιάζονται τα διάφορα μεγέθη και απαιτήσεις που περιλαμβάνονται για την σχεδίαση μιας εξ’ ολοκλήρου ναυπηγικής κατασκευής.



Σχήμα 3.1: Το λογότυπο του LR [12]

Ο LR, το λογότυπο του οποίου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1, έχει έδρα το Λονδίνο και ιδρύθηκε το 1760 απ' τους πελάτες ενός καφενείου που σύχναζαν άνθρωποι τις ναυτιλίας. Είναι ο μακροβιότερος νηογνώμονας και ταυτόχρονα ο πρώτος οργανισμός που έκδωσε κανονισμούς για την ασφάλεια στα πλοία. Ανήκει εξ' ολοκλήρου στο ίδρυμα Lloyd's Register, που αποτελεί μια φιλανθρωπική οργάνωση που δραστηριοποιείται στο Ηνωμένο Βασίλειο και διακρίνεται για το ερευνητικό και εκπαιδευτικό του χαρακτήρα ως προς τις επιστήμες και τη μηχανική. Για τον κατασκευαστικό σχεδιασμό ταχύπλοων σκαφών ο LR έχει εκδώσει τους 'Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft', στους οποίους παρουσιάζεται ένα διάγραμμα (σχήμα 4.12) που βοηθάει στο να καθοριστεί αν ένα σκάφος θα πρέπει να σχεδιαστεί με βάση αυτούς τους κανονισμούς ή με τους βασικούς του LR. Απ' το διάγραμμα φαίνεται ότι αυτοί οι κανονισμοί δεν αφορούν μόνο σκάφη που ικανοποιούν τη συνθήκη για HSC είτε τη συνθήκη για LC, αλλά ισχύουν και για ορισμένους ειδικούς τύπους σκαφών, όπως για παράδειγμα τα γιοτ, τα hovercraft, ακόμα και πλοία που έχουν κατασκευαστεί από ξύλο, εφόσον όλα τα παραπάνω δεν αποτελούν σκάφη του ναυτικού τα οποία εξετάζονται με άλλες απαιτήσεις.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται κατασκευαστικός σχεδιασμός σκάφους τύπου Motor Yacht, το οποίο σχεδιάζεται με βάση τους κανονισμούς ανεξάρτητα απ' το αν ικανοποιούν ή όχι έστω μία απ' τις απαιτήσεις για HSC ή LC. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη έκδοση των κανονισμών (Ιούλιος 2021) ένα σκάφος θεωρείται για τον LR ταχύπλοο, αν ισχύει η παρακάτω σχέση για την ταχύτητα σε [kn] και τον όγκο εκτοπίσματος σε [m³].

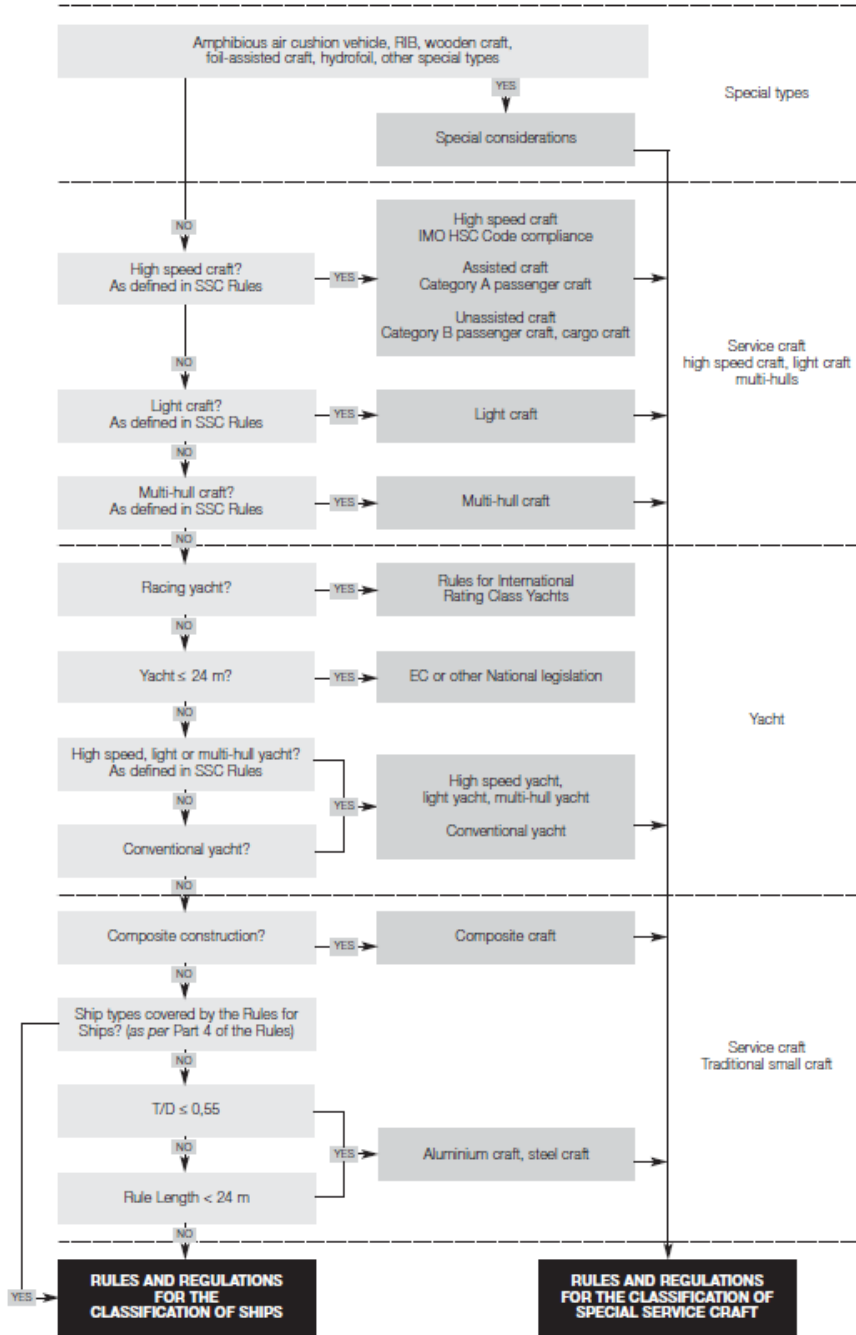
$$V [knots] \geq 7.19 * \sqrt[3]{V} [m^3] \quad (3.1)$$

Για να ανήκει στην κατηγορία LC, το εκτόπισμα του δεν πρέπει να ξεπερνάει το παρακάτω τύπο που προκύπτει απ' το πλάτος στο μέσο και το μήκος κανονισμού σε [m].

$$\Delta [t] \leq 0.04 * (L_R * B)^{1.5} \quad (3.2)$$

Οι κανονισμοί του LR έχουν αρκετά διαφορετικά κριτήρια ανάλογα με το υλικό που εξετάζεται, με τα διαθέσιμα υλικά να είναι για ακόμη μια φορά ο χάλυβας, το αλουμίνιο και τα σύνθετα υλικά. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι ο τύπος κατασκευής και λειτουργίας του σκάφους, καθώς και η περιοχή λειτουργίας του, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον υπολογισμό των φορτίων με τα οποία θα έρθει αντιμέτωπο, αφού το καθένα από αυτά καθορίζει έναν συντελεστή που επιδρά στην τελική τιμή των ασκούμενων πιέσεων.

DIFFERENT TYPES OF CRAFT COVERED BY THE SPECIAL SERVICE CRAFT RULES



Σχήμα 3.2: Σχέδιο διάταξης επιλογής κατηγορίας σκάφους LR

3.2.1 Συνθήκες λειτουργίας (LR)

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα κριτήρια φόρτισης τα οποία εφαρμόζονται στους υπολογισμούς των τοπικών φορτίων που αναφέρονται στα σκάφη εκτοπίσματος. Οι συνθήκες περιβάλλοντος περιλαμβάνουν φαινόμενα όπως ο ατμοσφαιρικός αέρας, κύματα και ρεύματα από τα οποία θα προκύψουν τα δεδομένα σχεδιασμού. Επίσης τα κριτήρια φόρτισης που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό, πρέπει να βασίζονται σε περιβαλλοντικά δεδομένα για συγκεκριμένη περιοχή και λειτουργία του σκάφους. Αυτό προκύπτει διότι τα φορτία που επιβάλλονται από το περιβάλλον πρέπει να βασίζονται σε ακραίες συνθήκες. Αυτά προκύπτουν καθώς το σκάφος εξελίσσει μια κατάσταση στη θάλασσα και καταπονείται με τυχαίο τρόπο από δυναμικές φορτίσεις και ροπές.

Εναλλακτικές μέθοδοι καθορισμού των κριτηρίων φόρτισης εξετάζονται ειδικά, υπό την προϋπόθεση ότι αυτά βασίζονται σε πραγματικές δοκιμές μοντέλων, μετρήσεις πλήρους κλίμακας ή γενικά αποδεκτές θεωρίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να παρέχονται πλήρεις λεπτομέρειες σχετικά με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται όταν τα σχέδια υποβάλλονται για έγκριση.

3.2.2 Βασικές αρχές (LR)

Για τη σχεδίαση ενός ταχύπλου σκάφους, έχει εκδώσει τους κανονισμούς σε ένα μόνο αρχείο, στο οποίο περιλαμβάνονται όλες οι απαιτήσεις του LR, για το πλοίο ως κατασκευή, αλλά και τον απαραίτητο εξοπλισμό του. Ο τίτλος των κανονισμών είναι **'Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft'** και στο περιεχόμενο αυτών πραγματοποιείται η σχεδίαση οποιουδήποτε σκάφους ειδικού σχεδιασμού **'Special Service Craft'**. Τα βασικά μεγέθη που σχετίζονται με τη γεωμετρία του σκάφους (μήκος, πλάτος, κοίλο, βύθισμα, συντελεστής γάστρας), βρίσκονται στο **'Pt 3, General Requirements and Constructional Arrangements, Ch 1, General Regulations, 6 Definitions'** και αποτελούν πρωταρχικό σημείο για να ξεκινήσει η διαδικασία σχεδίασης.

Rule Length L_R : Προτού πραγματοποιηθεί ανάλυση των διάφορων απαιτήσεων του LR, πρέπει να καθοριστεί το μήκος κανονισμού (Rule length – L_R), όπου ο νηογνώμονας θεωρεί ότι είναι η απόσταση σε [m], απ' τη μπροστινή πλευρά της πλώρης μέχρι τον άξονα του πηδαλίου ή αν δεν υπάρχει το μέσο του πηδαλίου, χωρίς παράλληλα να είναι μικρότερο ή να ξεπερνά το 96% και 97% αντίστοιχα του μήκους της 'summer load waterline'.

Breadth B : Είναι το μέγιστο πλάτος του σκάφους σε [m].

Depth D : Το κοίλο μετρούμενο σε [m], στο μισό μήκος του μήκους κανονισμού (Rule Length), από την τρόπιδα μέχρι το κατάστρωμα.

Block coefficient C_B : Είναι ο συντελεστής μορφής της γάστρας σε βύθισμα T που αντιστοιχεί στη θερινή ίσαλο γραμμή, βασισμένη πάντα στο μήκος του κανονισμού, στο πλάτος και στο εκτόπισμα.

$$C_b = \frac{\text{moulded displacement (m}^3\text{) at draught } T}{L_{RB} T} \quad (3.3)$$

Waterline length: Μήκος ισάλου ‘*Pt 3 General requirements, Ch 1 General regulations, 6.2 Principal particulars, 6.2.5*’.

Allowable speed V: Η επιτρεπόμενη ταχύτητα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών φορτίων είναι η ταχύτητα σχεδιασμού, σε κόμβους, που σχετίζεται με καθορισμένες συνθήκες υπηρεσίας στις οποίες το σκάφος είναι πιστοποιημένο να πλέει ‘*Pt 5 Local design loads, Ch 2 Definitions, and symbols, 2.1 Parameters to be used for the determination of load and design criteria, 2.1.2*’.

Displacement mode: Η κατηγορία εκτοπίσματος σημαίνει ότι το βάρος του σκάφους υποστηρίζεται κυρίως από υδροστατικές δυνάμεις σε οποιοσδήποτε συνθήκες καιρού.

Froude number F_n : Ο αριθμός ‘Froude’ είναι η αδιάστατη παράμετρος της ταχύτητας και ορίζεται ως εξής.

$$F_n = \frac{0,515 V_m}{\sqrt{g L_{WL}}} \quad (3.4)$$

Όπου:

- g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας $9.81 [m/s^2]$
- L_{WL} μήκος ισάλου $[m]$

Taylor quotient Γ : Το πηλίκο ‘Taylor’ είναι αυτό που θα κατηγοριοποιήσει το σκάφος αν είναι εκτοπίσματος η όχι. Σκάφη με αριθμό ‘Taylor’ μεγαλύτερο του $\Gamma \geq 3$ η με $\Delta \leq 0,043$ ανήκουν στη κατηγορία εκτοπίσματος.

$$\Gamma = \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \quad (3.5)$$

Όπου:

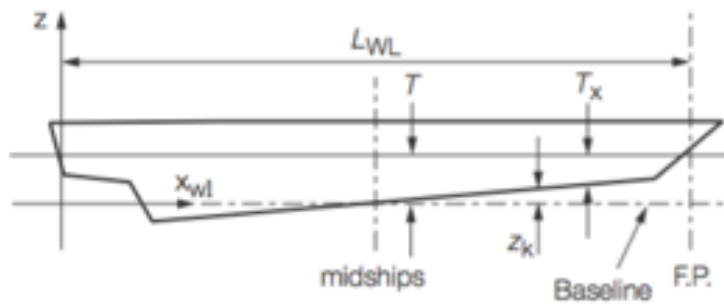
- V επιτρεπόμενη ταχύτητα $[kn]$
- L_{WL} μήκος ισάλου $[m]$

Longitudinal distance X_{WL} : Η διαμήκης θέση σε $[m]$ μετρούμενη στο μήκος L_{WL} από πρίμα μέχρι το σημείο που βρίσκεται το κέντρο βάρους της κατασκευής.

Vertical distance Z : Η κατακόρυφη απόσταση από την ‘base line’ έως το σημείο (στοιχείο) στο οποίο εξετάζεται με θετικό πρόσημο καθώς εκτείνεται στην ίσαλο.

Vertical distance Z_K : Η κατακόρυφη απόσταση από την τρόπιδα (base line) έως το σημείο (στοιχείο) στο οποίο εξετάζεται με θετικό πρόσημο καθώς πλησιάζει στην ίσαλο.

Local draught T_x : Βύθισμα σε κάθε ανάλογο διαμέρισμα κατά το διάμηκες του σκάφους το οποίο μετράται από το ‘keel’ μέχρι την ίσαλο.



NOTE
For any Position $T = z_k + T_x$

Σχήμα 3.3: LR – Ορισμοί και Σύμβολα

3.2.3 Απόκριση κίνησης σύμφωνα με τον (LR)

3.2.3.1 Σχετική κατακόρυφη κίνηση

Η σχετική κατακόρυφη κίνηση αφορά τον αδιάστατο συντελεστή H_{rm} , ο οποίος συμπεριλαμβάνει στη σχέση του μία σειρά από μεγέθη και άλλους συντελεστές οι οποίοι αναφερθήκαν προηγουμένως. Παρακάτω παρατίθενται σχέσεις στις οποίες δεν προηγήθηκε αναφορά.

$$H_{rm} = C_{W,min} \left(1 + \frac{K_r}{(C_b+0.2)} \left(\frac{x_{WL}}{L_{WL}} - x_m \right)^2 \right) \quad (3.6)$$

Όπου:

- K_r συντελεστής μορφής γάστρας, (βλέπε πίνακα 4.1)
- $C_{W,min} = \frac{C_W}{k_m}$
- $k_m = 1 + \frac{K_r(0.5-x_m)^2}{(C_b+0.2)}$
- $x_m = 0.45 - 0.6F_n$, όχι λιγότερο από 0,2
- $C_W = 0.0771L_{WL}(C_b + 0.2)^{0.3} e^{(-0.0044L_{WL})}$

Συντελεστές και μεγέθη όπως C_B , V , F_n , L_{WL} , έχουν οριστεί παραπάνω όπως προαναφέρθηκε. Επιπλέον παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τους τύπους των σκαφών να παίρνουν συγκεκριμένες τιμές ανάλογα. Η κατηγορία στην οποία υπάγεται το σκάφος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι το *'Mono-hull craft in the displacement mode'*.

Πίνακας 3.1: LR – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος $H_{1/3}$ [m]

Craft type	K_r
Mono-hull craft in the non-displacement mode	2.25
Mono-hull craft in the displacement mode	1.95
Catamarans and multi-hull craft with partially submerged hulls	2.55
Swaths and multi-hull craft with fully submerged hulls	2.10
Craft supported by hydrodynamic lift provided by foils or other lifting devices	1.50

3.2.3.2 Σημαντικό ύψος κύματος και περιοχές λειτουργίας

Significant wave height $H_{1/3}$: Η ελάχιστη τιμή του σημαντικού ύψους κύματος H_{03} [m], που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των επιταχύνσεων και των φορτίων, γενικά, δεν πρέπει να λαμβάνεται λιγότερο από αυτό που δίνεται στους περιορισμούς στον παρακάτω πίνακα (βλέπε πίνακα 3.2) *'Pt 5 Local design loads, Ch 2 Definitions, and symbols, 2 Parameters to be used for the determination of load and design criteria, 2.1.14'*.

Surviving wave height H_{03} : Είναι το ύψος κύματος σε μέτρα [m], που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της δομικής ακεραιότητας του σκάφους και ορίζεται ως το ύψος κύματος, *'Pt 5 Local design loads, Ch 2 Definitions, and symbols, 2 Parameters to be used for the determination of load and design criteria, 2.1.16'*.

$$H_{03} = 1,29H_{1/3} \quad (3.7)$$

Πίνακας 3.2: LR – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος, $H_{1/3}$

Service Group	$H_{1/3}$ [m]
1	0.6
2	1
2A	1.5
3	2.0
4	4.0
5	4.0
6	4.0

Ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει την τιμή του σημαντικού ύψους κύματος για χρήση στον προσδιορισμό των φορτίσεων του κανόνα και επιπλέον πρέπει να διασφαλίσει ότι ένα τέτοιο ύψος κύματος είναι κατάλληλο για την προβλεπόμενη περιοχή λειτουργίας. Από αυτή την άποψη τα στατιστικά δεδομένα κύματος ενδέχεται να απαιτείται να υποβληθούν προς υποστήριξη του οριζόμενου ύψους κύματος.

Οι περιοχές λειτουργίας σχετίζονται άμεσα με το σημαντικό ύψος κύματος που καλείται να επιλέξει ο σχεδιαστής. Εφόσον η μέγιστη ταχύτητα του υπό μελέτη σκάφους είναι είκοσι κόμβοι και απαιτείται να εκτελεί πλόες εντός και εκτός των χωρικών υδάτων, το σημαντικό ύψος κύματος βάσει της συγκεκριμένης κατηγορίας ‘G6 service group 6’ (για απεριόριστη λειτουργία) θα έπρεπε να είναι τα τέσσερα μέτρα (βλέπε πίνακα 3.2). Αυτό συνεπάγεται πως το πραγματικό ύψος κύματος στη θάλασσα μπορεί να ξεπεράσει τα 7-8 μέτρα, που καθιστά μια τέτοια κατάσταση αδύνατη, οπότε για το υπό μελέτη σκάφος επιλέχθηκε να έχει μέγιστο σημαντικό ύψος κύματος ίσο με 1.5 μέτρα.

3.2.3.3 Κατακόρυφη επιτάχυνση

Σ’ αυτό το εδάφιο προσδιορίζεται η κατακόρυφη επιτάχυνση η οποία προκύπτει από τα μεγέθη όπως η επιτρεπόμενη ταχύτητα σε κόμβους [*knots*], το σημαντικό ύψος κύματος σε μέτρα [*m*], το εκτόπισμα σε τόνους [*tons*]. Βάσει της επιτάχυνσης θα καθοριστεί το πόσο μεγάλες θα είναι οι φορτίσεις που θα δεχτεί το σκάφος και για κάθε σκάφος εκτοπίσματος (displacement mode) στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, δίνεται από τη σχέση:

Για μονόαστρα σκάφη με $\Gamma \geq 3$ η με $\Delta \leq 0,04$.

$$a_v = 0,2 \Gamma + \frac{34}{L_{WL}} [g_s] \quad (3.8)$$

Όπου:

- a_v είναι η κατακόρυφη επιτάχυνση στο ‘LCG’ του σκάφους μετρούμενη σε όρους βαρύτητας [g^s]
- Τα μεγέθη L_{WL} , Γ έχουν οριστεί παραπάνω

3.2.4 Φορτίσεις γάστρας σύμφωνα με τον (LR)

3.2.4.1 Πιέσεις περιβλήματος γάστρας

Αρχικά θα πρέπει να καθοριστούν οι πιέσεις που δέχεται η γάστρα του πλοίου. Λεπτομερέστατη παρουσίαση των φορτίσεων αυτών παρουσιάζεται παρακάτω. Να σημειωθεί ότι οι πιέσεις είναι τα φορτία που δέχεται η κατασκευή, καθώς ο LR θεωρεί ότι οι απαιτήσεις που έχει θέσει για την τοπική αντοχή του πλοίου είναι αρκετές για σκάφη με ‘rule length’ (ορίστηκε προηγουμένως) μικρότερο των 40 m. Για τον καθορισμό των πιέσεων θα χρησιμοποιηθεί το ‘**Part 5, Design and load criteria, Chapter 1 General, Section 1 Rule applications**’. Οι υδροδυναμικές και υδροστατικές πιέσεις ορίζονται στο ‘**Chapter 2 Local design loads, Section 4 Loads on shell envelope**’ και οι κρουστικές στο ‘**Chapter 2 Local design loads, Section 5 Impact Loads**’.

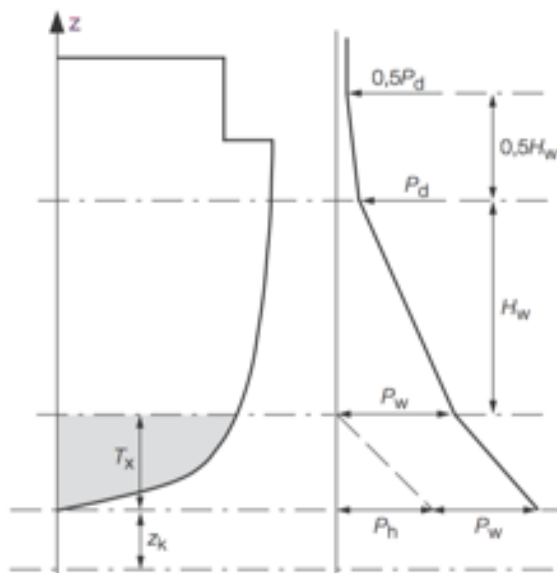
Οι πιέσεις σχεδιασμού για το περίβλημα της γάστρας, συμπεριλαμβανομένων των εκτεθειμένων καταστροφμάτων, πρέπει να περιλαμβάνουν τις επιδράσεις συνδυασμένων συνιστωσών στατικών και δυναμικών φορτίων. Επιπλέον, οι επιπτώσεις των φορτίων

κρούσης ή σφυρόκρουσης πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη. Πέραν όμως αυτού θα πραγματοποιηθούν όμως υπολογισμοί χωριστά στο **'Pt 5, Ch 2, 5 Impact loads'**.

Επιπλέον ο τρόπος με τον οποίο δρα η υδροστατική πίεση στον πυθμένα και η συνδυαστική πίεση από τον πυθμένα μέχρι και το κοίλο αναφέρονται στο **'Pt 5, Ch 2, 4.3 Hydrostatic pressure on the shell plating'** και **'Pt 5, Ch 2, 4.2 Combined hydrostatic and hydrodynamic pressure on the shell plating'** αντίστοιχα.

3.2.4.2 Συνδυασμένη υδροστατική και υδροδυναμική πίεση στο περίβλημα των πλακών

Οι πιέσεις σχεδίασης για τις πλάκες της γάστρας συμπεριλαμβανομένων των εκτεθειμένων καταστροφμάτων, αποτελούν συνδυασμό ενός φαινομένου που αποτελείται από στατικές και δυναμικές φορτίσεις. Επιπλέον, τα αποτελέσματα των κρουστικών φορτίων (*Impact*) και της σφυρόκρουσης (*Slamming*), πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη χωριστά όπως ορίζει ο κανονισμός. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι περιοχές που ασκούνται όλες οι πιέσεις με την P_h & P_w να αποτελούν τη συνδυαστική φόρτιση, η P_w ξεχωριστά την υδροδυναμική και η P_d την πίεση καταστρώματος. Η συνδυαστική πίεση αντιπροσωπεύει όλες τις παραπάνω περιπτώσεις (P_h, P_w, P_d) και συμβολίζεται ως P_s .



Σχήμα 3.4: LR – Τριγωνική φόρτιση από την τρόπιδα μέχρι το 'deck'

Πίνακας 3.3: LR – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος, $H_{1/3}$

Vertical Distance	Shell Envelope Pressure P_s [KN/m ²]
$z \leq T_x + z_k$ Up to the operating waterline	$P_h + P_w$
$z = T_x + z_k + H_w$	P_d
$z \geq T_x + z_k + 1.5H_w$	$0.5 P_d$

Symbols

H_w is the nominal wave limit, see 'Pt 5, Ch 2, 4.4 Hydrodynamic wave pressure, 4.4.4'
 P_d is the weather deck pressure, see 'Pt 5, Ch 2, 4.5 Pressure on weather and interior decks, 4.5.1'
 P_h is the hydrostatic pressure, see 'Pt 5, Ch 2, 4.3 Hydrostatic pressure on the shell plating'
 P_w hydrodynamic wave pressure, see 'Pt 5, Ch 2, 4.4 Hydrodynamic wave pressure'

Note: Pressure values at other z values are to be derived by interpolation

3.2.4.3 Υδροστατική πίεση

Η υδροστατική πίεση αναφέρεται μόνο στις πλάκες οι οποίες είναι βυθισμένες στο νερό και αποτελείται από την παρακάτω σχέση.

$$P_h = 10(T_x - (z - z_k)) \quad (3.9)$$

Όπου:

- T_x , z και z_k έχουν προσδιοριστεί παραπάνω

3.2.4.5 Υδροδυναμική πίεση

Η υδροδυναμική πίεση συμβολίζεται ως P_w και διανέμεται μέσω συγγενών αποκρίσεων σε ολόκληρο το περιβλήμα της γάστρας πάνω στην ίσαλο. Ωστόσο η συγκεκριμένη πίεση χωρίζεται σε δύο την P_m και P_p , οι οποίες προσδιορίζονται στα εδάφια '**Pt 5 Design and load criteria, Ch 2 Local design loads, 4.4 Hydrodynamic wave pressure, 4.4.2**' και '**Pt 5 Design and load criteria, Ch 2 Local design loads, 4.4 Hydrodynamic wave pressure, 4.4.3**' αντίστοιχα.

$$P_m \quad (kN/m^2)$$

$$P_p \quad (kN/m^2)$$

Όποια από τις δύο είναι μεγαλύτερη, παρουσιάζεται στον πίνακα των αποτελεσμάτων και σε συνέχεια θα συγκριθεί με τις κρουστικές πιέσεις ακόμα και με την υδροστατική για να πραγματοποιηθεί σωστά η διαδικασία επιλογής της χειρότερης πλάκας.

1.

$$P_m = 10f_z H_{rm} \quad (3.10)$$

Όπου:

- Συντελεστής κατακόρυφης διανομής

$$f_z = k_z + (1 - k_z) \left(\frac{z - z_k}{T_x} \right) \quad (3.11)$$

$$k_z = e^{-u}$$

$$u = \left(\frac{2\pi T_x}{L_{WL}} \right)$$

- T_x, z, z_k , ορίζονται στο 'Pt 5, Ch 2, 2.2 Symbols'
- H_{rm} 'Pt 5, Ch 2, 3.1 Relative vertical motion, 3.1.1'

2.

$$P_p = 10H_{pm} \quad (kN/m^2) \quad (3.12)$$

Όπου:

$$H_{pm} = 1.1 \left(\frac{2x_{wl}}{L_{WL}} - 1 \right) \sqrt{L_{WL}} \quad (3.13)$$

Όχι λιγότερο από $f_L \sqrt{L_{WL}}$

•

$$\begin{aligned} f_L &= 0.6 \text{ for } L_{WL} < 60 \\ &= 1.5 - 0.015L_{WL} \text{ for } 60 \leq L_{WL} \leq 80 \\ &= 0.3 \text{ for } L_{WL} > 80 \end{aligned}$$

3.

$$H_w = 2H_{rm} \quad (3.14)$$

3.2.4.6 Πίεση καταστρώματος

Για τον καθορισμό της πίεσης καταστρώματος θα πρέπει να προσδιοριστεί ο συντελεστής f_L και η πίεση P_d . Η τιμή του E εξαρτάται απ' τις διαστάσεις της κατασκευής που εξετάζεται (L, D, T), δίνονται οι τιμές του συντελεστή, για τις διάφορες περιπτώσεις που έχει ορίσει ο LR. Απ' την άλλη πλευρά η P_d είναι η πίεση στα καταστρώματα η οποία έχει προσδιοριστεί σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου, συγκεκριμένα την 'Pressure on weather and interior decks'. Έχει δύο σχέσεις υπολογισμού ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του σκάφους. Για το υπό μελέτη σκάφος, η περίπτωση η οποία ανήκει το σκάφος είναι η 'displacement mode', οπότε η πίεση δίνεται απ' τη σχέση:

$$P_{wh} = f_L(6 + 0.01L_{WL})(1 + 0.05\Gamma) + E \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (3.15)$$

Στην περίπτωση του L_R , γνωρίζοντας ότι Γ είναι ο συντελεστής Taylor για τον οποίο ισχύει $\Gamma = L_{WL}/\sqrt{V}$, παρατηρείται ότι η τελική πίεση που θα αντιμετωπίζει η κατασκευή εξαρτάται και απ' την ταχύτητα του σκάφους και απ' το μήκος της ισάλου του πλοίου L_{WL} . Για τον καθορισμό της πίεσης στο κατάστρωμα μένουν να καθοριστούν ο συντελεστής θέσης f_L και ο E , δίνονται από την παρακάτω σχέση αντίστοιχα.

Όπου:

- f_L συντελεστής θέσης καταστρώματος

$$\begin{aligned} f_L &= 1 \text{ from aft end to } 0.88L_R \\ &= 1,25 \text{ from } 0.88L_R \text{ to } 0.925L_R \end{aligned}$$

= 1,50 from 0.925L_R to forward end

$$E = \left(\frac{0.7+0.08L_{WL}}{D-T} \right) \quad (3.16)$$

- E, θα πρέπει να μην ξεπερνά το 3 [kN/m²] ‘Pt 5, Ch 2, 4.5 Pressure on weather and interior decks, 4.5.2’
- 1 ≤ a_v ≤ 4 σε g^s ‘Pt 5, Ch 2, 3 Motion response’

3.2.4.7 Πίεση σφυρόκρουσης πυθμένα

Η κρουστική πίεση P_{dh} για μονόγαστρα σκάφη ορίζεται στο ‘Pt 5 Design and load criteria, Ch 2 Local design loads, 5 Impact loads, 5.1’. Η συγκεκριμένη πίεση θα εφαρμοστεί στα σημεία που πονάει περισσότερο το σκάφος και με τη βοήθεια του συντελεστή Φ_{dh} ο οποίος από στο 0,5 του σκάφους και πρίμα μηδενίζεται, ενώ από το ίδιο σημείο μέχρι την πλήρη παίρνει τιμές που ορίζονται παρακάτω έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ακριβή θέση αυτής. Ωστόσο, υπάρχει ο περιορισμός, όταν η ‘Impact’ πίεση πάψει να είναι μεγαλύτερη από την υδροδυναμική, τότε αυτή καθίσταται ως κρουστική.

$$P_{dh} \geq P_m$$

$$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \quad [kN/m^2] \quad (3.17)$$

Όπου:

- Φ_{dh} συντελεστής θέσης καταστρώματος

$$\begin{aligned} \Phi_{dh} &= 0.09 \text{ at } L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0.18 \text{ at } 0.9L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0.18 \text{ at } 0.8L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\ &= 0.0 \text{ between aft end of } L_{WL} \text{ and } 0.5L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \end{aligned}$$

- Ενδιάμεσες τιμές προσδιορίζονται κάνοντας γραμμική παρεμβολή. Ως T_x λαμβάνεται υπόψη το βύθισμα T όπως ορίζεται στο ‘Pt 3, Ch 1, 6 Definitions’

3.2.4.8 Πίεση σφυρόκρουσης πλευράς

Τα πλευρικά ελάσματα καθώς εκτίθενται στο φαινόμενο της σφυρόκρουσης (slamming pressure) οι πλάκες τις πλευράς δέχονται πανομοιότυπες φορτίσεις με αυτές του πυθμένα πάνω στην ίσαλο, ωστόσο καθώς εκτείνεται προς το κατάστρωμα στο οποίο τα μόνα φορτία που το καταπονούν είναι τα φορτία καιρού (αέρας & θάλασσα), η ένταση μειώνεται όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.

$$P_f = f_f L_{WL} (0.8 + 0.15\Gamma)^2 \quad (kN/m^2) \text{ at FP} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned}
&= P_{dh} \text{ at } 0.9L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\
&= P_m \text{ at } 0.75L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL} \\
&= 0.0 \text{ between aft end of } L_{WL} \text{ and } 0.75L_{WL} \text{ from aft end of } L_{WL}
\end{aligned}$$

Όπου:

- f_f είναι ο συντελεστής κρουστικής φόρτισης (βλέπε πίνακα 3.4)
- Τα Γ και L_{WL} έχουν οριστεί σε προηγούμενο εδάφιο

Πίνακας 3.4: LR – Συντελεστής κρουστικής φόρτισης

Craft Type	f_f
Mono-hull craft in non-displacement mode	0.94
Mono-hull craft in displacement mode	0.89
Catamarans and multi-hull craft with partially submerged hulls	1.0
Swaths and multi-hull craft with fully submerged hulls	0.91
Craft supported by hydrodynamic lift provided by foils or other lifting devices	0.81

3.2.4.9 Κριτήρια σχεδίασης σκάφους εκτοπίσματος

Οι παραπάνω πιέσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό των διάφορων κατασκευαστικών στοιχείων χωρίς να προηγηθούν διορθώσεις με τη βοήθεια συντελεστών, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5. Οι διορθώσεις αυτές πραγματοποιούνται στο **'Pt 5 Design and load criteria, Ch 4 Local design criteria for craft operating in displacement mode, 3 Hull envelope design criteria'**.

$$\text{Design pressure} = \delta_f H_f G_f S_f \text{load criterion} \quad (3.19)$$

Πίνακας 3.5: LR – Πιέσεις σχεδίασης για displacement σκάφος

Category/location	Symbol	Plating pressure	Symbol	Stiffener pressure
<i>Mono-hull craft</i>				
Bottom shell	P_{BP}	Greater of $H_f S_f P_s$ $H_f S_f G_f P_{dh}$ $H_f S_f G_f P_f$	P_{BF}	Greater of $\delta_f H_f S_f P_s$ $\delta_f H_f S_f G_f P_{dh}$ $\delta_f H_f S_f G_f P_f$
Side shell	P_{SP}	$H_f S_f P_{wh}$	P_{SF}	$\delta_f H_f S_f P_{wh}$
Weather deck	P_{WDP}	$H_f S_f G_f P_{wh}$	P_{DHF}	$\delta_f H_f S_f G_f P_{dhp}$
Note 1: G_f not to be taken less than 1.0				

Επομένως για να προδιαγραφούν οι φορτίσεις με βάση τις οποίες θα γίνει η διαστασιολόγηση των κατασκευαστικών στοιχείων, πρέπει να καθοριστούν οι τιμές των παραπάνω συντελεστών. Ο H_f για μονόγαστρα σκάφη ισούται πάντα με 1,05. Όπως επισημάνθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, ο LR είναι απ' τους νηογνώμονες ο οποίος για τον καθορισμό των φορτίσεων λαμβάνει υπ' όψιν του τη περιοχή λειτουργίας. Η επίδραση αυτή επιτυγχάνεται με το συντελεστή G_f , οι τιμές του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6.

Διόρθωση στην υπολογισμένη φόρτιση θα υπάρξει, λαμβάνοντας υπ' όψιν και το είδος της υπηρεσίας που πραγματοποιεί το σκάφος, μέσω του συντελεστή S_f , οι τιμές του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7.

Καταλήγοντας, μια πολύ σημαντική διαφορά του LR, σε σχέση με τον DNV, είναι ότι οι πιέσεις σχεδίασης διαφέρουν ανάλογα με το κατασκευαστικό στοιχείο που εξετάζεται. Έτσι μια πλάκα δε χρειάζεται κάποια επιπλέον διόρθωση, ενώ αντίθετα για τα δοκάρια η πίεση θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί και με το συντελεστή δ_f , οι τιμές του οποίου διαφέρουν ανάλογα την κατασκευαστική ιεραρχία των δοκών και δίνονται στον πίνακα 3.8, '*Pt 5 Design and load criteria, Ch 4 Local design criteria for craft operating in displacement mode, 2.2 Design factors*'.

Πίνακας 3.6: LR – Περιοχές λειτουργίας

Service area restriction notation	G_f
G1, Zone 3	0.60
G2, Zone 2	0.75
G2A, Zone 1	0.80
G3	0.85
G4	1.00
G5	1.20
G6	1.25

Πίνακας 3.7: LR – Service type notation factor, S_f

Service type notation	S_f
Cargo (A)	1.00
Cargo (B)	1.10
Passenger	1.00
Passenger (A)	1.00
Passenger (B)	1.10
Patrol	1.20
Pilot	1.25
Yacht	1.10
Workboat	1.25

Πίνακας 3.8: LR – Stiffening type factor, δ_f

Type	δ_f
Primary stiffening members and transverse frames	0.5
Secondary and local stiffening members and transverse beams	0.8

3.2.5 Κατασκευαστικά στοιχεία (LR)

3.2.5.1 Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος πλάκας

Όπως προαναφέρθηκε, καθώς ο τύπος του υπό εξέταση πλοίου είναι 'monohull', θα πρέπει να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του κεφαλαίου, 'Pt 7 Hull construction in Aluminium, Ch 3 Scantling determination for mono-hull craft, 2 Minimum thickness requirements'.

Ο LR δίνει τον πίνακα 3.9, στον οποίο υπάρχουν σχέσεις για τον υπολογισμό του ελάχιστου επιτρεπόμενου πάχους που θα πρέπει να έχουν τα διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία του πλοίου.

Πίνακας 3.9: LR – Απαιτήσεις ελάχιστου πάχους

Item	Minimum thickness [mm]
	Mono-hull
Shell envelope	
Bottom shell plating	$\omega \sqrt{k_m}(0,7\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$
Side shell plating	$\omega \sqrt{k_m}(0,5\sqrt{L_R} + 1,4) \geq 3,5 \omega$
Deck plating and stiffeners	
Strength/Main deck plating	$\omega \sqrt{k_m}(0,5\sqrt{L_R} + 1,4) \geq 3,5 \omega$
Centre girder web	$\omega \sqrt{k_m}(1,1\sqrt{L_R} + 1,4) \geq 5,0 \omega$

Στις παραπάνω σχέσεις υπάρχουν κάποια άγνωστα μεγέθη που θα πρέπει να καθοριστούν για να προσδιοριστεί η απαίτηση για ελάχιστο πάχος. Το μήκος των κανονισμών L_R , έχει οριστεί προηγουμένως και εκτός απ' τη σχέση υπολογισμού, χρησιμοποιείται, μαζί με την ισαπόσταση των ενισχυτικών 's' και στον τύπο του συντελεστή φ_s , για τον οποίο ισχύει:

$$0,5 \leq \varphi_s = \frac{0,6s}{(105+L_R)} \leq 1 \quad (3.20)$$

Ο συντελεστής k_m εξαρτάται εξ' ολοκλήρου απ' το επιλεγμένο υλικό κατασκευής καθώς η σχέση υπολογισμού του είναι $k_m = 385/(\sigma_A + \sigma_v)$, όπου σ_A είναι το όριο διαρροής του υλικού σε κατάσταση μη συγκόλλησης, ενώ το σ_v η αντοχή σε εφελκυσμό στην ίδια κατάσταση. Επομένως, το ω είναι ο 'service type factor' και παρουσιάζεται στον πίνακα 3.10:

Πίνακας 3.10: LR – Service type correction factors ω

Service type notation	ω
Cargo	1,1
Passenger	1,0
Patrol	1,0
Pilot	1,1
Yacht	1,0
Workboat MFV	1,2

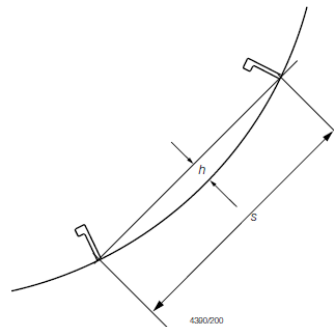
Σύμφωνα με τους κανονισμούς λοιπόν, οι πλάκες μιας κατασκευής, πέρα απ' την απαίτηση του ελάχιστου πάχους που παρουσιάστηκε παραπάνω πρέπει να ικανοποιούν και τη γενική

απαίτηση πάχους (general plating equation) η οποία δίνεται στο **'Pt 7, Ch 3, 1.16 Plating general'** παρακάτω:

$$t_p = 22.4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_s \sigma_a}} 10^{-3} [mm] \quad (3.21)$$

Η σχέση 3.21 εξαρτάται προφανώς απ' την πίεση 'P' που ασκείται στην πλάκα, τη γεωμετρία της πλάκας μέσω της ισαπόστασης των ενισχυτικών 's', αλλά και των συντελεστών 'γ' και 'β', όπου θα αναλυθούν παρακάτω, καθώς και το υλικό κατασκευής της μέσω της σ_a που δίνονται από τις σχέσεις 3.22 & 3.23. Το γ είναι ο συντελεστής διόρθωσης καμπυλότητας, αλλά όπως επισημάνθηκε στις παραδοχές στο κεφάλαιο 2, τα ελάσματα της γάστρας θα είναι όλα ευθύγραμμα, οπότε λαμβάνοντας υπόψη το παρακάτω σχήμα καθώς και τη σχέση υπολογισμού, συμπεραίνεται ότι $\gamma=1$, για κάθε πλάκα.

$$\gamma = \max(0.7, 1 - h/s) \quad (3.22)$$



Σχήμα 3.5: LR - Ορισμός του h

Ο β εξαρτάται κι αυτός απ' τη γεωμετρία της πλάκας, καθώς για τον υπολογισμό του χρειάζεται ο λόγος αναλογίας των διαστάσεων της A_R :

$$\beta = \begin{cases} A_R(1 - 0,25A_R) & , A_R \leq 2 \\ 1 & , A_R > 2 \end{cases} \quad A_R = \frac{\text{μήκος πλάκας}}{\text{πλάτος πλάκας}} \quad (3.23)$$

Ο f_s είναι ο περιοριστικός συντελεστής καμπτικής τάσης 'Limiting bending 'stress coefficient' που δε χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό του πάχους της πλάκας αλλά και για τη ροπή αντίστασης των δοκαριών. Μαζί με τον f_t που είναι ο αντίστοιχος συντελεστής για τις διατμητικές τάσεις, ο οποίος χρησιμοποιείται στο προσδιορισμό της απαίτησης της επιφάνειας κορμού των δοκαριών, δίνονται από τον LR στον πίνακα 3.11:

Πίνακας 3.11: LR – Περιοριστικοί συντελεστές τάσεων για τοπική αντοχή

Item	Limiting stress coefficient	
	Bending f_{σ}	Shear f_{τ}
Shell envelope		
(a) Bottom shell plating:		
• Slamming zone	0.85	-
• Elsewhere	0.75	-
(b) Side shell plating:		
• Slamming zone	0.85	-
• Elsewhere	0.75	-
(c) Keel		
Bottom structure		
(a) Secondary Stiffening:		
• Slamming zone	0.75	0.75
• Elsewhere	0.65	0.65
(b) Primary girder and web frame:	0.65	0.65
Side structure		
(a) Secondary stiffening:		
• Slamming zone	0.75	0.75
• Elsewhere	0.65	0.65
(b) Primary girder and web frame	0.65	0.65

3.2.5.2 Ιδιότητες υλικού

Για να ολοκληρωθεί η κατασκευαστική σχεδίαση της γάστρας θα πρέπει να καθοριστούν οι διαστάσεις των στοιχείων που την αποτελούν. Για την διαστασιολόγηση των τμημάτων του πλοίου που αποτελούνται από κράματα αλουμινίου, ο σχεδιαστής θα πρέπει να επιλέξει διαστάσεις οι οποίες θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις που έχει θέσει για τα υλικά αυτά ο LR. Οι παραπάνω απαιτήσεις για τα ταχύπλοα σκάφη περιγράφονται αναλυτικά στο **'Pt 7, Hull Construction in Aluminum'** των κανονισμών που αφορούν τα *'special service crafts'*.

Κατά τη σχεδίαση της αλουμινένιας κατασκευής, στις σχέσεις υπολογισμών που θα χρειαστούν, χρησιμοποιούνται κάποια μεγέθη που αποτελούν μηχανικές ιδιότητες των υπό χρήση κραμάτων αλουμινίου. Όπως έχει επισημανθεί προηγουμένως, τα κράματα που έχουν επιλεγεί για το υπό μελέτη σκάφη είναι το 5083 O/H11. Ο LR έχει εκδώσει τους κανονισμούς **'Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials'**, στους οποίους δίνει πίνακες με τις ελάχιστες μηχανικές επιτρεπτές ιδιότητες για πλήθος υλικών, ανάμεσα τους και κράματα αλουμινίου. Στον παρακάτω πίνακα 3.12 παρουσιάζονται οι μηχανικές ιδιότητες για τα επιλεγμένα υλικά, οι οποίες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή των διάφορων απαιτήσεων. Ο LR θεωρεί ότι για όλα τα κράματα αλουμινίου το μέτρο ελαστικότητας E ισούται με 69000 N/mm² **'Pt 7 Hull construction in Aluminum, Ch 3 Scantling determination for mono-hull craft, 1 General, 1.8 Material properties'**.

Πίνακας 3.12: LR – Ελάχιστες Μηχανικές Ιδιότητες για Κράματα Αλουμινίου

Material	Thickness [mm]		Proof Stress 0.2% R _p [N/mm ²]		Tensile Strength R _m [N/mm ²]		E [N/mm ²]
	Min:	Max:	Unwelded	Welded	Unwelded	Welded	
5083 O/H111 (Rolled)	Min:	3	Unwelded	Welded	Unwelded	Welded	69000
	Max:	50	125	125	275	275	
6082 T5/T6 (Extruded)	Min:	3	Unwelded	Welded	Unwelded	Welded	69000
	Max:	50	260	125	310	190	

Για την σχεδίαση της αλουμινένιας κατασκευής όπως προαναφέρθηκε ο σχεδιαστής θα πρέπει να στραφεί στο **'Pt 7' και 'Ch 4, Scantling Determination for Mono-Hull Craft'**, καθώς το σκάφος που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη είναι τύπου Motor Yacht.

3.2.5.3 Απαιτήσεις ενισχυτικών

Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί μια δοκός της κατασκευής, αναφέρονται κι αυτές στις ενότητες **'Section 9'** και **'Section 8'** του κεφαλαίου **'Chapter 3'** αντίστοιχα. Ο LR εξετάζει σύμφωνα με τα ίδια κριτήρια όλα τα ενισχυτικά της κατασκευής, ανεξάρτητα με την κατασκευαστική τους ιεραρχία (primary & secondary stiffening), η οποία το μόνο που επηρεάζει είναι την πίεση που τους ασκείται, καθώς διαφοροποιεί το συντελεστή δ_f. Επομένως οι γεωμετρικές απαιτήσεις ενός ενισχυτικού, δίνονται απ' τις ίδιες σχέσεις υπολογισμού που χρησιμοποιούνται για τις απαιτήσεις ενός δοκαριού (girder).

Ο LR διαφέρει σε σχέση με τους άλλους δύο νηογνώμονες καθώς ορίζει ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές για τρία γεωμετρικά μεγέθη της διατομής που προκύπτει από το ενισχυτικό και τη συνεργαζόμενη πλάκα. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται από τις σχέσεις που δίνονται από το νηογνώμονα στην ενότητα **'Pt 7, Ch 3, 1.17, Stiffening general'** και οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- Ροπή αντίστασης (Section Modulus):

$$Z = \Phi_Z \frac{p s l_e^2}{f_\sigma \sigma_a} [cm^3] \quad (3.24a)$$

- Ροπή αδράνειας (Inertia):

$$I = \Phi_I f_\delta \frac{p s l_e^3}{E} \cdot 100 [cm^4] \quad (3.24b)$$

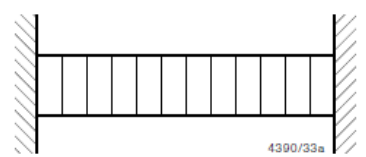
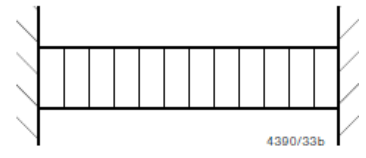
- Επιφάνεια κορμού (Web Area):

$$A_W = \Phi_A \frac{p s l_e}{100 f_\tau \tau_a} [cm^2] \quad (3.24c)$$

Στις σχέσεις (3.24) χρησιμοποιούνται κάποια ήδη γνωστά μεγέθη, όπως η πίεση 'P', η ισαπόσταση των ενισχυτικών 's' και οι συντελεστές f_σ και f_τ που δίνονται από τον πίνακα

3.11. Η επίδραση που έχει στις παραπάνω σχέσεις το μέγεθος του ενισχυτικού φαίνεται και απ' το μέγεθος l_e , δηλαδή το 'effective' μήκος του εύρους του ενισχυτικού, που εφόσον δεν χρησιμοποιούνται μπρακέτα και από υπόθεση, ισούται με το συνολικό εύρος του. Όσον αφορά την επίδραση του υλικού κατασκευής αυτή φαίνεται μέσω των σ_a , E και τ_a , όπου τα πρώτα λαμβάνονται απ' τον πίνακα 3.12, ενώ $\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}}$. Τέλος οι συντελεστές Φ_Z , Φ_I και Φ_A δίνονται απ' τον πίνακα 3.13 και εξαρτώνται από το μοντέλο της φόρτωσης και το είδος των ενισχυτικών.

Πίνακας 3.13: LR – Συντελεστές ροπής αντίστασης, ροπής αδράνειας και επιφάνειας κορμού

LOAD MODEL	Position			Position	Web area coefficient Φ_A	Section Modulus coefficient Φ_Z	Inertia coefficient Φ_I	Application
	1	2	3					
(a)				1 2 3	1/2 - 1/2	1/12 1/24 1/12	- 1/384 -	Primary and other members where the end fixity is considered
(b)				1 2 3	1/2 - 1/2	1/10 1/10 1/10	- 1/288 -	Local, secondary and other members where the end fixity is considered to be partial

Πίνακας 3.14: LR – Λόγος εύρους προς απόκλιση f_δ

Item	Deflection ratios, f_δ
Hull stiffeners	
(a) Bottom structure:	
• Secondary stiffening	475
• Primary girders and web frames	625
(b) Side structure:	
• Secondary	475
• Primary girders and web frames	625
(c) Main/strength deck structures:	
• Secondary stiffening	625
• Primary girders and web frames	775

Οι παραπάνω απαιτήσεις όπως προαναφέρθηκε αφορούν τη διατομή που προκύπτει απ' το συνδυασμό του ενισχυτικού με τη συνεργαζόμενη πλάκα. Γι' αυτό πρέπει να καθοριστεί το πλάτος της πλάκας που θα συμβάλει στο σχηματισμό της παραπάνω διατομής, δηλαδή πρέπει υπολογιστεί το 'effective width – b_e ' της συνεργαζόμενης πλάκας. Ο ορισμός του παραπάνω

μεγέθους δίνεται απ' τον LR στην ενότητα '**Section 1.11, Effective width of attached plating**' του κεφαλαίου '**Chapter 3**'. Το b_e διαφέρει ανάλογα με την κατασκευαστική ιεραρχία του ενισχυτικού, όπως φαίνεται στην σχέση που δίνεται παρακάτω. Για τον καθορισμό του χρειάζονται τα E και σ_a που δίνονται από τον πίνακα 3.12, το πάχος της πλάκας t_{op} , αλλά και η ισαπόσταση 's' και εύρος 'l' ενισχυτικών. Το b είναι το ημι-άθροισμα των ισαποστάσεων, ενώ

$$f = 0.3 \left(\frac{l}{b} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$b_e = \begin{cases} \min \left(s, 2t_p \sqrt{E/\sigma_a} \right), & \text{attached to secondary members} \\ b f, & \text{attached to primary support members} \end{cases} \quad (3.25)$$

3.3 Det Norske Veritas (DNV)

(DNV GL RULES for Classification, High Speed and Light Craft)

Για την σχεδίαση της γάστρας χρησιμοποιήθηκαν οι κανονισμοί που έχει αναπτύξει ο DNV για ταχύπλοα σκάφη, οι οποίοι έχουν τον τίτλο '**DNV GL RULES for Classification High Speed and Light Craft**'. Οι κανονισμοί για τα ταχύπλοα χωρίζονται σε διαφορετικά κομμάτια 'Parts', που το καθένα εξετάζει διαφορετικές απαιτήσεις του νηογνώμονα. Στο '**Part 3, Structures, Equipment**', όπως αποκαλύπτει και το όνομα, παρουσιάζονται οι απαιτήσεις όσον αναφορά τον απαραίτητο εξοπλισμό και το πλοίο ως κατασκευή.

Επομένως για να μπορεί η γάστρα να αντέχει όλες τις φορτίσεις με τις οποίες θα έρθει αντιμέτωπη, η σχεδίαση της θα πρέπει να γίνει με τους κανονισμούς του παραπάνω '**Part**'. Πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε ενότητα, χωρίζεται σε περαιτέρω κεφάλαια '**Chapters**', όπου για το '**Part 3**' με βάση το οποίο γίνεται η μελέτη αναλύονται στα παρακάτω εδάφια.

Ένας από τους νηογνώμονες που επιλέχθηκε, είναι ο DNV, γιατί πέρα απ' το ότι είναι μία από τις μεγαλύτερες κλάσεις, έχοντας υπό την επίβλεψη του μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου στόλου. Επιπλέον ο DNV έχει αναπτύξει αρκετά τους κανονισμούς του όσον αναφορά σκάφη που έχουν ως υλικό κατασκευής FRP, καθώς είναι ένας απ' τους πιο έμπειρους νηογνώμονες στο κομμάτι των πλαστικών υλικών.



Σχήμα 3.6: Το λογότυπο του DNV¹

Ο DNV ιδρύθηκε το 1864 και έχει την έδρα του στο Όσλο της Νορβηγίας. Το 2013 άλλαξε το όνομα του σε DNV GL, αποτέλεσμα της συγχώνευσης του με τον Germanischer Lloyd (GL – Γερμανία), παρόλα αυτά το 2021 επέστρεψε στην αρχική του ονομασία DNV,

παραμένοντας όμως η συγχώνευση δύο νηογνώμωνων και με το λογότυπο του να καταλήγει στη μορφή που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6. Ο Νορβηγικός νηογνώμονας δεν περιορίζεται μόνο στη βιομηχανία της ναυτιλίας, αλλά η συμβολή του είναι σημαντική και σ' άλλους επιχειρηματικούς τομείς (βιομηχανία πετρελαίου, διασφάλιση επιχειρήσεων και κλάδο ενέργειας). Όντας ο μεγαλύτερος απ' τους νηογνώμονες, ο DNV έχει ξεχωριστούς κανονισμούς για τα ταχύπλοα σκάφη, όπου παρέχει τα επιτρεπτά κριτήρια για το σχεδιασμό, την κατασκευή και την επιθεώρηση σκαφών που είναι κατασκευασμένα από χάλυβα, αλουμίνιο ή σύνθετα υλικά. Για το σχεδιασμό ενός ταχύπλοου σκάφους ο σχεδιαστής θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν τους, τους κανονισμούς **'DNV Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft'** στους οποίους ένας σκάφος ορίζεται ως HSC αν ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη, όπου V είναι η ταχύτητα σε κόμβους και Δ το εκτόπισμα του πλοίου σε τόνους:

$$V \geq 7.16 * \Delta^{0.1667} \quad (3.26)$$

Η παραπάνω συνθήκη είναι ισοδύναμη με εκείνη του IMO, με τη διαφορά ότι ο όγκος εκτόπισματος έχει αντικατασταθεί απ' το εκτόπισμα, μεταβάλλοντας κατάλληλα τον συντελεστή. Πέρα όμως απ' την συνθήκη για την κατηγορία HSC, οι παραπάνω κανονισμοί έχουν και κριτήριο για τον αν το σκάφος ανήκει στην κατηγορία Light Craft (LC). Στην παρακάτω συνθήκη Δ είναι το εκτόπισμα σε τόνους, L το ολικό μήκος σε μέτρα και B το ολικό πλάτος στο μέσο του πλοίου.

$$\Delta \leq (0.13 * L * B)^{1.5} \quad (3.27)$$

Ανάλογα με τον τύπο λειτουργίας του σκάφους, δηλαδή αν είναι επιβατηγό, φορτηγό, γιοτ, πολεμικό κλπ., οι κανονισμοί παρουσιάζουν διαφορές στις απαιτήσεις κατά τον κατασκευαστικό σχεδιασμό. Το ίδιο συμβαίνει και με την περιοχή λειτουργίας, όπου θα πρέπει να οριστεί μια κατηγορία 'notation' για το σκάφος, με βάση την οποία καθορίζονται οι φορτίσεις του. Στον παρακάτω πίνακα 3.2, παρουσιάζονται οι διάφορες κατηγορίες στις οποίες μπορεί να ανήκει ένα σκάφος ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας. Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι σε περίπτωση που το σκάφος έχει μήκος μεγαλύτερο των 50m, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν περαιτέρω αναλυτικές μελέτες για τη σχεδίαση του.

Πίνακας 3.15: DNV HSLC - Περιορισμοί στην περιοχή λειτουργίας^[9]

Service area notations	Seasonal zones (nautical miles)		
	Winter	Summer	Tropical
R0	250	No restrictions	No restrictions
R1	100	200	300
R2	50	100	200
R3	20	50	100
R4	5	10	20
R5	1	2	5
R6	0.2	0.3	0.5

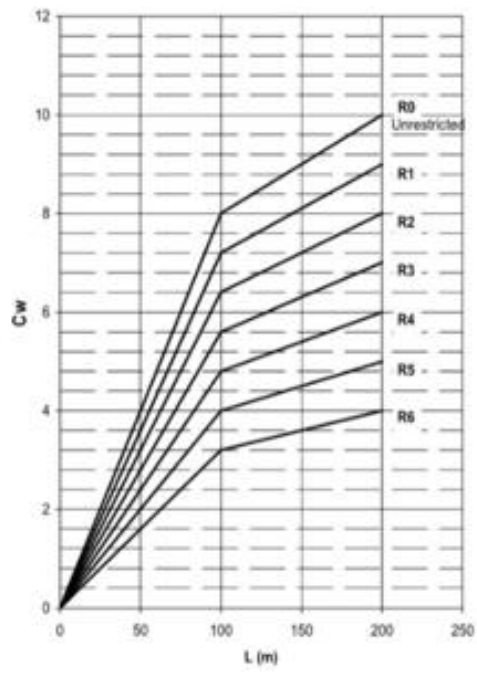
Ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο συντελεστής κύματος ' $C_W - Wave Coefficient$ ', ο οποίος για σκάφη μικρότερα των 100 m, δίνεται απ' την παρακάτω σχέση.

$$C_W = 0.08 L f_r \quad (3.28)$$

Η εξάρτηση του απ' τη γεωμετρία του σκάφους φαίνεται μέσω του μήκους του πλοίου L, ο C_W όμως δεν εξαρτάται μόνο απ' αυτή. Ο DNV, όπως προαναφέρθηκε, είναι απ' τους νηογνώμονες που στους κανονισμούς τους, για τον προσδιορισμό των φορτίων, λαμβάνουν υπόψη τους τη περιοχή λειτουργίας του σκάφους, η οποία επιδρά στην τιμή της πίεσης μέσω του f_r , που επηρεάζει τον C_W . Στον πίνακα 3.16 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή f_r ανάλογα με την κλάση που έχει ταξινομηθεί, όπου τα κριτήρια για να ταξινομηθεί το σκάφος σε μία από τις παρακάτω κλάσεις παρουσιάστηκαν ήδη στον πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.16: DNV - Τιμές του συντελεστή μείωσης f_r

Class Notation	f_r
R0	1.0
R1	0.9
R2	0.8
R3	0.7
R4	0.6
R5	0.5
R6	0.4



Σχήμα 3.7: LR – Ορισμοί και Σύμβολα

3.3.1 Βασικές αρχές (DNV)

Πίνακας 3.17: DNV – Βασικά μεγέθη και ορισμοί

L = length of the craft in m defined as the length on design waterline. Amidships is defined as the middle of L
FP = forward perpendicular is the perpendicular at the intersection of the fully loaded waterline (with the craft at rest) with the foreside of the stem
AP = after perpendicular is the perpendicular at the intersection of the fully loaded waterline (with the craft at rest) with the after side of sternpost or transom
B = greatest moulded breadth in m
D = moulded depth is the vertical distance in m from baseline to moulded deckline at the uppermost continuous deck measured amidships
T = fully loaded draught in m at L/2 with the craft floating at rest in calm water
Δ = fully loaded displacement in tonnes in salt water (density 1.025 t/m³) on draught T
CB = block coefficient, given by the formula:
BWL = greatest moulded breadth of the hull(s) in m at the fully loaded waterline (with the craft at rest).
For multihull craft BWL is the net sum of the waterline breadths
BWL2 = greatest moulded breadth of the hull(s) in m at the fully loaded waterline (with the craft at rest)
measured at L/2. For multihull craft BWL2 is the net sum of the waterline breadths
V = maximum speed in knots
g₀ = standard acceleration of gravity.9.81 m/s²
a_{cg} = design vertical acceleration in m/s² at longitudinal centre of gravitation
LCG = longitudinal centre of gravity
WL = water line
H_s = significant wave height in m. Significant wave height is the average of the 1/3 highest waves within a wave spectrum.
a_{cg}: design vertical acceleration in m/s² at longitudinal centre of gravitation
LCG: longitudinal centre of gravity
WL: water line
H_s: significant wave height in m. Significant wave height is the average of the 1/3 highest waves within a wave spectrum.

3.2.1 Freeboard deck is a deck above waterline, weathertight closed or protected, from which a freeboard is measured. For details see Load Line Convention of 1966, Regulation 3.

3.2.2 Weather decks are open decks or parts of decks which may be exposed to sea and weather loads

3.2.3 Bulkhead deck is a deck to which the watertight bulkheads are carried.

3.2.6 Weathertight is used for external surfaces above freeboard (or bulkhead) deck and means that in any sea conditions water will not penetrate the ship.

3.2.7 Watertight is related to the internal subdivision of the ship, and means that in a flooded condition water will not penetrate from one compartment into the other

3.2.8 Primary Structure is a collective term for structural members, usually supporting stiffeners (part of secondary structure). Typical structural elements are:

— bottom and deck transverses

- *bottom and deck girders*
- *floors (a bottom transverse)*
- *stringers (elements with a horizontal web on the side and/or bulkhead)*
- *web frames*

3.2.9 *Stiffener is a collective term for a secondary supporting member. Other terms used are:*

- *beam*
- *frame*
- *reversed frame (inner bottom transverse stiffeners)*
- *longitudinal*

3.3.2 Συνθήκες λειτουργίας (DNV)

Οι κανονισμοί καθορίζουν τα φορτία σχεδιασμού που αντιστοιχούν στα φορτία που επιβάλλονται από τη θάλασσα και τον περιορισμό του φορτιού, των επιβατών, του έρματος. Τα φορτία σχεδιασμού συμπεριλαμβάνονται στις σχέσεις υπολογισμού αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων, όπου το ικανοποιητικό επίπεδο αντοχής αντιπροσωπεύεται από τάση η οποία βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια.

Η κατασκευή πρέπει να είναι ικανή να αντέχει στα στατικά και δυναμικά φορτία που μπορούν να επιδράσουν στο σκάφος σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, χωρίς βεβαίως να υπάρχει φόρτιση, τέτοια ώστε να οδηγεί σε ανεπίτρεπτη παραμόρφωση και απώλεια στεγανότητας ή να παρεμποδίζει την ασφαλή λειτουργία του σκάφους.

3.3.3 Απόκριση κίνησης σύμφωνα με τον (DNV)

3.3.3.1 Σημαντικό ύψος κύματος

Σύμφωνα με τον σχεδιαστή θα πρέπει να οριστεί το προφίλ λειτουργίας του σκάφους, δηλαδή η περιοχή όπου θα πλέει αυτό συνδυάζοντας όρους ταχύτητας και σημαντικού ύψους κύματος. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι ελάχιστες τιμές του H_s που μπορεί να πάρει ανάλογα με την κατηγορία στην οποία υπάγεται η οποία επιλέχτηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Να σημειωθεί ότι η συνθήκη που ορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα για το σημαντικό ύψος κύματος, αναφερόμενοι στον 'LR', είναι ίδια και στην περίπτωση του DNV ($H_s=1.5m$ & $V=20kn$), '**DNV GL RULES for Classification: High Speed and Light Craft, Pt 3, Sec 3, 2 Operational conditions**'.

Πίνακας 3.18: DNV – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος H_s

Type and service notation	H_s
Passenger, car ferry, cargo craft, crew boats and small service craft	0.25
Patrol boats, naval and naval support vessels	L < 20 m: 0.5 L > 30 m: 1.5 L.I. for 20 m ≤ L ≤ 30 m

3.3.3.2 Κατακόρυφη επιτάχυνση

Παρακάτω παρουσιάζεται η σχέση με την οποία το σκάφος θα δείξει πως συμπεριφέρεται στη θάλασσα βάσει της ταχύτητας και του σημαντικού ύψους κύματος που έχει προδιαγράψει ο σχεδιαστής. Η κατακόρυφη επιτάχυνση υπολογίζεται στο κέντρο βάρους της κατασκευής και προσδιορίζει το χρονικό διάστημα που το σκάφος βρίσκεται σε επαφή με το ρευστό. Προφανώς εξαρτάται και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, αλλά τα σημαντικά μεγέθη που καθορίζουν τις πιέσεις που θα ασκηθούν στο περίβλημα της γάστρας και εν συνεχεία τα πάχη που θα προκύψουν από αυτές, είναι όπως προαναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου η ταχύτητα και το ύψος κύματος. Για σκάφη εκτοπίσματος η σχέση της κατακόρυφης επιτάχυνσης θα πρέπει να πληροί την απαίτηση του περιορισμού της ταχύτητας και της τετραγωνικής ρίζας του μήκους και αυτό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 3.

Όταν:

$$V_i/\sqrt{L} \geq 3$$

$$a_{cgi} = \frac{k_h g_0}{1650} \left(\frac{H_{si}}{B_{WL2}} + 0.084 \right) (50 - \beta_{cg}) \left(\frac{V_i}{\sqrt{L}} \right)^2 \frac{LB_{WL2}^2}{\Delta} \quad [m/s^2] \quad (3.28)$$

Όπου:

- V_i = Ταχύτητα σε κόμβους
- H_{si} = Σημαντικό ύψος κύματος σύμφωνα με τον πίνακα 3.18
- β_{cg} = Γωνία διαγωγής στο LCG του σκάφους σε μοίρες $10^\circ \leq \beta_{cg} \leq 30^\circ$
- k_h = Συντελεστής τύπου γάστρας σύμφωνα με τον πίνακα 3.19

Πίνακας 3.19: DNV – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος $H_s^{[9]}$

Hull type	kf_h
Mono-hull Catamaran	1.0
Wave piercer	0.9
SES, ACV	0.8
Foil assisted hull	0.7
SWATH	0.7

- a_{cg} Θα πρέπει να είναι η μεγαλύτερη a_{cgi}
- Η κατακόρυφη επιτάχυνση σχεδίασης δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$a_{cg} = 1.0g_0 \text{ for service restrictions R0 – R4}$$

$$a_{cg} = 0.5g_0 \text{ for service restrictions R5 – R6}$$

$$a_{cgi} = C_{HSLC} \cdot C_{RW} \cdot \frac{V_i}{\sqrt{L}} g_0 \quad [m/s^2] \quad (3.29)$$

Όπου:

$$\begin{aligned} C_{RW} &= \text{Service range coefficient} \\ &= 1.00 \text{ for unlimited service range R0} \\ &= 0.90 \text{ for restricted service area R1} \\ &= 0.75 \text{ for restricted service area R2} \\ &= 0.66 \text{ for restricted service area R3} \\ &= 0.60 \text{ for restricted service area R4} \end{aligned}$$

Πίνακας 3.20: DNV – Ελάχιστο σημαντικό ύψος κύματος H_s

Craft character	Passenger, car ferry, cargo craft, yacht, service	Patrol
C_{HSLC}	0.24	0.36

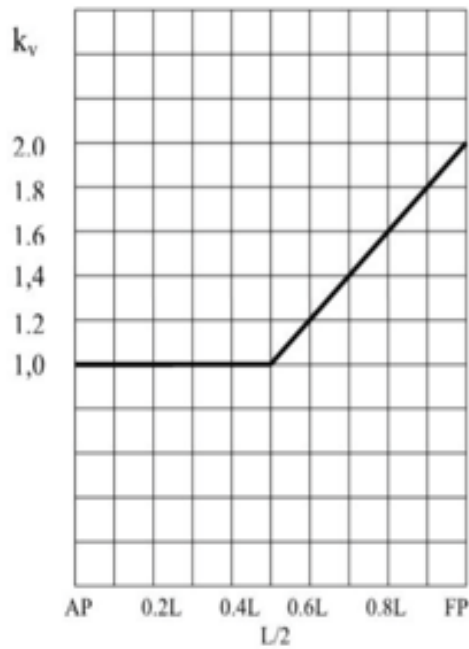
- Η κατακόρυφη επιτάχυνση a_{cgi} δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τον περιορισμό $6,0g_0$.

Η κατακόρυφη επιτάχυνση εάν δεν ορίζεται, παίρνει την παρακάτω τιμή της σχέσης 3.30 σε διαφορετικές θέσεις κατά το διάμηκες του πλοίου δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

$$a_v = k_v a_{cg} [m/s^2] \quad (3.30)$$

Όπου:

- k_v = Συντελεστής διανομής κατά το διάμηκες από το σχήμα 3.8



Σχήμα 3.8: DNV – Συντελεστής διαμήκης διανομής για κατακόρυφη επιτάχυνση

3.3.4 Φορτίσεις σύμφωνα με τον DNV

3.3.4.1 Πίεση σφυρόκρουσης πυθμένα

Η δομική αντοχή ενός σκάφους θα πρέπει να βασίζεται στις ακόλουθες εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις και δυνάμεις ‘*DNV GL RULES for Classification: High Speed and Light Craft, Pt 3, Sec 3, 3.2 Slamming pressure on bottom*’:

- Στατικές και δυναμικές πιέσεις θάλασσας
- Στατικές και δυναμικές πιέσεις από διάφορα υγρά που βρίσκονται σε δεξαμενές
- Στατικές και δυναμικές φορτίσεις από ξηρά φορτία και εξοπλισμό

Οι εσωτερικές πιέσεις θα πρέπει να εφαρμόζονται ανεξάρτητα από ταυτόχρονες πιέσεις ή δυνάμεις που ασκούνται από το εξωτερικό τμήμα της γάστρας. Η πίεση σχεδίασης από τη θάλασσα είναι ορισμένη ως πίεση που ασκείται εξωτερικά από το περιβάλλον της γάστρας σε κατάσταση πλήρους βύθισης. Η πίεση σφυρόκρουσης στον πυθμένα του σκάφους με ταχύτητα $V_L/\sqrt{L} \geq 3$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$p_{sl} = \frac{a_{cg} \cdot \Delta}{0.14 \cdot A_{ref}} \cdot k_{red} \cdot k_l \cdot k_\beta \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.31)$$

Όπου:

- A_{ref} = Περιοχή όπου ασκείται το κρουστικό φορτίο

$$A_{ref} = 0.7 \frac{\Delta}{T} \quad (3.32)$$

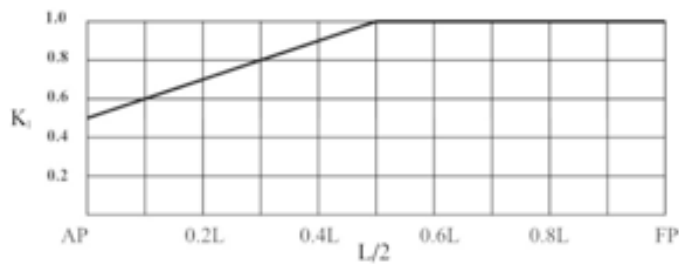
- k_{red} = Συντελεστής μείωσης για περιοχή σχεδίασης φόρτισης

$$k_{red} = 0.445 - 0.35 \left(\frac{u^{0.75} - 1.7}{u^{0.75} + 1.7} \right) \quad (3.33)$$

$$u = 100 \cdot \frac{n \cdot A}{A_{ref}}$$

Όπου:

- n = Αριθμός γαστρών, 1 για μονόγαστρα, 2 για catamaran
- A = Περιοχή φόρτισης για κάθε στοιχείο μετρούμενο σε m^2
 - = Για πλάκες, ενισχυτικά και δοκάρια, το A είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ενισχυτικών (spacing) επί το άνοιγμα του ενισχυτικού (span)
 - = Για τις πλάκες δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το $2.5 \cdot S^2$ [m^2]
 - = Γενικά το δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από $\frac{LB_{wl}}{1000}$ [m^2]
- k_β = Συντελεστής διόρθωσης για τοπική γωνία διαγωγής



Σχήμα 3.9: DNV – Τριγωνική φόρτιση από την τρόπιδα μέχρι το 'deck'

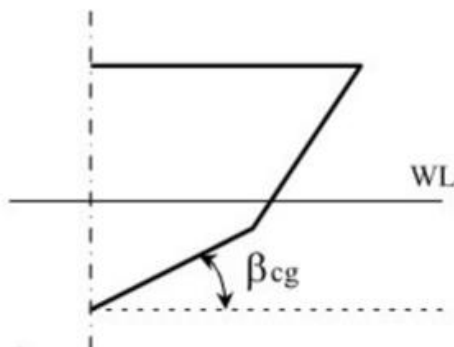
- k_β = Συντελεστής διόρθωσης για τοπική γωνία διαγωγής

$$k_\beta = \left(\frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{cg}} \right) \quad (3.34)$$

Όπου:

β_x = Γωνία κατά το εγκάρσιο τμήμα σε μοίρες $10^\circ \leq \beta_x \leq 30^\circ$

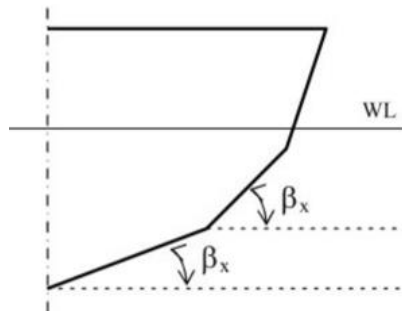
β_{cg} = Γωνία διαγωγής σε μοίρες στο LCG του σκάφους $10^\circ \leq \beta_{cg} \leq 30^\circ$



Σχήμα 3.10: DNV – Εγκάρσια διατομή (μισό σκάφος) και γωνία ελασμάτων πυθμένα στο διαμέρισμα όπου βρίσκεται το κέντρο βάρους του πλοίου

Στο σχήμα 3.10 απεικονίζεται η μισή πλευρά του σκάφους κατά το εγκάρσιο, περιγράφοντας τη γεωμετρία καθώς και τη γωνία που έχουν τα ελάσματα του πυθμένα στο συγκεκριμένο διαμέρισμα που αφορά το κέντρο βάρους (LCG) του σκάφους.

Παρακάτω στο σχήμα 3.11 εμφανίζεται απεικόνιση παρόμοια με αυτή του σχήματος 3.10, μόνο που αναφέρεται πλέον στη γεωμετρία και τη γωνία που έχουν τα ελάσματα καθ' όλο το μήκος του πλοίου (κατά το διάμηκες). Οι μέγιστες τιμές γωνίας που μπορούν να έχουν αυτά τα ελάσματα είναι 30 μοίρες και οι ελάχιστες 10 μοίρες.



Σχήμα 3.11:DNV – Εγκάρσια διατομή (μυσό σκάφος) και γωνία ελασμάτων πυθμένα στο διάμηκες του πλοίου

3.3.4.2 Σφυρόκρουση λόγω προνευτασμού

Όλα τα σκάφη θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και την πίεση προνευτασμού (pitching slamming pressure) ‘*DNV GL RULES for Classification High Speed and Light Craft, Pt 3, Sec 3*’:

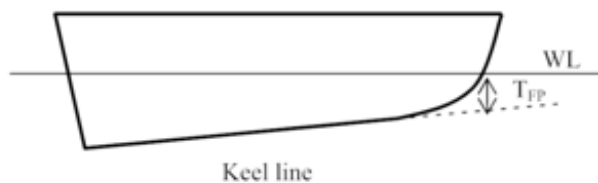
$$p_{sl} = \frac{21}{\tan(\beta_x)} \cdot k_a \cdot k_b \cdot C_w \left(1 - \frac{20T_{FP}}{L}\right) \left(\frac{0.3}{A}\right)^{0.3} [kN/m^2] \quad (3.35)$$

Όπου:

- k_a = 1 για πλάκες
= 1.1–20 l_A/L , ($0.35 \leq k_a \leq 1.0$), για ενισχυτικά και δοκάρια (girders)
- l_A = Διαμήκης έκταση σε μέτρα [m] στην περιοχή φόρτισης
- k_b = 1 για πλάκες, διαμήκη ενισχυτικά και ‘girders’
= $L/40l + 0.5$ (maximum 1.0) for transverse stiffeners and girders (l =span in m of stiffener or girder)
- T_{FP} = Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13

Το V_i/\sqrt{L} δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερο από 3. Η πίεση σφυρόκρουσης μειώνεται μέχρι να μηδενίσει στο $0,175L$ πίσω από το μήκος που ορίζεται στην παρακάτω σχέση. Η πίεση σφυρόκρουσης εκτείνεται από την τρόπιδα μέχρι την ακμή του σκάφους. Σε περίπτωση που η γάστρα περικλείεται από κυρτά ελάσματα, η πίεση εκτείνεται έως το πάνω μέρος της πλάκας ή ενδεχομένως έως τις αντιδιαβροχικές λωρίδες.

$$\left(0,1 + 0,15 \frac{V_i}{\sqrt{L}}\right)L$$



Σχήμα 3.13:DNV – Το βύθισμα του σκάφους από την τρόπιδα μέχρι την ίσαλο

3.3.4.3 Σφυρόκρουση πλευράς στην πλώρη

Αρχικά θα πρέπει να καθοριστούν τα φορτία με τα οποία θα έρθει αντιμέτωπη η κατασκευή του σκάφους. Η ανάλυση των παραπάνω φορτίων γίνεται στο **'Ch 1, Design principles, Design Loads'** του **'Pt 3'**, όπου σε διαφορετικές ενότητες γίνεται ανάλυση των πιέσεων, των διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών, με τις οποίες έρχεται αντιμέτωπο το σκάφος. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι φορτίσεις που δέχεται η υπερκατασκευή είναι ανεξάρτητες του υλικού κατασκευής, οπότε οι πιέσεις που προκύπτουν θα είναι ίδιες για το αλουμίνιο η και οποιοδήποτε άλλο υλικό.

Στην ενότητα **'Section 3'** του **'Chapter 1'**, δίνονται οι σχέσεις για τον προσδιορισμό όλων των πιέσεων που στην ουσία καθορίζουν τις απαιτήσεις για την τοπική αντοχή της κατασκευής. Ο DNV παρουσιάζει σχέσεις για τον υπολογισμό εφτά διαφορετικών πιέσεων και για όλες αναλύει την περιοχή του σκάφους στην οποία ασκούνται. Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται κατασκευαστική σχεδίαση της γάστρας του σκάφους, επομένως οι πιέσεις που θα πρέπει να υπολογιστούν είναι μόνο αυτές που αφορούν το συγκεκριμένο τμήμα του σκάφους.

$$P_{sl} = \frac{0.7L C_L C_H}{A^{0.3}} \left(0.6 + 0.4 \frac{V_L}{\sqrt{L}} \sin(\gamma) \cos(90 - a) + \frac{2.1a_0}{C_B} \sin(90 - a) \left(\frac{x}{L} - 0.4 \right) \sqrt{\frac{V_L}{\sqrt{L}} + 0.6} \right)^2 \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (3.36)$$

Όπου:

- e = Συντελεστής διόρθωσης για τοπική γωνία διαγωγής
- x = Διαμήκης απόσταση μετρούμενη από την πρύμνη του σκάφους μέχρι το σημείο που απαιτείται υπολογισμός
- C_L = Συντελεστής διόρθωσης για το μήκος του σκάφους

$$C_L = \frac{250L - L^2}{15000} \quad (3.37)$$

Όπου:

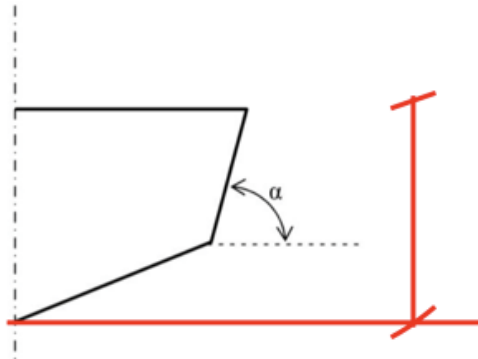
- C_H = Συντελεστής διόρθωσης για το ύψος άνωθεν της ισάλου στο σημείο της φόρτισης

$$C_H = 1 - \frac{0.5}{C_W} h_0 \quad (3.38)$$

- C_W = Έχει οριστεί παραπάνω
- h_0 = Κατακόρυφη απόσταση σε μέτρα από την ίσαλο έως το σημείο της φόρτισης
- a = Η γωνία a παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 3.14
- γ = Η γωνία γ παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 3.15

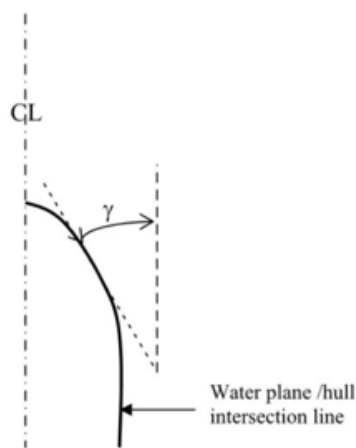
Στο σχήμα 3.14 απεικονίζεται η μισή πλευρά του σκάφους κατά το εγκάρσιο, περιγράφοντας τη γεωμετρία που έχουν τα ελάσματα της πλευράς. Η πλευρά αποτελείται από ελάσματα που είναι παράλληλα στη center line με μία μικρή αύξηση της γωνίας καθώς εκτείνεται κατά το διάμηκες από πρίμα μέχρι πλώρα. Η αύξηση αυτής της γωνίας μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή τις 60 μοίρες και αυτό το νούμερο επιτυγχάνεται στο 0.90 του σκάφους.

Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό αν αναλυθούν οι κατόψεις του υπό μελέτη σκάφους βλέποντας τον πυθμένα σε σύγκριση με το κατάστρωμα.



Σχήμα 3.14: DNV – Flare angle α

Η γωνία γ αντιπροσωπεύει την κλίση που έχει η πλώρη του σκάφους από το σημείο που τα πλευρικά ελάσματα παύουν να είναι κατακόρυφα και αποκτούν μια μικρή κλίση η οποία συνεχώς αυξάνεται καθώς φτάνουμε στο F.P. (For Peak) του πλοίου.



Σχήμα 3.15: DNV Waterline angle γ

3.3.4.4 Υδροστατική - Υδροδυναμική πίεση

Σύμφωνα με τους κανονισμούς πρόκειται για μια πίεση που δρα σ' όλα τα τμήματα του σκάφους, απ' τον πυθμένα και το πλαϊνό τμήμα της γάστρας μέχρι τα καταστρώματα. Η 'Sea Pressure' **'Pt 3, Ch 1, Section 3.5 Sea pressure'**, παρουσιάζει διαφορετική σχέση υπολογισμού ανάλογα με τη σχετική θέση του υπό εξέταση τμήματος με την ίσαλο σχεδίασης. Προφανώς για τη γάστρα του σκάφους, ο πυθμένας βρίσκεται κάτω απ' την ίσαλο και γι' αυτό η υδροστατική πίεση στην παρούσα μελέτη υπολογίζεται απ' τη σχέση 3.39, ενώ η πλευρά και το κατάστρωμα βρίσκονται πάνω από την ίσαλο και υπολογίζονται με βάση την σχέση 3.40.

- Φόρτιση κάτω από την ίσαλο

$$p = a \left(10h_0 + \left(k_s - 1.5 \frac{h_0}{T} \right) C_w \right) [kN/m^2] \quad (3.39)$$

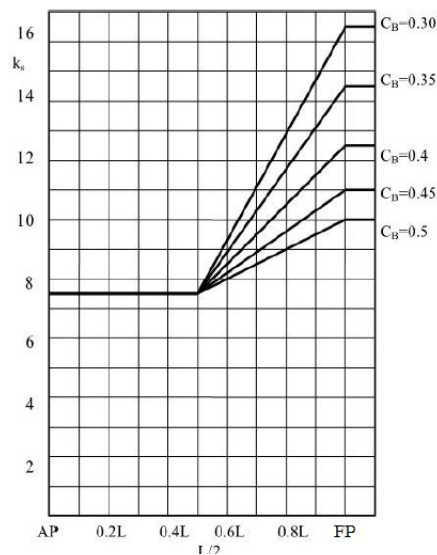
- Φόρτιση πάνω από την ίσαλο γραμμή

$$p = a k_s (C_w - 0.67h_0) [kN/m^2] \quad (3.40)$$

Όπου:

- k_s = 7.5 πρίμα από τη μέση τομή του πλοίου
= $5 / C_B$ Forward of FP
- a = Συντελεστής εντατικής φόρτισης (βλέπε πίνακα 3.21)
- C_w, h_0 = Έχουν οριστεί παραπάνω

Από τη σχέση 3.39 είναι κατανοητό ότι η sea pressure εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους που επιδρούν στη σχέση με τη μορφή συντελεστών. Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της παραπάνω πίεσης είναι η θέση του υπό εξέταση τμήματος και η γεωμετρία του σκάφους, οι οποίοι εκφράζονται με τη βοήθεια h_0 , k_s και C_w . Το h_0 είναι η κατακόρυφη απόσταση του σημείου εφαρμογής της φόρτισης από την ίσαλο σχεδίασης [m], ενώ η τιμή του συντελεστή k_s δεν εξαρτάται μόνο από τη θέση του τμήματος (συγκεκριμένα τη διαμήκη), αλλά και απ' τη γεωμετρία του σκάφους μέσω του κυβικού συντελεστή C_B . Ο k_s λαμβάνεται με τη βοήθεια διαγράμματος που δίνεται απ' τον DNV και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.16, όπου ο οριζόντιος άξονας είναι η ποσοστιαία διαμήκης θέση του.



Σχήμα 3.16: DNV - Υπολογισμός του συντελεστή k_s

Πέρα όμως απ' τη γεωμετρία και την περιοχή λειτουργίας του σκάφους και την θέση του υπό εξέταση τμήματος, η 'Sea Pressure' εξαρτάται και απ' το είδος του. Ο συντελεστής έντασης φορτίου (α – Load Intensity Factor) επιδρά σημαντικά στον υπολογισμό της, με τις τιμές του να εξαρτώνται απ' το είδος τμήματος του σκάφους που εξετάζεται και να προκύπτουν απ' τον παρακάτω πίνακα 3.21.

Πίνακας 3.21: DNV - Τιμές του συντελεστή έντασης φορτίου α

Location		General (all types of crafts)
Bottom, side and transom		1.0
Deck	Weather deck	1.0
	Weather deck higher than 0.1L above WL	0.8
Deckhouse side		0.8
Front Bulkhead	1st tier	2.0
	Other fronts	0.8
End bulkhead		0.8

Με τη βοήθεια της σχέσης 3.39, είναι κατανοητό ότι ένα τμήμα θα δέχεται μεγαλύτερη πίεση όσο πιο κοντά βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας (μικρότερη τιμή h_0) και όσο πιο πλώρα είναι (μεγαλύτερη τιμή α k_s). Αυτό είναι λογικό γιατί στις παραπάνω περιπτώσεις έρχεται σε άμεση επαφή με τη θάλασσα. Η ίδια λογική παρατηρείται και στον συντελεστή α , όπου οι τιμές του είναι μεγαλύτερες για τα τμήματα που βρίσκονται πιο πλώρα και χαμηλότερα. Τέλος μέσω του συντελεστή κύματος C_w είναι φανερό ότι ένα σκάφος δέχεται μεγαλύτερη πίεση για μεγαλύτερο μήκος και για περισσότερες ελευθερίες ως προς την περιοχή λειτουργίας του, κάτι που είναι αναμενόμενο καθώς οι καταστάσεις θάλασσας που θα αντιμετωπίσει, είναι δυσχερέστερες όσο απομακρύνεται απ' την ακτή.

Πίνακας 3.22: DNV – Ελάχιστες τιμές πίεσης [kN/m^2]

Location		Service restriction notation		
		Unrestricted – R0	R1 – R3	R4 – R6
Bottom, side and transom		6.5	5.0	3.0
Deck	Weather deck	5.0	4.0	3.0
	Weather deck higher than 0.1L above WL	3.0	3.0	3.0
Deckhouse side		5.0	4.0	3.0
Front Bulkhead	1st tier	$5 + (5 + 0.05L) \sin \alpha$		5.0
	Other fronts	$5 + 0.025L \sin \alpha$		5.0
End bulkhead		5.0	4.0	3.0

Το α είναι η γωνία μεταξύ των φρακτών και του καταστρώματος

3.3.4.5 Heavy units

Ο DNV σε σχέση με τον LR υπολογίζει μεγάλες μάζες που βρίσκονται εντός της γάστρας, για παράδειγμα οι δυνάμεις που δέχονται τα ελάσματα στο μηχανοστάσιο. Οι δυνάμεις αυτές δεν εξισορροπούνται λόγω της υδροστατικής πίεσης που ασκείται σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτές, οπότε για να συνεχιστεί η διαδικασία υπολογισμών στη συγκεκριμένη περιοχή, επιλέγεται η χειρότερη περίπτωση, δηλαδή όποια από τις δύο είναι μεγαλύτερη (υδροστατική ή φόρτιση λόγω βάρους).

$$P_v = (g_0 + 0.5 a_v)M \text{ [kN]} \quad (3.41)$$

Όπου:

- M = Μάζα κάθε μονάδας σε τόνους
- a_v = Έχει οριστεί παραπάνω

3.3.5 Κατασκευαστικά στοιχεία (DNV)

Έχοντας καθορίσει τις φορτίσεις με τις οποίες θα έρθει αντιμέτωπη η κατασκευή, μπορεί να πραγματοποιηθεί η επιλογή διαστάσεων των κατασκευαστικών στοιχείων που την αποτελούν. Καθώς έχει επισημανθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχει θεωρηθεί ότι η γάστρα αποτελείται μόνο από πλάκες, ενισχυτικά και δοκάρια. Οι απαιτήσεις που καλεί ο DNV να τηρούνται απ' τα παραπάνω στοιχεία, εφόσον έχουν κατασκευαστεί από αλουμίνιο, αναλύονται στο **'Pt 3, Ch 3, Hull structural design in aluminum'**, για ταχύπλοα σκάφη.

Προφανώς οι απαιτήσεις του DNV για τα διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία εξαρτώνται από το κράμα αλουμινίου που έχει επιλεγεί. Την εξάρτηση αυτή την αποδίδει στις σχέσεις του μέσω της μέγιστης επιτρεπόμενης καμπτικής τάσης λόγω πίεσης σ [MPa], που μπορεί να παραλάβει το υλικό, και μέσω του συντελεστή $f = \sigma_f/240$, όπου σ_f είναι το όριο διαρροής του υλικού. Η επιτρεπόμενη καμπτική τάση σ προσδιορίζεται με το συντελεστή f_1 που διαφέρει ανάλογα με το υλικό, σε αντίθεση όμως με τον συντελεστή f , η τιμή της σ δεν καθορίζεται μόνο απ' το υλικό, αλλά και απ' το τμήμα και το στοιχείο της κατασκευής που εξετάζεται, καθώς η σχέση υπολογισμού της διαφέρει για κάθε σενάριο.

Επομένως για να υπολογιστούν οι απαιτήσεις του DNV, πρέπει προηγουμένως να επιλεγθούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καθοριστούν οι συντελεστές f και f_1 και κατά συνέπεια η μέγιστη επιτρεπόμενη καμπτική τάση. Η τιμή του f_1 καθορίζεται με τη βοήθεια των πινάκων της ενότητας, **'Materials and material protection'**, ενώ οι σχέσεις υπολογισμού της σ δίνονται στην ενότητα **'Pt 3, Ch 3, Sec 5, Plating and Stiffeners'**. Η τιμή για το όριο διαρροής που χρειάζεται για τον υπολογισμό του f , για το εκάστοτε κράμα αλουμινίου δίνεται στο **'Pt 2, Ch 2, Sec 10, Material and welding'** και συγκεκριμένα ισούται με 125 MPa. Καθώς οι υπολογισμοί των παραπάνω τιμών χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των τιμών όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, στον παρακάτω πίνακα 3.23 παρουσιάζονται οι τιμές του f_1 , ενώ στον 3.24 οι σχέσεις υπολογισμού της σ , για τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση της γάστρας.

Πίνακας 3.23: DNV - Τιμές του f_1 για τα υπό χρήση κράματα αλουμινίου (Welded Condition)

Grade	Temper	Filler	f_1
NV 5083	H116, H321	5356	0.53
VL 6082	T5/T6	5356-5183	0.48

3.3.5.1 Ελάχιστο απαιτούμενο πάχος πλάκας 'DNV

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει με τη βοήθεια του συντελεστή f_1 την επιτρεπόμενη καμπτική τάση που μπορεί να ασκηθεί στα τμήματα της γάστρας.

Πίνακας 3.24: DNV – Επιτρεπόμενη καμπτική τάση λόγω πίεσης 'σ'

Τμήμα Κατασκευής	Πλάκα	Ενισχυτικό
	[N/mm ²]	
Bottom, slamming load	200 f_1	180 f_1
Bottom sea load	180 f_1	160 f_1
Side	180 f_1	160 f_1
Deck	180 f_1	160 f_1

Όπου:

- t = Πάχος πλάκας με βάση τον κανονισμό [mm]
- Z = Ροπή αντίστασης του ενισχυτικού σε [cm³]
- S = Πλάτος ανάμεσα από δύο διαδοχικά ενισχυτικά, μετρούμενα κατά μήκος του πλοίου [m]
- l = Μήκος ενισχυτικού (span) σε μέτρα [m]
- σ = Ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση πλευρικής πίεσης σε [N/mm²]
- τ = Ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση διάτμησης σε [N/mm²]

Στην ενότητα 'Section 5' του 'Chapter 4' ο DNV παρουσιάζει τις απαιτήσεις που έχει θέσει για το ελάχιστο πάχος μιας πλάκας από αλουμίνιο '**Pt 3, Ch 3, Sec 5, Plating**'. Αρχικά θέτει μια γενική απαίτηση που πρέπει να τηρείται από όλες τις πλάκες ανεξάρτητα των φορτίων στα οποία υπόκεινται, η οποία παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση:

$$t = \frac{t_0 + kL}{\sqrt{f}} \frac{s}{s_R} \quad [\text{mm}] \quad (3.42)$$

Όπου:

- f = $\sigma_f / 240$
- σ_f = yield stress in N/mm² at 0.2% offset for unwelded alloy σ_f is not to be taken greater than 70% of the ultimate tensile strength
- S = Πραγματικό πλάτος ενισχυτικού σε [m]
- s_R = Βασικό πλάτος ενισχυτικού σε μέτρα [m]
= $2(100 + L)/1000$
- S/s_R = Ο λόγος δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0.5 η μεγαλύτερος από 1
- t_0 = Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (βλέπε πίνακα 3.25)

Με τη βοήθεια της σχέσης 3.42 είναι φανερό ότι η γενική απαίτηση του DNV για το πάχος δε λαμβάνει υπόψη την πίεση που του ασκείται παρά μόνο το είδος της κατασκευής που μελετάται (t_0 και k), τα μεγέθη του πλοίου και της πλάκας (L [m] και s [m]), καθώς και το κράμα αλουμινίου που χρησιμοποιείται (f). Η επίδραση του είδους του υλικού που χρησιμοποιείται προκύπτει μέσω του συντελεστή f , που όπως προαναφέρθηκε υπολογίζεται με τη βοήθεια του ορίου διαρροής του κράματος. Όσο στιβαρότερο είναι το υλικό τόσο μεγαλύτερος είναι ο f και άρα τόσο μικρότερη η απαίτηση πάχους. Παρατηρείται ότι η απαίτηση για το ελάχιστο πάχος, έχει ανάλογη συμπεριφορά με την πίεση, όσον αναφορά το μήκος του πλοίου L και το είδος του υπό εξέταση τμήματος. Σκάφη με μεγαλύτερο μήκος L θα έχουν μεγαλύτερη απαίτηση, όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.25, στον οποίο παρουσιάζονται οι διάφορες τιμές των t_0 και k . Τέλος ο λόγος s/s_R είναι η ισαπόσταση των ενισχυτικών, δηλαδή η μία διάσταση της πλάκας προς μια ενδεδειγμένη τιμή που έχει θέσει ο DNV και δίνεται απ' τη σχέση $S_R=2(100+L)/1000$ [m]. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο νηογώμονας έχει θέσει όρια στην τιμή του παραπάνω όγκου, επομένως θα πρέπει να ισχύει:

$$0.5 \leq s/s_R \leq 1$$

Πίνακας 3.25: DNV – Οι συντελεστές t_0 και k για τις πλάκες

Στοιχείο			
Shell plating	Bottom, bilge and side to loaded water line	4.0	0.03
	Side above loaded water line	3.5	0.02
	Bottom aft in way of rudder	10.0	0.10
Deck	Strength deck weather part forward of amidships	3.0	0.03
	Strength deck weather part aft of amidships	2.5	0.02

3.3.5.2 Απαιτούμενο πάχος λόγω κάμψης

Ο DNV πέρα από τη γενική απαίτηση για το ελάχιστο πάχος πλάκας, δίνει δύο ακόμα σχέσεις οι οποίες εξαρτώνται από τις ασκούμενες πιέσεις. Η μια αφορά την πίεση λόγω κρουστικών φορτίσεων στη γάστρα, ενώ η δεύτερη είναι το ελάχιστο πάχος που καλείται να έχει μια πλάκα για να αντέξει την κάμψη που υφίστανται λόγω της ύπαρξης πλάγιας πίεσης.

$$t = \frac{s\sqrt{Cp}}{\sqrt{\sigma}} \text{ [mm]} \quad (3.43)$$

Όπου:

- C = Συντελεστής διόρθωσης για το λόγο ($=s/l$)

3.3.5.3 Απαιτούμενο πάχος λόγω σφυρόκρουσης

$$t = \frac{22,4k_r k_a s \sqrt{P_{sl}}}{\sqrt{\sigma_{sl}}} \text{ [mm]} \quad (3.44)$$

Όπου:

- k_a = Συντελεστής διόρθωσης για το 'aspect ratio' της πλάκας [m]
 $= (1.1 - 0.25 s/l)^2$
 = Maximum 1.0 for $s/l = 0.4$
 = Minimum 0.72 for $s/l = 1.0$
- k_r = Συντελεστής διόρθωσης για καμπύλες πλάκες [m]
 $= (1.1 - 0.25 s/l)^2$
 = Maximum 1.0 for $s/l = 0.4$
 = Minimum 0.72 for $s/l = 1.0$

Η παραπάνω σχέση εξαρτάται κι αυτή απ' το κράμα αλουμινίου που έχει επιλεγεί, μέσω της μέγιστης επιτρεπόμενης καμπτικής τάσης λόγω πίεσης 'σ', η οποία αναλύθηκε προηγουμένως. Και εδώ έχει σημασία η ισαπόσταση των ενισχυτικών s [m], ενώ p [$\frac{kN}{m^2}$] είναι η εκάστοτε πίεση που ασκείται στην πλάκα. Ο C είναι ένας συντελεστής, του οποίου η τιμή δίνεται από έναν πίνακα στους κανονισμούς και εξαρτάται από το λόγο της ισαπόστασης των ενισχυτικών s προς και το εύρος του ενισχυτικού l . Για λόγους απλότητας, ο συντελεστής C, επιλέγεται πάντα να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή του, δηλαδή ακολουθείται μια συντηρητική μέθοδος που έχει ως αποτέλεσμα για όλες τις περιπτώσεις $C=500$.

3.3.5.4 Απαιτήσεις ενισχυτικών λόγω κάμψης (DNV)

Για τα ενισχυτικά μιας κατασκευής ο DNV ορίζει μια απαίτηση ροπής αντίστασης, έτσι ο εκάστοτε σχεδιαστής καλείται να επιλέξει μια γεωμετρία διατομής, η οποία σε συνδυασμό με το συνεργαζόμενο έλασμα, θα ικανοποιεί την παραπάνω απαίτηση. Ο νηογώμονας ακολουθώντας την λογική που χρησιμοποίησε για τα πάχη πλακών, έχει δύο απαιτήσεις, μία για πίεση κρουστικών φορτίων στη γάστρα και μία λόγω κάμψης από πλευρική πίεση. Σύμφωνα λοιπόν με τον DNV, τα ενισχυτικά που δέχονται πλευρική πίεση πρέπει να παρουσιάζουν ελάχιστη ροπή αντίστασης που δίνεται απ' τη σχέση:

$$Z = \frac{ml^2sp}{\sigma} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (3.45)$$

Η παραπάνω σχέση εκφράζει την εξάρτηση της από το επιλεγμένο κράμα αλουμινίου μέσω της μέγιστης επιτρεπόμενης καμπτικής τάσης που αναλύθηκε προηγουμένως. Πέρα από την τιμή της πίεσης p [$\frac{kN}{m^2}$], η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του ενισχυτικού εξαρτάται και απ' την ισαπόσταση s [m] και το εύρος του ενισχυτικού l [m], όπου για μεγαλύτερες τιμές αυτών θα προκύψει αυξημένη απαίτηση για το ενισχυτικό καθώς είτε θα δέχεται μεγαλύτερη φόρτιση ή θα έχει εκτενέστερη περιοχή που θα πρέπει να στηρίζει. Τέλος μέσω του συντελεστή καμπτικής ροπής m , λαμβάνεται υπόψη το τμήμα της κατασκευής που ενισχύεται από το ενισχυτικό, μιας και η τιμή του είναι διαφορετική για το καθένα.

Πίνακας 3.26: DNV – Επιτρεπόμενη καμπτική τάση λόγω πίεσης ‘σ’

Item	m
Continuous longitudinal members	85
Non-continuous longitudinal members	100
Transverse members	100
Vertical members, ends fixed	100
Bottom longitudinal members	85
Bottom transverse members	100
Side longitudinal members	85
Side vertical members	100
Deck longitudinal members	85
Deck transverse members	100

- Effective plate flange:

Όπως προαναφέρθηκε, η παραπάνω απαίτηση αφορά τη διατομή του ενισχυτικού μαζί με τη συνεργαζόμενη πλάκα. Το πλάτος της συνεργαζόμενης πλάκας υπολογίζεται ως εξής:

$$b_e = C b \quad (3.46)$$

Στην παραπάνω σχέση 3.46, b είναι το ημι-άθροισμα των αποστάσεων σε κάθε πλευρά, από το επόμενο στοιχείο και C ένας συντελεστής που προκύπτει απ’ τον παρακάτω πίνακα, όπου a η απόσταση μεταξύ δύο μηδενισμών της καμπτικής ροπής και r ο αριθμός των σημείων φόρτισης.

Πίνακας 3.27: DNV - Υπολογισμός του συντελεστή C της συνεργαζόμενης πλάκας

a/b	0	1	2	3	4	5	6	>=7
C (r>6)	0.00	0.38	0.67	0.84	0.93	0.97	0.99	1.00
C (r=5)	0.00	0.33	0.58	0.73	0.84	0.89	0.92	0.93
C (r=4)	0.00	0.27	0.49	0.63	0.74	0.81	0.85	0.87
C (r<3)	0.00	0.22	0.40	0.52	0.65	0.73	0.78	0.80

3.3.5.6 Απαιτήσεις ενισχυμένων νομέων και δοκαριών (DNV)

- Ελάχιστο πάχος:

$$t = \frac{t_0 + kL}{\sqrt{f}} \frac{s}{s_R} \quad [\text{mm}] \quad (3.49)$$

Πίνακας 3.28: DNV – Τιμές t_0 & k

Στοιχείο	t_0	k	
Girders and stiffeners	Bottom centre girder	3.0	0.05
	Bottom side girders, floors, brackets, and stiffeners	3.0	0.03
	Side, deck and bulkhead longitudinal girders	3.0	0.02
	Peak girders and stiffeners	3.0	0.03
	Longitudinals	3.0	0.03

- Επιτρεπόμενη τάση:

Πίνακας 3.29: DNV – Τιμές t_0 & k

Στοιχείο	Web frames and girders		
	Bending stress (N/mm ²)	Shear stress (N/mm ²)	Equivalent stress (N/mm ²)
Dynamic loads	180f ₁	90f ₁	200f ₁
Sea/static loads	160f ₁	90f ₁	180f ₁

- Απαιτήσεις αντοχής:

Στα δοκάρια (girders και beams) στηρίζονται τα υπόλοιπα ενισχυτικά για να μειώσουν το ανυποστήρικτο μήκος τους. Στην ουσία τα δοκάρια είναι ενισχυτικά, με μεγαλύτερες όμως απαιτήσεις όσον αναφορά τη ροπή αντίστασης της διατομής τους, καθώς εκείνα είναι τα λεγόμενα πρωτεύοντα ενισχυτικά (primary supporting members) της κατασκευής. Ο DNV είναι απ' τους νηογνώμονες που εξετάζουν αυτά τα μεγαλύτερα ενισχυτικά με διαφορετικές απαιτήσεις απ' τα συνηθισμένα, με την προϋπόθεση για ελάχιστη ροπή αντίστασης, όπως έχει ορίσει ώστε να μη διαφέρει πάρα πολύ απ' την αντίστοιχη των ενισχυτικών.

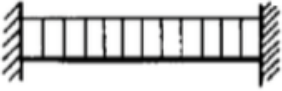
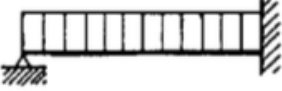

$$Z = \frac{mS^2bp}{\sigma} [\text{cm}^3] \quad (3.50)$$

Η σχέση 3.51 παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την 3.50 και αφορά και εκείνη τη διατομή σε συνδυασμό με τη συνεργαζόμενη πλάκα, το πλάτος της οποίας υπολογίζεται με όμοιο τρόπο. Και στις δύο σχέσεις έχουμε την μέγιστη επιτρεπόμενη καμπτική τάση σ , την ασκούμενη πίεση p και το συντελεστή m . Στην ουσία πρόκειται για ισοδύναμες σχέσεις διότι στην 3.50 αντί για το εύρος l και την ισαπόσταση s των ενισχυτικών, χρησιμοποιείται το εύρος του δοκαριού S [m] και το b [m], που είναι το πλάτος της φορτισμένης επιφάνειας, δηλαδή το ημι-άθροισμα των ευρών των στηριγμένων ενισχυτικών. Ο DNV ορίζει μία ακόμη απαίτηση για τα δοκάρια σε σχέση με τα απλά ενισχυτικά, όμως δεν αφορά την ροπή αντίστασης, αλλά την επιφάνεια του κορμού του δοκαριού (A_W – effective web area):

$$A_W = \frac{10(k_s S b p - a \tau)}{\tau} [\text{cm}^2] \quad (3.51)$$

Εδώ επίσης χρησιμοποιείται η ασκούμενη πίεση P [kN/mm²] το εύρος του δοκαριού S [m] και το πλάτος της φορτισμένης επιφάνειας [m]. Ο κορμός του ενισχυτικού δεν παραλαμβάνει τις καμπτικές τάσεις, αλλά τις διατμητικές, γι' αυτό σ' αντίθεση με την απαίτηση της ροπής αντίστασης αντί για την καμπτική τάση σ , χρησιμοποιείται η μέγιστη επιτρεπόμενη διατμητική τάση του υλικού τ , που προκύπτει με τη βοήθεια του συντελεστή f_1 $\tau = 90 f_1$. Επίσης για τον υπολογισμό της παραπάνω απαίτησης χρειάζεται επιπλέον να καθοριστούν ο διατμητικός συντελεστής k_s , που εξαρτάται απ' τις στηρίξεις του ενισχυτικού, ο αριθμός a , που είναι τα ενισχυτικά που υπάρχουν ανάμεσα στο δοκάρι και την κοντινότερη στήριξη και το μέσο φορτίο τ που καλούνται τα παραπάνω ενισχυτικά να αντιμετωπίσουν.

Πίνακας 3.30: LR – Τιμές του m και k_s ανάλογα με τις οριακές συνθήκες

Load and boundary conditions			Bending moment and shear force factors		
Position			1	2	3
1	2	3	$m1$	$m2$	$m3$
Support	Field	Support	ks_1	-	ks_3
			85 0.50	42	85 0.50
			0.38	70	1.25 0.63
			0.50	125	0.50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

4.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιήθηκε ο καθορισμός και η εφαρμογή των απαιτήσεων που προδιαγράφουν οι νηογνώμονες, ενώ στο Κεφάλαιο 2 έχει προηγηθεί αναφορά των παραδοχών που δικαιολογεί τον περιορισμό της παρούσας μελέτης ως προς τον κατασκευαστικό σχεδιασμό της γάστρας, για το υπό μελέτη σκάφος «Explorer 70E». Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα σχεδιαστούν για το υπό μελέτη σκάφος τα ενισχυτικά, εφαρμόζοντας διαφορετικά σενάρια ως προς την κατασκευαστική διάταξη των στοιχείων. Η διαδικασία έχει αυτοματοποιηθεί ώστε να εκτελείται αυτόματα μέσω κατάλληλου κώδικα σε περιβάλλον MATLAB, ο οποίος αφενός κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής για να μειωθεί κατά πολύ ο χρόνος υπολογισμών, αφετέρου για να μπορούν να δοκιμαστούν περισσότερα από 1 σενάρια κατασκευαστικής διαμόρφωσης και να πραγματοποιηθεί σύγκριση των δύο κανονισμών.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ενίσχυση όλης της γάστρας σύμφωνα με τους περιορισμούς που έχει θέσει ο σχεδιαστής όσον αφορά το γενικό ‘Structural Configuration’ του σκάφους. Με βάση την κλασική σχεδίαση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.7 του Κεφαλαίου 2, θα διαστασιολογηθεί ο πυθμένας, η πλευρά και το κατάστρωμα. Οι πλάκες για κάθε περιοχή του σκάφους που μελετάται είναι συνάρτηση των ενισχύσεων, δηλαδή ο αριθμός των διαμήκων ενισχυτικών θα καθορίσει πόσες πλάκες θα υπάρχουν κατά το εγκάρσιο και το μήκος αυτών θα προκύψει από τα εγκάρσια (απλά ενισχυτικά). Καταστρώνοντας τις συνοριακές συνθήκες για όλα τα σενάρια που θα ακολουθήσουν, παρουσιάζονται οι πιέσεις, τα πάχη των πλακών και οι απαιτήσεις των ενισχυτικών που αναλύθηκαν στο 3^ο κεφάλαιο. Οι τιμές των στοιχείων αυτών, αντλήθηκαν από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τον κώδικα και στη συνέχεια με τη βοήθεια πινάκων που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel συγκεντρώθηκαν όλα τα μεγέθη για να πραγματοποιηθεί η διαστασιολόγηση. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι εγκάρσιοι νομείς κατά το διάμηκες του σκάφους δεν είναι επιτρεπτό να αλλάζουν διαμήκη θέση διότι σε αυτό το σημείο έχουν οριστεί φρακτές κατά τον κατασκευαστή. Η παρούσα μελέτη δεν περιλαμβάνει φρακτές για τον διαχωρισμό των διαμερισμάτων αλλά περιορίζεται στην τοποθέτηση ενισχυμένων εγκάρσιων νομέων (Web Frames).

4.2 Κατασκευή διαμήκων ενισχυτικών

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται η κατασκευή των διαμήκων ενισχυτικών στη γάστρα με βάση το 1^ο σενάριο. Παρακάτω, καθώς παρουσιάζονται οι διάφορες όψεις του σκάφους (βλέπε σχ. 4.8, 4.9, 4.10), γίνεται εύκολα ευδιάκριτο το πλήθος των ενισχυτικών που περιβάλλουν τη γάστρα. Θα συμπεράνει κανείς ότι παραλήφθηκε να γίνει αναφορά στα ενισχυτικά που βρίσκονται στη ‘Centre Line’ (καταστρώματος και πυθμένα), διότι εκτός του

ενισχυτικού που βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του 'deck' και είναι πανομοιότυπο με τα υπόλοιπα διαμήκη, το ενισχυτικό του πυθμένα αντιπροσωπεύει την τρόπιδα στο 'keel' του σκάφους. Το μεγάλο διάμηκες δοκάρι (Girder), απαιτείται να βρίσκεται εκεί στις περισσότερες σχεδιάσεις, καθώς πάνω σ' αυτό ξεφορτώνουν (το φορτίο) τα εγκάρσια (Web frames).

Στο σχήμα 4.1 απεικονίζεται το κατάστρωμα με τον ακριβή αριθμό των διαμήκων ενισχυτικών (για ολόκληρο το σκάφος) τα οποία εκτείνονται μέχρι την πλώρη. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ξανά ότι όλα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς του 1^{ου} σεναρίου καθώς επίσης και των υπολοίπων που θα προκύψουν παρακάτω, μελετάται το μισό σκάφος (από το chine μέχρι τη centre line) όπως έχει γίνει αναφορά προηγουμένως στο κεφάλαιο 2 (παραδοχές).

Εν συνεχεία η απόσταση μεταξύ των ενισχυτικών (spacing) στο κατάστρωμα είναι 700 mm και ως προς τις πλάκες, μήκος ανάλογο με το 'spacing' των εγκάρσιων ενισχυτικών τα οποία κόβονται από τα διαμήκη. Το 1^ο σενάριο αποτελεί μια από τις πιο συντηρητικές σχεδιάσεις διότι περιλαμβάνει τα περισσότερα ενισχυτικά κατά το διάμηκες και κατά το εγκάρσιο.



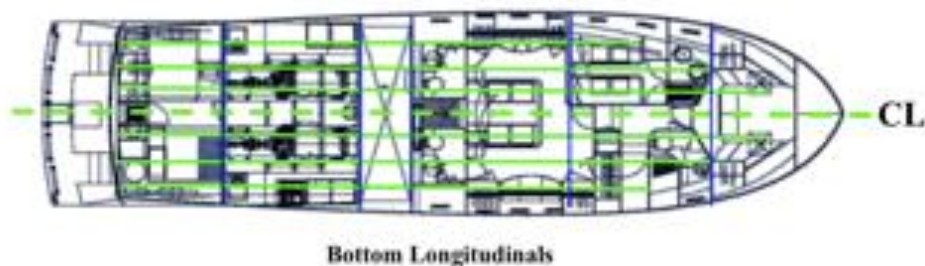
Σχήμα 4.1: Διαμήκη ενισχυτικά στο κατάστρωμα του σκάφους

Η πλευρά απεικονίζεται στο σχήμα 4.2, αποτελείται από συνοριακές συνθήκες οι οποίες εκτείνονται από το 'chine' μέχρι και το κατάστρωμα η αλλιώς μέχρι το κοίλο του σκάφους. Σύμφωνα με το 1^ο σενάριο στην πλευρά τοποθετήθηκαν δύο διαμήκη ενισχυτικά (longitudinal) με μεταξύ τους απόσταση (spacing) 600 mm και άνοιγμα (span) επίσης όπως ορίζει το κάθε διαμέρισμα της κατασκευής. Προφανώς τα πλάτη διαδοχικών ενισχυτικών δεν προκύπτουν από τη διάσταση του κοίλου που είναι ίση με 3,2 m, αλλά από την αφαίρεση του βυθίσματος από την αρχική διάσταση (Πλευρά=D-Tx). Ίσως εδώ ή στο κεφάλαιο που εφαρμόζονται οι κανονισμοί θα πρέπει να γίνει περιγραφή για το πώς ασκούνται οι πιέσεις στην πλευρά.



Σχήμα 4.2: Διαμήκη ενισχυτικά στην πλευρά του σκάφους

Στο σχήμα 4.3 απεικονίζεται ο πυθμένας με τον ακριβή αριθμό των διαμήκων ενισχυτικών (για ολόκληρο το σκάφος) τα οποία σβήνουν ή σταματούν μπροστά στην πλώρη καθώς μικραίνει το πλάτος της κατασκευής. Για τεχνικούς λόγους όπως έχει προαναφερθεί δεν υπάρχουν σχέδια για να αντιληφθούμε τη γεωμετρία του πυθμένα, οπότε υποτίθεται ότι με βάση την κλασική σχεδίαση της γάστρας, ο πυθμένας δεν θα έχει τις πλάκες του σε οριζόντιο επίπεδο αλλά σε κεκλιμένο. Εύκολα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν τη φυσική του προβλήματος (υδροστατική πίεση), τα ελάσματα που βρίσκονται πιο κοντά στη 'Centre Line' θα δέχονται μεγαλύτερες φορτίσεις σε αντίθεση με τα ελάσματα που απομακρύνονται από την τρόπιδα. Η απόσταση μεταξύ ενισχυτικών (spacing) στον πυθμένα είναι 700 mm και ως προς τις πλάκες το μήκος είναι ανάλογο με το 'spacing' των εγκάρσιων ενισχυτικών τα οποία κόβονται από τα διαμήκη.



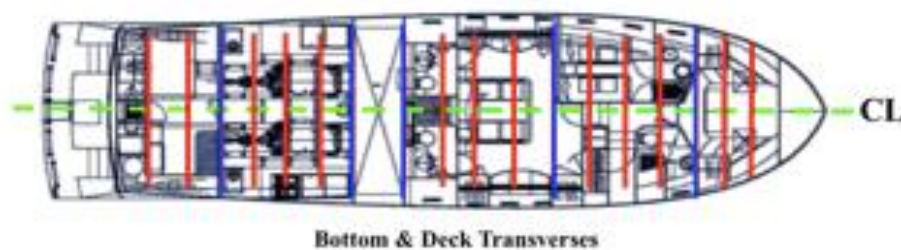
Σχήμα 4.3: Διαμήκη ενισχυτικά στον πυθμένα του σκάφους

4.3 Κατασκευή εγκάρσιων ενισχυτικών

Αρχικά στο σκάφος σχεδιάστηκαν τα υπονήφια εγκάρσια ενισχυτικά όπου κρίθηκε απαραίτητο να τοποθετηθούν χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί του κατασκευαστή. Επομένως οι περιοχές που αποτελούνται από φρακτές ή 'web frames' απεικονίζονται στο παρακάτω σχέδιο (βλέπε σχήμα 4.4), συμπεριλαμβανομένων και των δευτερευόντων εγκάρσιων ενισχυτικών. Επιπλέον τα εγκάρσια ενισχυτικά (transverses) δεν μπορεί να έχουν ισάποστη (spacing) λιγότερη από 1000 mm, εκτός από το πλωριό τμήμα το οποίο θα έχει 3 μικρότερες για να μπορεί να διαιρεθεί σε διαμερίσματα όλο το μήκος του πλοίου. Από την άλλη πλευρά, το άνοιγμα των απλών ενισχυτικών (transverses) περιορίζονται στο μήκος που καθορίζουν τα πρωτεύοντα διαμήκη. Οι νομείς στον πυθμένα και στο κατάστρωμα εκτείνονται έως ένα μήκος που αναφέρεται στην εκάστοτε περιοχή που μελετάται, δηλαδή ο

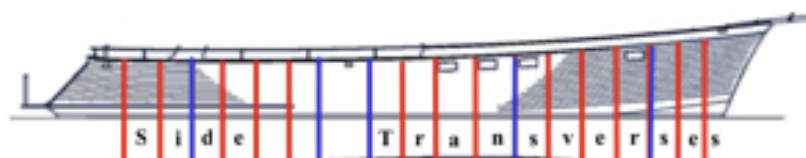
νομέας θα έπρεπε να διατρέχουν ολόκληρο το μήκος κατά το εγκάρσιο, όμως στην προκειμένη περίπτωση τα αποτελέσματα που εξήγαγε το πρόγραμμα του MATLAB (κώδικας), έβγαζε πολύ μεγάλες τιμές για το δοκάρι (πρωτεύον ενισχυτικό). Έτσι αποφασίστηκε να μειωθεί το ανυποστήρικτο μήκος το οποίο περιορίστηκε στο μισό του σκάφους, που αποτελεί ούτως η άλλως προσέγγιση του προβλήματος γενικά εφόσον τα αποτελέσματα που εξάγονται στην παρούσα διπλωματική αφορούν το μισό του σκάφους.

Καθώς πλέον είναι ευδιάκριτο για το ποια ενισχυτικά είναι πρωτεύοντα και ποια δευτερεύοντα, αυτομάτως κατανοείται καλύτερα ποια ενισχυτικά δεν έχουν περιορισμούς ως προς τον κατασκευαστή. Επομένως τα μόνα ενισχυτικά που μπορούν να μειωθούν ή να αυξηθούν ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο, είναι τα κόκκινα (Transverses), χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα κόκκινα δεν μπορούν να γίνουν μπλε (Web Frames).



Σχήμα 4.4: Εγκάρσια ενισχυτικά στον πυθμένα και στο κατάστρωμα του σκάφους

Στα πλευρικά ελάσματα η ισαπόσταση των εγκάρσιων ενισχυτικών παραμένει σταθερή (1m), εκτός από τρία προωραία διαμερίσματα τα οποία έχουν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους. Στο πρυμναίο διαμέρισμα ο τελευταίος νομέας απουσιάζει διότι στη συγκεκριμένη θέση τα πλευρικά ελάσματα συνδέονται μεταξύ τους μέσω του καθρέφτη του σκάφους ο οποίος υπολογίζεται με τις σχέσεις που ορίζουν οι νηογνώμονες για την πλευρά.



Σχήμα 4.5: Εγκάρσια ενισχυτικά στην πλευρά του σκάφους

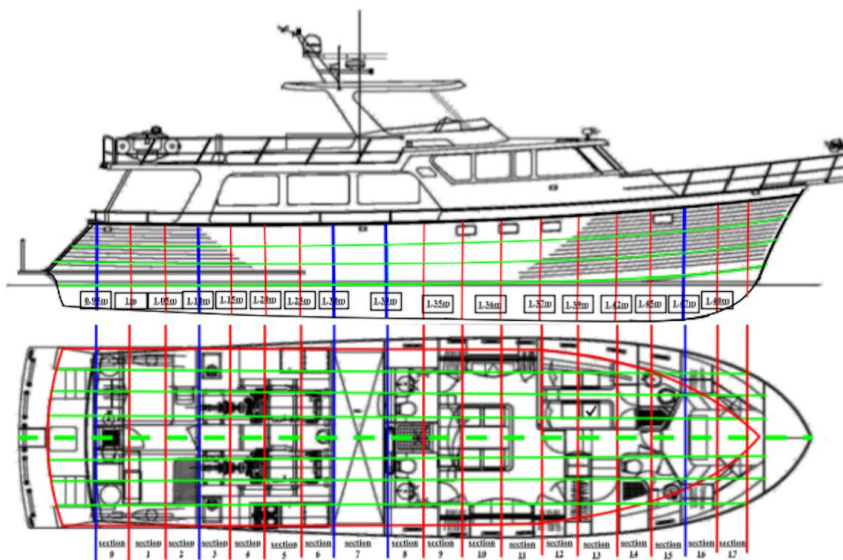
4.4 Κατασκευή γάστρας σκάφους

Η γάστρα χωρίζεται σε τρία τμήματα για να σχεδιαστεί και να ενισχυθεί καταλλήλως. Οι κανονισμοί μελετούν το πρόβλημα σε κάθε περιοχή (πυθμένας, πλευρά, κατάστρωμα), ανά διαμέρισμα, πράγμα που καθιστά την όλη διαδικασία πιο ασφαλή καθώς οι πιέσεις υπολογίζονται για κάθε πλάκα στη διαμήκη και εγκάρσια θέση του πλοίου αναλόγως τον νηογνώμονα. Μ' αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα να εξαχθούν αποτελέσματα τα οποία αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες θέσεις των υπό εξέταση περιοχών, εξετάζοντας έτσι τις εν

δυνάμει επικίνδυνες περιοχές. Δηλαδή που βρίσκονται οι χειρότερες ως προς το πάχος πλάκες και τα χειρότερα ως προς τη ροπή αντίστασης ενισχυτικά.

Αυτό πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο μέσω συντελεστών που εμφανίζονται ανάλογα το τμήμα που εξετάζεται καθώς και τη θέση των στοιχείων. Όλοι οι κανονισμοί υπολογίζουν υδροστατικές και υδροδυναμικές πιέσεις αλλά η πίεση που θα εξετάσει αν τα ελάσματα είναι επιρρεπή σε αστοχία είναι η σφυρόκρουση. Ο κάθε νηογνώμονας ορίζει τις περιοχές όπου εκτείνεται η συγκεκριμένη πίεση στη διαμήκη αλλά και κατακόρυφη θέση. Δηλαδή κάποιιοι κανονισμοί εξετάζουν την σφυρόκρουση από το μέσο του πλοίου μέχρι την πλώρη ($100L_{WL}$), ενώ άλλοι από το $0.75 L_{WL}$ του σκάφους μέχρι πλώρα. Αυτές οι υποθέσεις λαμβάνονται υπόψη για τον πυθμένα, το ίδιο όμως συμβαίνει και για την πλευρά και για κάποιους νηογνώμονες ακόμη και για το κατάστρωμα για την συγκεκριμένη περιοχή που μελετάται.

Η επιλογή της συγκεκριμένης ενίσχυσης είναι αποτέλεσμα αφενός των περιορισμών του κατασκευαστή και αφετέρου των θεωρητικών σεναρίων (1^ο σενάριο), που δημιουργήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το κέλυφος της γάστρας, αποτελούμενο από τα διαμήκη και εγκάρσια ενισχυτικά, τους νομείς και την τρόπιδα (Girder), απεικονίζονται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Πλέγμα – Κατασκευαστική διαμόρφωση της γάστρας συνολικά

Έχοντας καθορίσει το πλήθος και τη θέση των ενισχυτικών και κατ' επέκταση των πλακών, δημιουργείται πλέγμα που περιβάλλει τη γάστρα του «Explorer 70E», απεικονίζοντάς τη σε διαμερίσματα (sections).

4.5 Case study 1^ο σενάριο (Αξιολόγηση αποτελεσμάτων νηογνώμωνων)

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί ανάλυση του 1^{ου} σεναρίου, με σκοπό να γίνει κατανοητή η διάταξη του σκάφους και ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζει ο κώδικας το

πρόβλημα. Η ανάλυση αυτή θα πραγματοποιηθεί περιγράφοντας τη διαδικασία που ακολούθησε ο κώδικας, έτσι με αυτό τον τρόπο θα μπορεί ο αναγνώστης να κατανοήσει πως είναι διαμορφωμένο το σκάφος.

Αρχικά ο χρήστης καλείται να δώσει τον αριθμό των διαμήκων ενισχυτικών για τον πυθμένα, την πλευρά και το κατάστρωμα. Προφανώς ο αριθμός των ενισχυτικών που ανήκει στον πυθμένα, είναι ίδιος με αυτόν του καταστρώματος, η πλευρά όμως μπορεί να είναι ανεξάρτητη ως προς τον αριθμό.

Αφού οριστούν τα διαμήκη ενισχυτικά, ο κώδικας ρωτάει τον χρήστη τον αριθμό των εγκάρσιων ενισχυτικών (transverses) ανά περιοχή (region) του σκάφους (βλέπε σχ. 4.7). Ενώ έχει τοποθετηθεί ο αριθμός των εγκάρσιων ενισχυτικών ανά περιοχή, για να ολοκληρωθεί η διαδικασία του 1^{ου} σεναρίου, ο χρήστης πρέπει να δώσει στον κώδικα στοιχεία ως προς τα ενισχυτικά που επέλεξε. Δηλαδή θα πρέπει να ορίσει τον αριθμό των εγκάρσιων που τοποθετήθηκαν ανά περιοχή του σκάφους και να επιλέξει ποια από αυτά θα είναι πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα. Πιο συγκεκριμένα τα ενισχυτικά που δεν μπορούν να αλλάξουν προφίλ είναι τα μεγάλα εγκάρσια (web frames), τα οποία ο κώδικας τα ενσωματώνει πάνω στο πλοίο χωρίς να μπορεί να τους αλλάξει θέση ο σχεδιαστής, γιατί έτσι τα έχει ορίσει η κατασκευάστρια εταιρεία. Ο σχεδιαστής δεν περιορίζεται στο να μετατρέψει τα απλά δευτερεύοντα ενισχυτικά σε εγκάρσιους νομείς (Web frames), όμως ενισχύοντας τη γάστρα περισσότερο έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί το βάρος της.



Σχήμα 4.7: Περιοχές του σκάφους προς ενίσχυση

4.5.1 Lloyd's Register

4.5.1.1 Φορτίσεις Πλακών Γάστρας (LR)

Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, για να λάβει χώρα ο σχεδιασμός του υπό μελέτη σκάφους, θα πρέπει πρώτα ο σχεδιαστής να γνωρίζει τις πιέσεις – φορτίσεις που θα ασκηθούν στη γάστρα. Οι πιέσεις που παρατίθενται παρακάτω (βλέπε πίνακα 4.1), είναι οι τιμές που εξήγαγε ο κώδικας βάσει συγκεκριμένων 'sea states' που έχει το σκάφος (ταχύτητα, σημαντικό ύψος κύματος και περιοχή λειτουργίας). Εφόσον έχει οριστεί στην αρχή του κεφαλαίου η γεωμετρία της γάστρας με τη βοήθεια σχημάτων (1^ο σενάριο), αναλύονται στη συνέχεια τα αποτελέσματα του πίνακα και πραγματοποιείται σχολιασμός για τις εν δυνάμει χειρότερες περιοχές που έχουν μέγιστες τιμές.

Πίνακας 4.1: LR – Πιέσεις στο περίβλημα των πλακών

Pressures [kN/m ²] (Lloyd's Register)											
Sections	Bottom plating				Side plating			Deck plating			
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
1	37,4	34,8	32,2	29,6	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
2	37,8	35,1	32,4	29,6	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
3	38,2	35,3	32,5	29,7	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
4	38,5	35,6	32,7	29,7	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
5	38,9	35,9	32,8	29,8	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
6	39,3	36,1	33,0	29,8	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
7	39,7	36,4	33,1	29,9	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
8	39,9	36,6	33,2	29,9	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
9	40,2	36,8	33,4	30,0	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
10	40,5	37,0	33,5	30,0	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
11	40,7	37,1	33,6	30,0	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
12	40,2	36,8	33,4	30,0	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
13	39,9	36,6	33,3	29,9	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
14	39,5	36,3	33,1	29,9	28,3	21,9	15,6	11,6	11,6	11,6	11,6
15	42,4	39,3	36,2	33,2	31,6	24,2	16,7	11,6	11,6	11,6	11,6
16	47,3	44,3	41,3	38,3	36,8	27,6	18,4	11,6	11,6	11,6	11,6
17	51,3	48,5	45,7	42,8	41,4	31,4	21,3	14,1	14,1	14,1	14,1
18	55,1	52,4	49,6	46,9	45,6	34,8	24,0	16,6	16,6	16,6	16,6
19	53,8	52,7	51,5	50,3	49,7	37,6	25,4	16,6	16,6	16,6	16,6

Θα συμπεράνει κανείς ότι οι τιμές του πίνακα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς δεν αντιπροσωπεύουν τα τμήματα της γάστρας αυτής καθαυτής. Αυτό συμβαίνει διότι ο κώδικας μελετάει το σκάφος ως ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο και τις πλάκες του ως μικρότερα ορθογώνια μέσα σε αυτό. Ο πίνακας 4.1 με τη μορφή που παρουσιάζεται δείχνει σε κάτοψη το σχέδιο του υπό μελέτη σκάφους δείχνοντας ότι η ακμή (chine) όσον αφορά τον πυθμένα αρχίζει να συγκλίνει προς το κέντρο που βρίσκεται η τρόπιδα, επομένως τα χρωματισμένα κουτάκια (βλέπε πίνακα 4.1) δεν αξιολογούνται στη συγκεκριμένη μελέτη γιατί είναι γεωμετρικά μικρότερα άρα δεν αποτελούν χειρότερη περίπτωση για τη σχεδίαση. Στα τελικά αποτελέσματα θα χρειαστεί να πραγματοποιηθεί μια ποσοστιαία μείωση ως προς τις πλάκες που δεν θα συμπεριληφθούν στον υπολογισμό του τελικού βάρους της γάστρας.

Στα αποτελέσματα του πίνακα 4.1 έχουν χρωματιστεί με κόκκινο οι μέγιστες τιμές των πιέσεων οι οποίες βρίσκονται κατά κύριο λόγο στην περιοχή σφυρόκρουσης. Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι στον πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μέγιστων πιέσεων που προέκυψαν κατά την ανάλυση των νηογνωμόνων. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που καταστρώθηκε ο συγκεκριμένος κώδικας, για να κρατάει την χειρότερη περίπτωση πίεσης ανάλογα με το τμήμα και τη θέση που εξετάζεται.

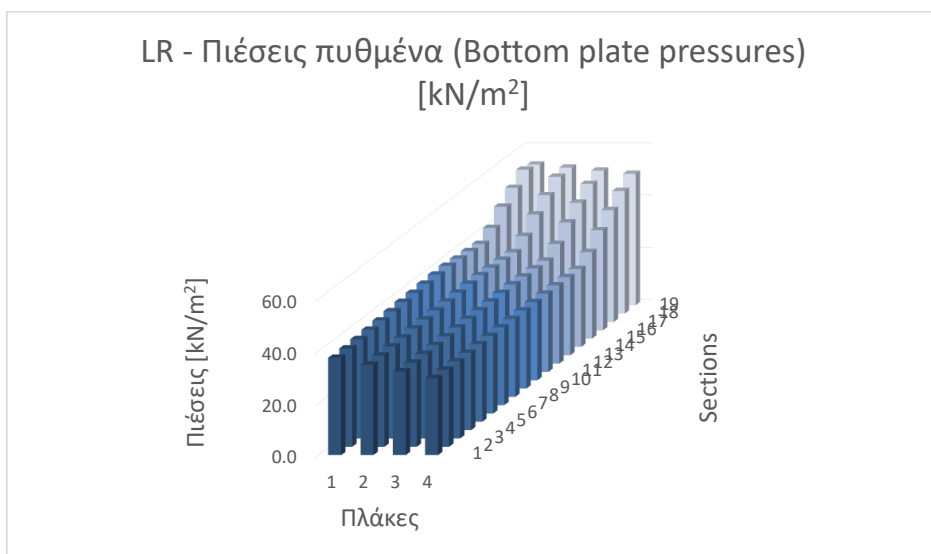
Το πόσο μεγάλη θα είναι μια πίεση που ασκείται σε μια πλάκα έχει να κάνει αφενός με τη γεωμετρία της και αφετέρου με την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Σε αυτό το σημείο να γίνει μια αναφορά στη διαμερισματοποίηση που κάνει ο κώδικας που δεν πραγματοποιήθηκε στο κεφάλαιο 2 των παραδοχών

Αρα αντιλαμβάνεται κάποιος ότι σε όλα τα διαμερίσματα από πρώτα μέχρι πλώρα παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση ως προς τις πιέσεις με εξαίρεση στα διαμερίσματα 13 & 14 (sections), όπου παρατηρείται μείωση κατά ελάχιστες μονάδες. Από το section 15 και πλώρα η αύξηση συνεχίζει και πάλι μέχρι το διαμέρισμα 18 όπου σημειώνεται η μεγαλύτερη πίεση στις πλάκες που βρίσκονται κοντά στη διαμήκη δοκό (Girder), οι οποίες είναι πιο βυθισμένες σε σχέση με τις διπλανές (κεκλιμένες πλάκες σε σχήμα V από την ακμή μέχρι την τρόπιδα).

4.5.1.2 Κατανομή Πιέσεων στη γάστρα (LR)

Με την μορφή διαγραμμάτων παρουσιάζεται η κατανομή των πιέσεων για τα 3 διαφορετικά τμήματα της γάστρας.

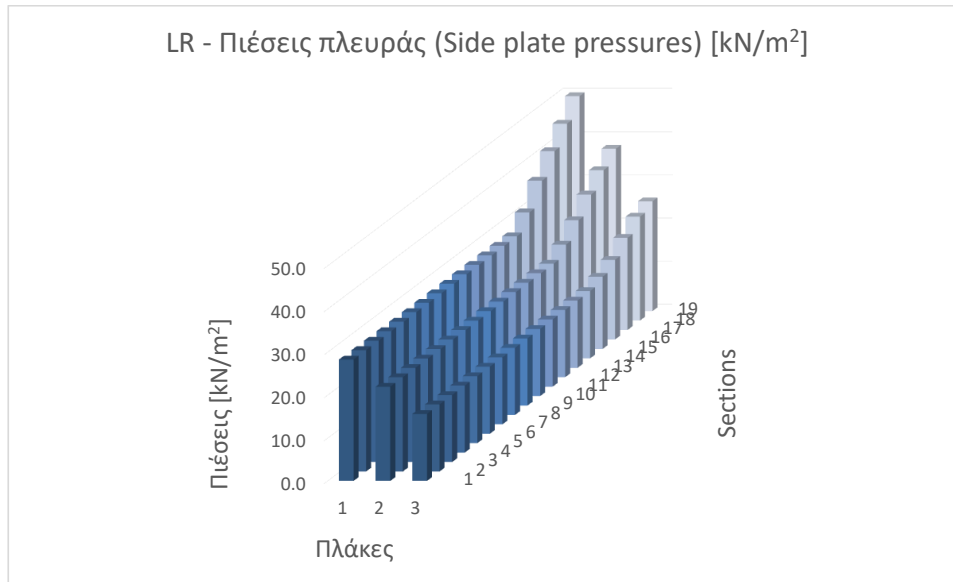
Στο σχήμα 4.8 φαίνεται ότι από την πρύμνη του σκάφους μέχρι και το 14^ο διαμέρισμα δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αύξηση των τιμών της φόρτισης παρά μονάχα στα ελάσματα που βρίσκονται μπροστά από το section 15. Ενώ προηγήθηκε περιγραφή στην προηγούμενη ενότητα με βάση τον πίνακα 4.1 για το ποιες πλάκες είναι οι χειρότερες και ποιες δεν συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς, θα πρέπει να αναφερθεί άλλη μια σημαντική παρατήρηση. Οι πλάκες που βρίσκονται δίπλα στην τρόπιδα, από την 1^η μέχρι την 4^η στο εγκάρσιο επίπεδο, παρουσιάζουν αυτές τις διαφορές λόγω των νηογνομόνων και φυσικά τη φυσική του προβλήματος. Η φυσική του προβλήματος εξετάζεται με βάση την υδροστατική, δηλαδή οι περισσότερο βυθισμένες πλάκες θα έχουν βάσει λογικής μεγαλύτερες πιέσεις όμως εφόσον ο σχεδιαστής μελετάει τον συγκεκριμένο σχεδιασμό με βάση τους νηογνόμονες, άλλες πιέσεις είναι σημαντικές σε αυτές τις περιοχές.



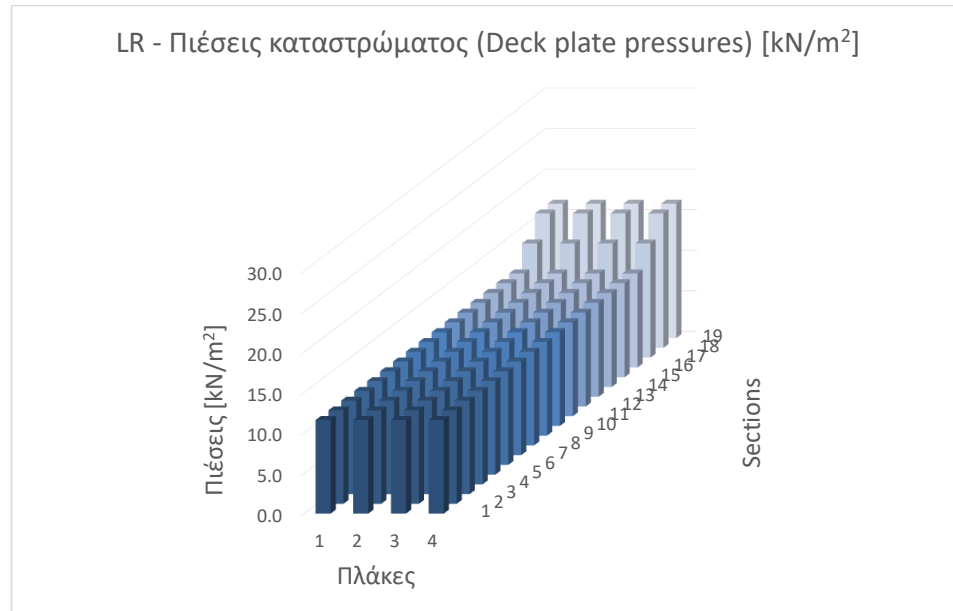
Σχήμα 4.8: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων πυθμένα - LR

Όσον αφορά την πλευρά και το κατάστρωμα παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται με αυτά που προηγήθηκαν στην ανάλυση του πυθμένα. Το μόνο που θα μπορούσε να επισημανθεί σε

αυτό το σημείο είναι μια μοναδική διαφορά που προκύπτει στα ελάσματα της πλευράς και του καταστρώματος διότι δεν βρίσκονται συνέχεια σε επαφή με το νερό οπότε οι κανονισμοί ορίζουν σχέσεις που υποθέτουν με βάση τη γεωμετρία αυτών των πλακών και το βύθισμα του σκάφους ότι θα εκτίθενται σε καταπόνηση κατά την εξέλιξη του σκάφους από μια κατάσταση θάλασσας σε μια άλλη.

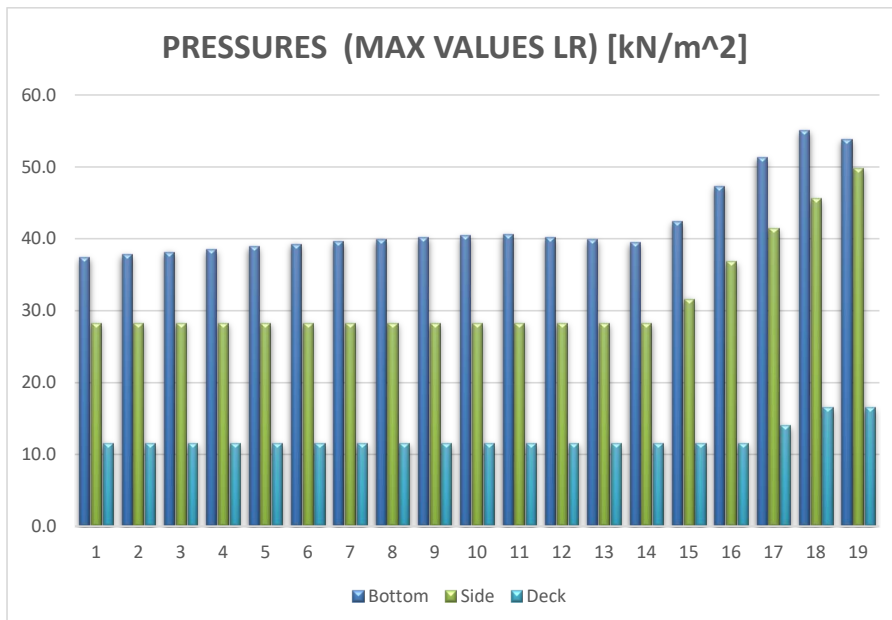


Σχήμα 4.9: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων πλευράς - LR



Σχήμα 4.10: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων καταστρώματος - LR

Στο διάγραμμα που απεικονίζεται παρακάτω με τη μορφή σχήματος παρατίθενται οι μέγιστες πιέσεις που παρουσιάστηκαν και προηγουμένως με τη μορφή πίνακα, για το περίβλημα όλων των τμημάτων της γάστρας.



Σχήμα 4.11: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων πιέσεων γάστρας - LR

4.5.1.3 Πάχη πλακών γάστρας (LR)

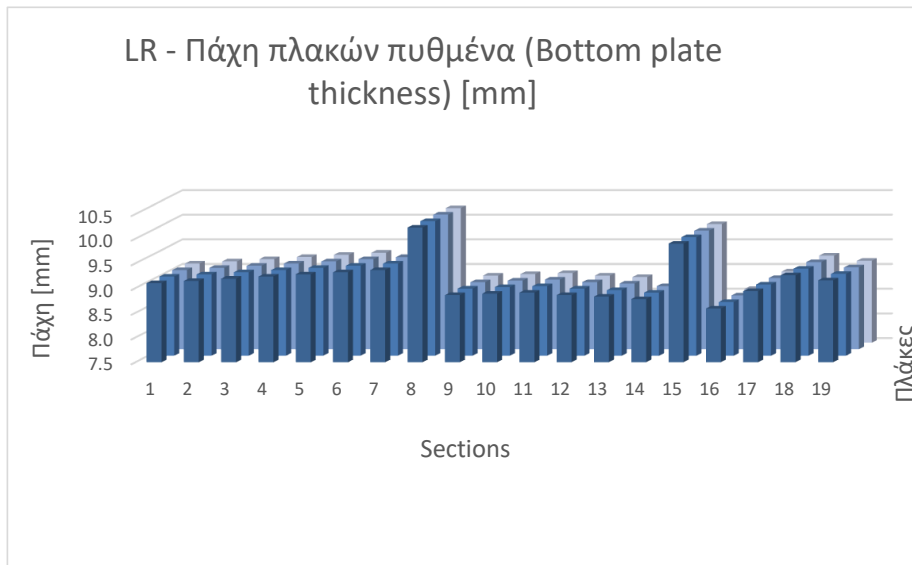
Στον πίνακα παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των παχών που προέκυψαν από τις πιέσεις των πλακών με σκοπό να διαστασιολογηθούν τα ελάσματα. Όπως θα παρατηρηθεί στο διαμέρισμα 8 έχουμε μια απότομη αύξηση του πάχους λόγω διαφορετικής γεωμετρίας, και παρατηρείται σε όλα τα τμήματα της γάστρας (πυθμένας, πλευρά, κατάστρωμα). Επίσης σημειώνεται με χρώμα κόκκινο στις πλάκες του πυθμένα κυρίως, η αμέσως επόμενη χειρότερη περίπτωση ως προς το πάχος και με πράσινο οι πλάκες που έχουν αρκετά χαμηλές τιμές για την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι οι συντελεστές του LR που συμπεριλαμβάνονται μέσα στη σχέση που δίνει το πάχος μιας πλάκας δεν βρίσκονται σε επικίνδυνη περιοχή σε σχέση με αυτήν της πλήρωσης.

Πίνακας 4.2: LR 1^ο Σενάριο –Πάχη πλακών στο περίβλημα της γάστρας

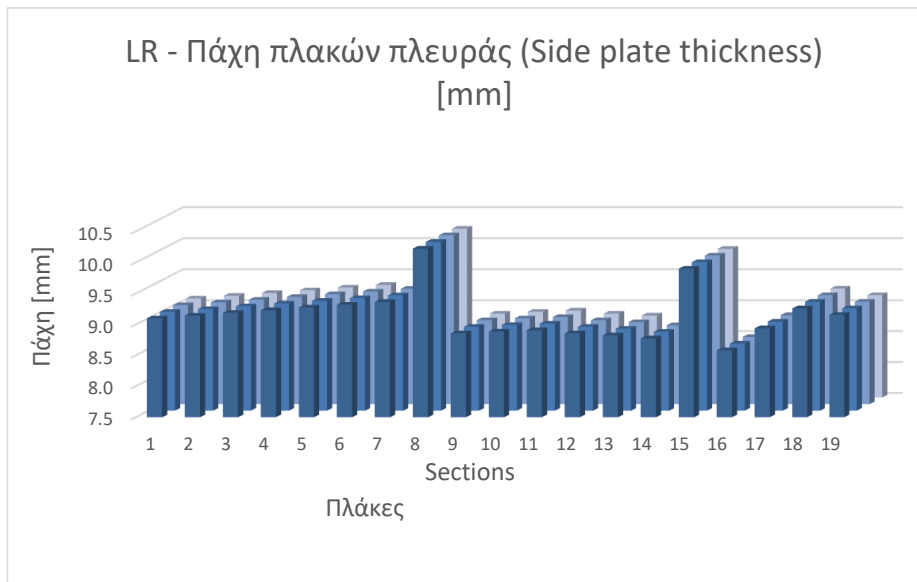
Thickness t [mm] (Lloyd's Register)											
Sections	Bottom plating				Side plating			Deck plating			
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
1	9,1	9,1	9,1	9,1	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
2	9,1	9,1	9,1	9,1	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
3	9,2	9,2	9,2	9,2	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
4	9,2	9,2	9,2	9,2	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
5	9,3	9,3	9,3	9,3	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
6	9,3	9,3	9,3	9,3	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
7	9,4	9,4	9,4	9,4	5,9	5,9	5,9	5,1	5,1	5,1	5,1
8	10,2	10,2	10,2	10,2	7,3	7,3	7,3	5,5	5,5	5,5	5,5
9	8,9	8,9	8,9	8,9	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
10	8,9	8,9	8,9	8,9	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
11	8,9	8,9	8,9	8,9	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
12	8,9	8,9	8,9	8,9	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
13	8,8	8,8	8,8	8,8	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
14	8,8	8,8	8,8	8,8	5,6	5,6	5,6	5,1	5,1	5,1	5,1
15	9,9	9,9	9,9	9,9	7,5	7,5	7,5	5,5	5,5	5,5	5,5
16	8,6	8,6	8,6	8,6	5,5	5,5	5,5	4,5	4,5	4,5	4,5
17	8,9	8,9	8,9	8,9	5,8	5,8	5,8	5,0	5,0	5,0	5,0
18	9,3	9,3	9,3	9,3	6,1	6,1	6,1	5,4	5,4	5,4	5,4
19	9,2	9,2	9,2	9,2	6,4	6,4	6,4	5,4	5,4	5,4	5,4

4.5.1.4 Κατανομή Παχών στη γάστρα (LR)

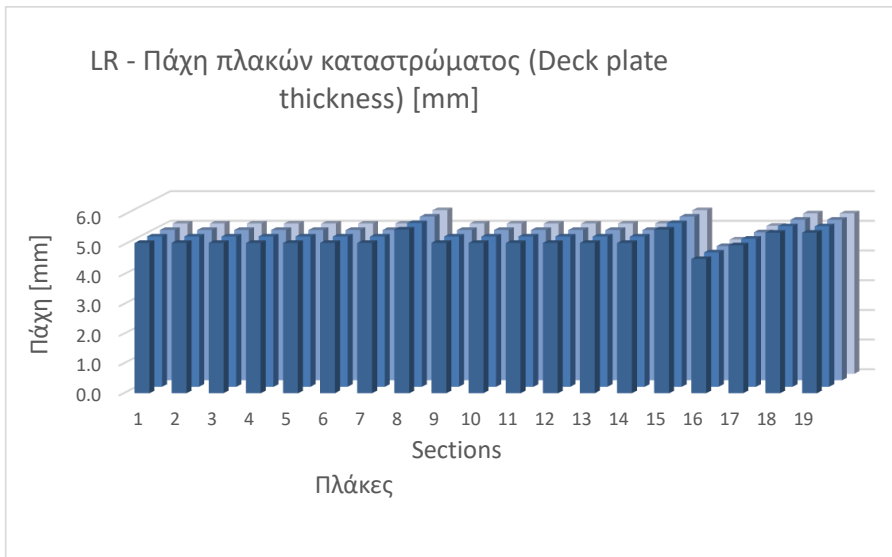
Όπως στην ενότητα των πιέσεων που απεικονίζουν μέσω διαγραμμάτων την κατανομή αυτών πάνω στη γάστρα, το ίδιο συμβαίνει και εδώ με την κατανομή των παχών βλέποντας τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 4.12: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών πυθμένα – LR



Σχήμα 4.13: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών πλευράς – LR

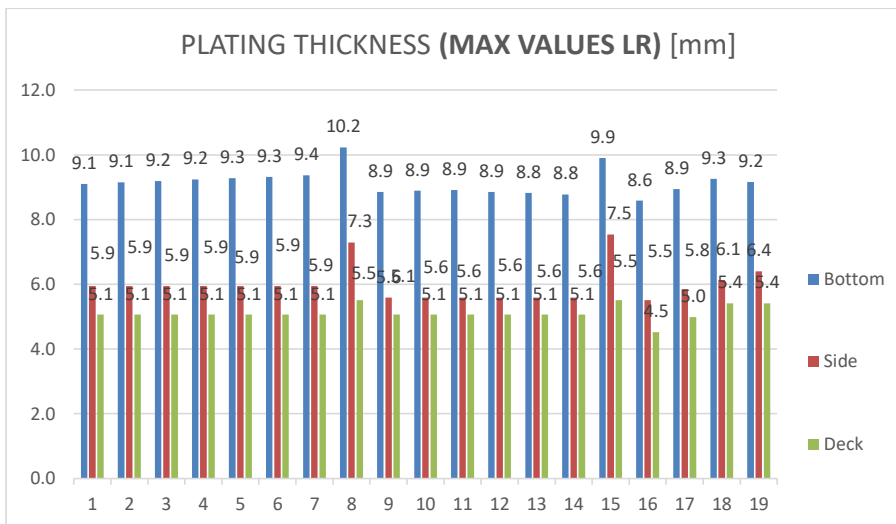


Σχήμα 4.14: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών καταστρώματος - LR

Είναι ξεκάθαρο ότι η επιλογή της χειρότερης πλάκας θα γίνει με βάση τα κριτήρια του πυθμένα και της πλευράς διαστασιολογώντας όλες τις πλάκες με το συγκεκριμένο πάχος.

Η δυνατότητα να διαστασιολογηθούν τα διάφορα τμήματα και περιοχές με διαφορετικό πάχος δεν δύναται στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής αφενός και αφετέρου η διαδικασία αυτή έχει να κάνει με τη βελτιστοποίηση ενός σχεδιασμού και όχι με τη σύγκριση βαρών με βάση κανονισμούς που προδιαγράφουν οι νηογνώμονες.

Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω απεικονίζονται μέσω του σχήματος 4.15 όλες οι απαιτήσεις των μέγιστων παχών για τα 3 τμήματα της γάστρας.

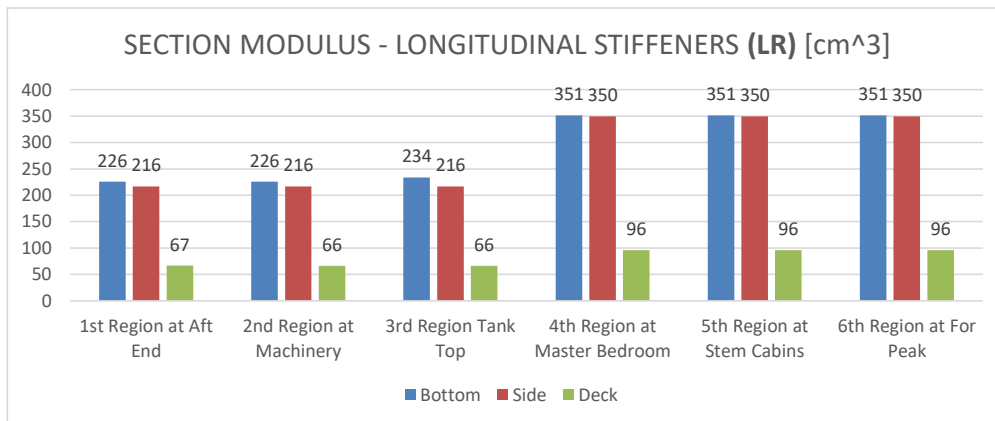


Σχήμα 4.15: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων παχών - LR

4.5.1.5 Απαιτήσεις ενισχυτικών (LR)

4.5.1.5.1 Διαμήκη ενισχυτικά

Εξετάζοντας τις απαιτήσεις που ορίζει ο LR για τη ροπή αντίστασης των ενισχυτικών σε σχέση με τις πιέσεις που έχουν προκύψει νωρίτερα στην ενότητα 4.1 (Case studies 1^ο σενάριο), για ολόκληρη τη γεωμετρία της γάστρας, μπορούν να προκύψουν τα αποτελέσματα που παρατίθενται παρακάτω στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus κατά το διάμηκες - LR

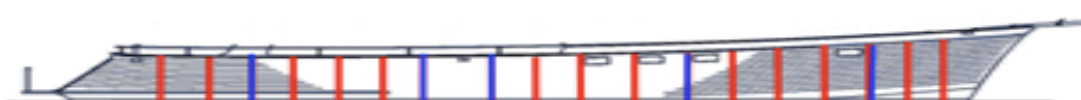
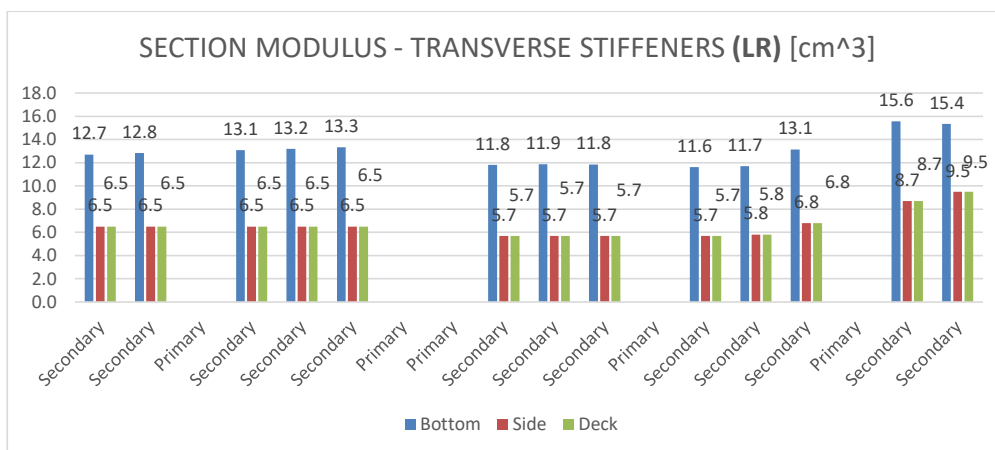
Όπως φαίνεται με τη βοήθεια του σχήματος που βρίσκεται κάτω ακριβώς από τα αποτελέσματα του διαγράμματος, τα διαμήκη ενισχυτικά θα περιορίζονται και θα εκτείνονται στις συγκεκριμένες περιοχές που αναφέρονται. Οι περιοχές αυτές και κατ' επέκταση τα ενισχυτικά χωρίζονται – κόβονται μέσω των νομέων (Web frames) των οποίων τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν παρακάτω στην διαστασιολόγηση των εγκάρσιων ενισχυτικών.

Αναλύοντας τις τιμές που προδιαγράψανε τα αποτελέσματα του κώδικα, φαίνεται προφανέστατα ότι οι περιοχές 4, 5 και 6 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απαιτήσεις και ακολουθούν οι περιοχές 1, 2 και 3 με σαφώς μικρότερες τιμές (Section modulus). Παρατηρώντας τα διαμερίσματα και ταυτόχρονα τα αποτελέσματα που εξάγονται συμπεραίνει κανείς ότι οι περιοχές 1 και 2 έχουν την ίδια τιμή με μια μικρή αύξηση στην περιοχή 3 όπου αναφέρθηκε προηγουμένως η αιτία. Επιπλέον οι περιοχές 4, 5 και 6 αποτελούνται και αυτές από την ίδια απαίτηση. Αυτό συμβαίνει διότι επιλέχθηκε η μέγιστη

πίεση που ασκείται στην περιοχή 6 και με βάση αυτή έγινε η σχεδίαση για λόγους ασφάλειας έχοντας υπόψη πάντα τη συντηρητική εκδοχή κατασκευής του υπό μελέτη σκάφους.

4.5.1.5.2 Εγκάρσια ενισχυτικά (Secondary)

Στη συνέχεια πάλι με τη βοήθεια διαγραμμάτων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εγκάρσιων ενισχυτικών που υπάρχουν ανάμεσα στα διαμήκη και καταστρώνουν με αυτόν τον τρόπο το πλέγμα του σκάφους. Το παρακάτω διάγραμμα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πιο ξεκάθαρη για τον αναγνώστη οι θέσεις των ενισχυτικών.



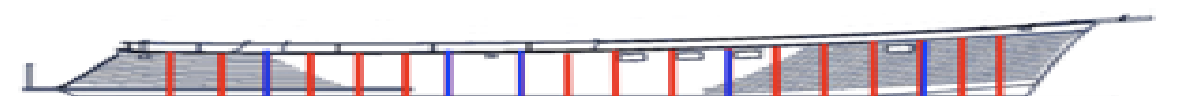
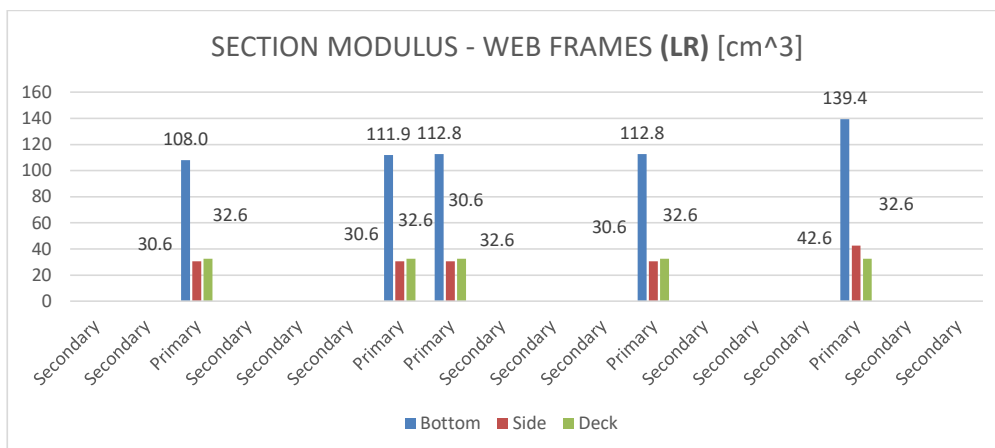
Σχήμα 4.17: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus δευτερευόντων ενισχυτικών - LR

Οι απαιτήσεις των δευτερευόντων ενισχυτικών είναι αρκετά μικρές για το λόγο ότι το μήκος αυτών περιορίζεται ανάμεσα στα διαδοχικά διαμήκη. Οι τιμές της ροπής αντίστασης των εγκάρσιων (απλά ενισχυτικά) σύμφωνα με τον LR παρουσιάζονται με έναν περίεργο τρόπο καθώς στις περιοχές 1 έως 3 προδιαγράφονται ίσες τιμές και μεγαλύτερες των περιοχών 4 και 5. Αυτό εξηγείται μέσω της διαδικασίας που έγινε η επιλογή των ενισχυτικών. Για παράδειγμα η περιοχή 1 συνορεύει με την 2 με αποτέλεσμα να επιλέχθηκε η χειρότερη εκ των δύο πιέσεων και με βάση αυτή την απαίτηση προκύπτει η λίγο μεγαλύτερη τιμή ροπής αντίστασης στην πρυμναία περιοχή.

Ακόμη να αναφερθεί ότι η σχεδίαση των συγκεκριμένων ενισχυτικών έγινε με βάση την χειρότερη (μεγαλύτερη) πίεση που δέχεται ο πυθμένας στην πλάκα που συνορεύει στην τρόπιδα και έτσι διαστασιολογήθηκαν και τα υπόλοιπα ενισχυτικά της πλευράς και του καταστρώματος.

4.5.1.5.3_ Εγκάρσιο νομείς (Primary)

Οι εγκάρσιοι νομείς οι οποίοι είναι αυτοί που 1^ον θα αντικαταστήσουν τις φρακτές και 2^ον θα συμβάλλουν στην αντοχή της γάστρας. Στο σχήμα 4.18 που απεικονίζεται παρακάτω εμφανίζονται οι απαιτήσεις που προδιαγράφει ο LR.



Σχήμα 4.18: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus εγκάρσιων νομέων - LR

Παρατηρώντας το διάγραμμα με τις τιμές των εγκάρσιων νομέων (Web frames), πραγματοποιείται σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων. Οι απαιτήσεις έχουν μια απόλυτα φυσιολογική εξέλιξη εξετάζοντας το σκάφος από πρίμα μέχρι πλώρα με μικρές διαφορές ανάμεσα στις περιοχές που συνορεύουν. Ένας νομέας διατρέχει όλο το μήκος του σκάφους κατά το εγκάρσιο επίπεδο στον πυθμένα, ολόκληρο κατά την πλευρά και αντίστοιχα για το κατάστρωμα. Με αυτόν τον τρόπο η σχεδίαση στον πυθμένα μπορεί να είναι διαφορετική από αυτή στην πλευρά. Η συγκεκριμένη διαστασιολόγηση έγινε όπως έχει ήδη σχεδιαστεί ολόκληρο το σκάφος, δηλαδή με βάση την χειρότερη περίπτωση οπότε η απαίτηση που προέκυψε στον πυθμένα θα συνυπολογιστεί και για την πλευρά και για το κατάστρωμα.

Λόγω του ότι το ανυποστήρικτο μήκος του πυθμένα είναι αρκετά μεγάλο (βλέπε πλάτος σκάφους=5.60m), αποφασίστηκε να γίνει η σχεδίαση των συγκεκριμένων ενισχυτικών στην περίπτωση του πυθμένα με βάση το μισό πλοίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διαστασιολογηθεί αφενός ευκολότερα το ενισχυτικό βάσει των προμηθευτών που καλύπτουν τις απαιτήσεις των σχεδιαστών και αφετέρου να μην υπάρχει μεγάλο ύψος του κορμού και να αποφεύγονται με αυτόν τον τρόπο διάφορα προβλήματα λόγω διάτμησης και να μην εμποδίζει την διέλευση των επιβατών από ένα σημείο σε κάποιο άλλο.

Τα εγκάρσια πρωτεύοντα ενισχυτικά (Web frames) λαμβάνουν συγκεκριμένη θέση στο διάμηκες του πλοίου, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα από τα ήδη υπάρχοντα. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης ο εγκάρσιος νομέας βάσει τον

κατασκευαστή δεν υπάρχει στις περιοχές 5 και 6. Με αφορμή αυτό τοποθετήθηκε ο νομέας στις προαναφερθείσες περιοχές παρεμβάλλοντας στην αρχική σχεδίαση του σκάφους. Άρα πολλά από τα κόκκινα θα μπορούσαν να είναι μπλε, αυτό όμως δεν αποτελεί μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής.

4.5.2 Det Norske Veritas

Οι υπολογισμοί των πιέσεων για τον DNV θα έλεγε κανείς ότι δεν διαφέρουν και πάρα πολύ ασχέτως αν συγκεκριμένα τμήματα της κατασκευής τα μελετάει με διαφορετικό τρόπο.

4.5.2.1 Φορτίσεις Πλακών Γάστρας (DNV)

Ο πίνακας 4.3 θα δώσει τα αποτελέσματα των πιέσεων του DNV για τα 3 τμήματα της κατασκευής (γάστρα). Μελετώντας τα, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι από το πρώτο κιόλας διαμέρισμα (Section 1) ο DNV προσεγγίζει τελείως διαφορετικά το πρόβλημα. Η φόρτιση που δέχεται το 1^ο διαμέρισμα είναι περίπου ίση με αυτή του LR, που σημαίνει ότι ή υπερδιαστασιολογεί τα κατασκευαστικά στοιχεία ή μέσα από τις σχέσεις που υπολογίζει τα απαραίτητα μεγέθη υπάρχουν συντελεστές που παρουσιάζουν υψηλά αποτελέσματα.

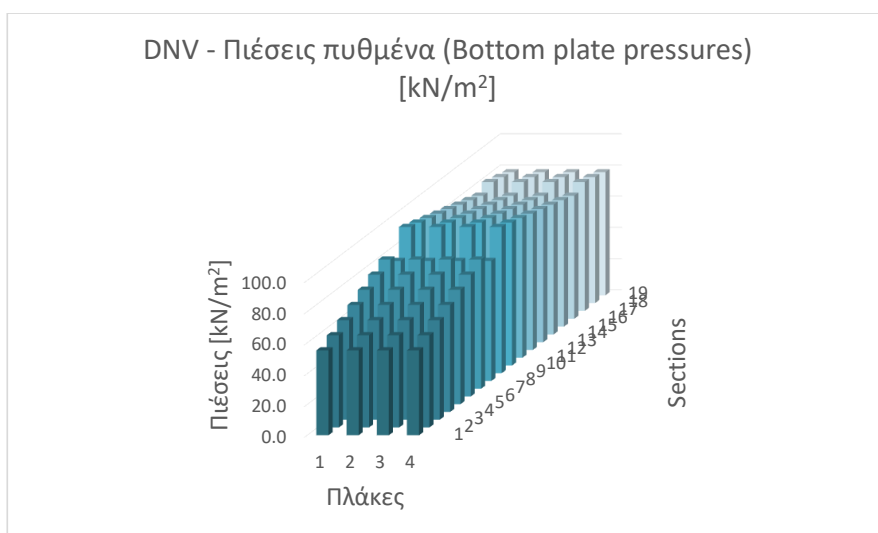
Πίνακας 4.3: DNV – Πιέσεις στο περίβλημα των πλακών

Pressure [kN/m ²] (DNV)											
Bottom plating				Side plating				Deck plating			
Sections	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
1	55,1	55,1	55,1	55,1	7,2	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
2	59,8	59,8	59,8	59,8	7,0	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
3	64,5	64,5	64,5	64,5	6,9	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
4	69,2	69,2	69,2	69,2	6,8	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
5	73,9	73,9	73,9	73,9	6,7	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
6	78,5	78,5	78,5	78,5	6,6	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
7	83,2	83,2	83,2	83,2	6,5	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
8	77,3	77,3	77,3	77,3	6,5	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
9	94,0	94,0	94,0	94,0	6,5	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
10	91,8	91,8	91,8	91,8	7,5	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
11	89,7	89,7	89,7	89,7	9,4	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
12	87,5	87,5	87,5	87,5	12,5	8,4	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
13	85,3	85,3	85,3	85,3	15,3	10,2	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
14	83,2	83,2	83,2	83,2	17,9	12,0	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0
15	81,0	81,0	81,0	81,0	20,4	13,6	6,9	5,0	5,0	5,0	5,0
16	78,8	78,8	78,8	78,8	22,5	15,1	7,6	5,0	5,0	5,0	5,0
17	82,6	82,6	82,6	82,6	26,1	17,5	8,9	5,0	5,0	5,0	5,0
18	80,7	80,7	80,7	80,7	27,7	18,6	9,4	5,0	5,0	5,0	5,0
19	78,8	78,8	78,8	78,8	29,0	19,4	9,9	5,0	5,0	5,0	5,0

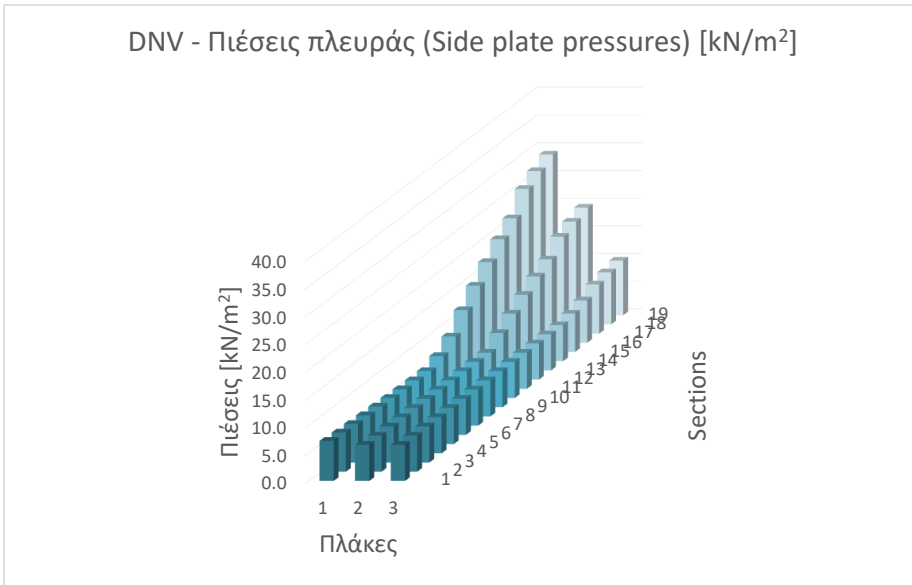
Η μέγιστη τιμή πίεσης που δίνει ο συγκεκριμένος κανονισμός είναι στο διαμέρισμα 9 πράγμα που σημαίνει ότι ο DNV θεωρεί ότι η επικίνδυνη περιοχή βρίσκεται κοντά στο LCG του σκάφους. Αυτό που διαφέρει σύμφωνα με τον προηγούμενο κανονισμό είναι ότι η επικίνδυνη περιοχή σφυρόκρουσης έχει μεταφερθεί πιο πρίμα στο διαμέρισμα 10. Με βάση τους συντελεστές k_v , k_b και k_{red} εξηγείται για πιο λόγο οι μέγιστες τιμές πίεσης βρίσκονται στα συγκεκριμένα διαμερίσματα του παραπάνω πίνακα 4.3. Στο **'Pt 3, Ch 1, Section 3'** παρουσιάζονται οι σχέσεις που δικαιολογούν την ύπαρξή τους και τα αποτελέσματα των πιέσεων.

Για την πλευρά οι μέγιστες πιέσεις εμφανίζονται στην περιοχή σφυρόκρουσης όπως ο LR αλλά τα πάχη για το κατάστρωμα στην περίπτωση του DNV δεν ορίζονται διότι η τιμή που προκύπτει είναι πολύ μικρή οπότε καθώς έχει οριστεί ελάχιστο απαιτούμενο πάχος για το κατάστρωμα παίρνεται ως πάχος σχεδίασης.

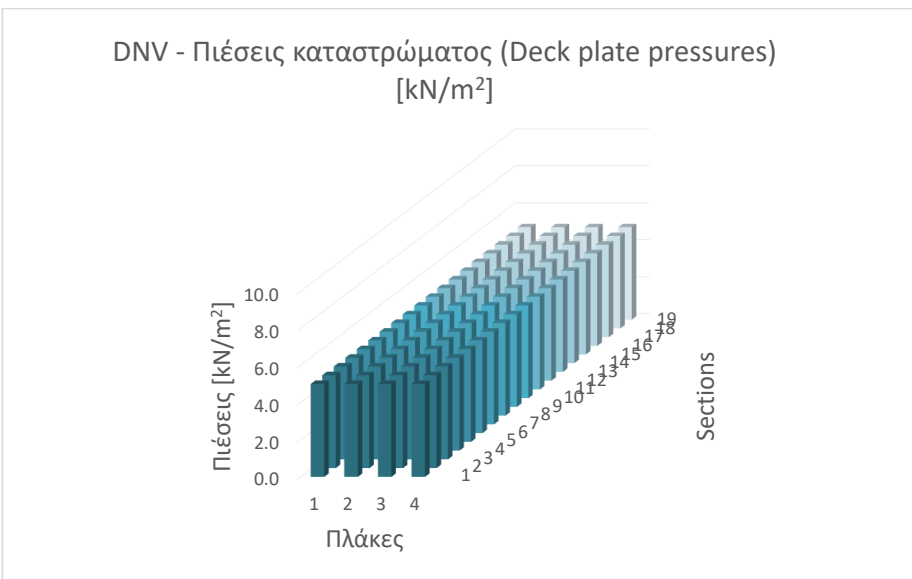
4.5.2.2 Κατανομή Πιέσεων στη γάστρα (DNV)



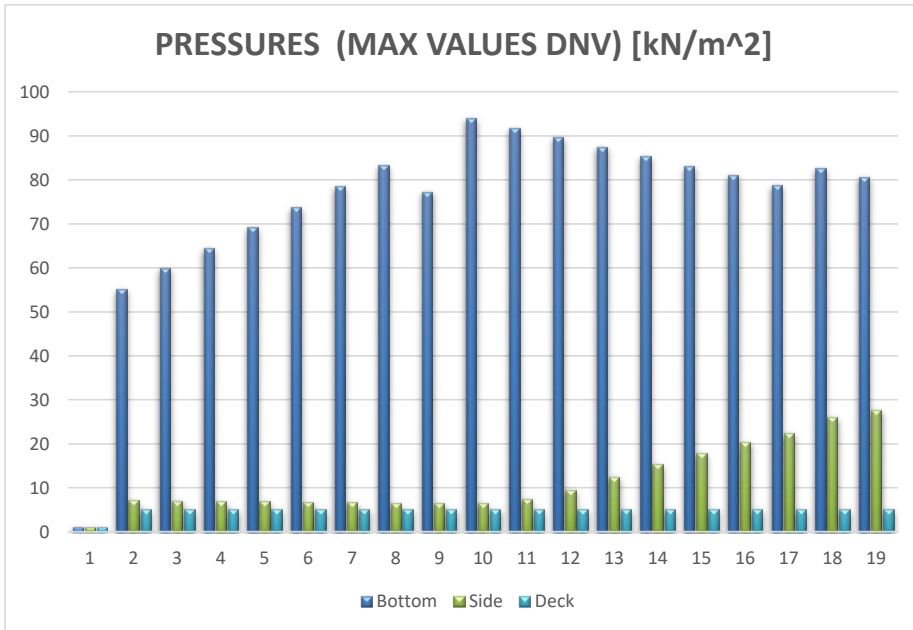
Σχήμα 4.19: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων πυθμένα - DNV



Σχήμα 4.20: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων πλευράς – DNV



Σχήμα 4.21: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πιέσεων καταστρώματος - DNV



Σχήμα 4.22: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων πιέσεων γάστρας – DNV

4.5.2.3 Πάχη πλακών γάστρας (DNV)

Ο παρακάτω πίνακας 4.4 παραθέτει τα πάχη των πλακών που προέκυψαν από τους υπολογισμούς του κώδικα με βάση τις σχέσεις που ορίζει ο DNV.

Πίνακας 4.4: DNV – Πιέσεις στο περίβλημα των πλακών

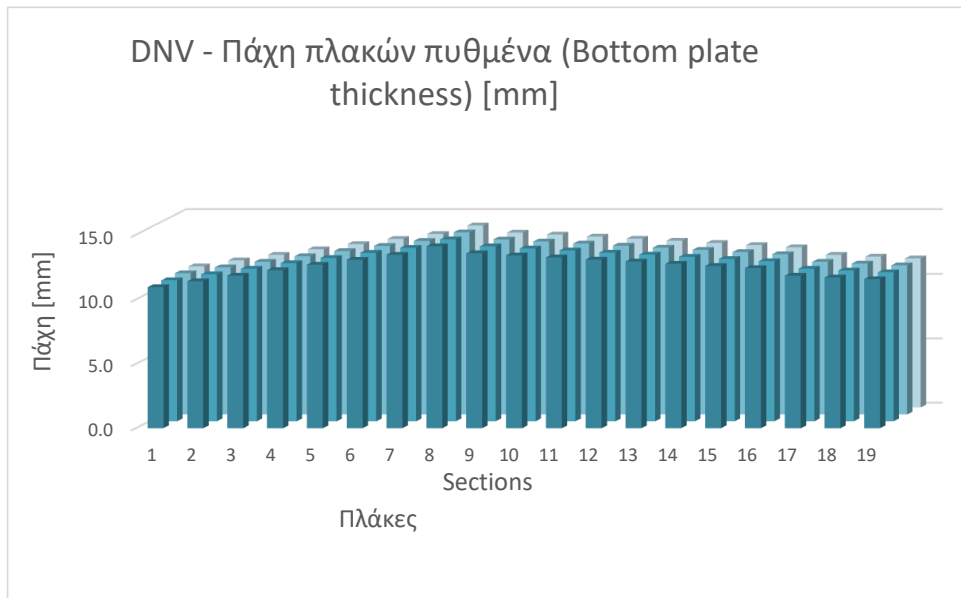
Thickness [mm] (DNV)											
Bottom plating				Side plating			Deck plating				
Sections	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
1	11,0	11,0	11,0	11,0	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
2	11,4	11,4	11,4	11,4	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
3	11,9	11,9	11,9	11,9	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
4	12,3	12,3	12,3	12,3	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
5	12,7	12,7	12,7	12,7	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
6	13,1	13,1	13,1	13,1	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
7	13,5	13,5	13,5	13,5	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
8	14,1	14,1	14,1	14,1	6,2	6,2	6,2	4,6	4,6	4,6	4,6
9	13,6	13,6	13,6	13,6	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7
10	13,4	13,4	13,4	13,4	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7
11	13,3	13,3	13,3	13,3	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7
12	13,1	13,1	13,1	13,1	6,2	6,2	6,2	5,7	5,7	5,7	5,7
13	12,9	12,9	12,9	12,9	6,8	6,8	6,8	5,7	5,7	5,7	5,7
14	12,8	12,8	12,8	12,8	7,4	7,4	7,4	5,7	5,7	5,7	5,7
15	12,6	12,6	12,6	12,6	7,9	7,9	7,9	5,7	5,7	5,7	5,7
16	12,4	12,4	12,4	12,4	8,3	8,3	8,3	5,7	5,7	5,7	5,7
17	11,8	11,8	11,8	11,8	7,7	7,7	7,7	5,7	5,7	5,7	5,7
18	11,7	11,7	11,7	11,7	8,0	8,0	8,0	5,7	5,7	5,7	5,7
19	11,6	11,6	11,6	11,6	8,1	8,1	8,1	5,7	5,7	5,7	5,7

Η τιμή με το μεγαλύτερο πάχος πλάκας πυθμένα εμφανίζεται στον πίνακα με κόκκινο χρώμα (Section 8) το οποίο ανήκει στην περιοχή 2 όπου βρίσκεται το μηχανοστάσιο. Ο DNV στους κανονισμούς του υπολογίζει σε μια ενότητα ξεχωριστά τα βάρη μεγάλων μαζών που ασκούνται στα ελάσματα του σκάφους με αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της θάλασσας. Αυτή η κατάσταση προσεγγίζεται και πάλι με βάση τη χειρότερη περίπτωση ενώ θα μπορούσε κανείς να πει ότι αυτές οι πιέσεις εξισορροπούνται αλλά παίρνοντας την μεγαλύτερη εκ των δύο, αποτελεί σίγουρα πιο ασφαλές σενάριο.

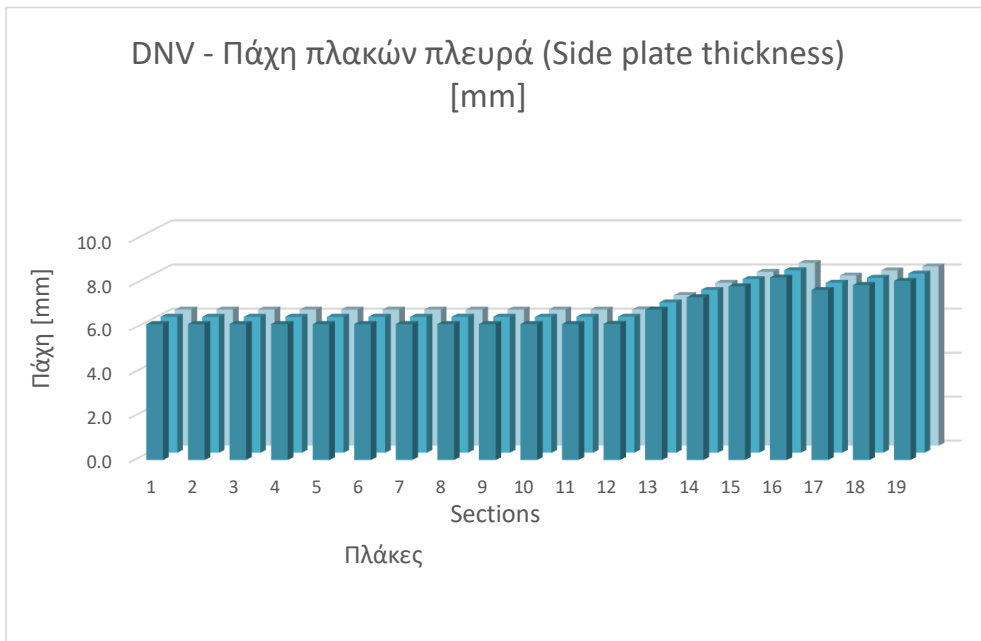
Στην πλευρά η μέγιστη τιμή πάχους πλάκας εμφανίζεται στο διαμέρισμα 16 το οποίο βρίσκεται στην περιοχή σφυρόκρουσης, ενώ στην ίδια περιοχή και επιπλέον στην 5 εμφανίζεται η μέγιστη τιμή πάχους πλάκας για το κατάστρωμα.

4.5.2.4 Κατανομή Παχών στη γάστρα (DNV)

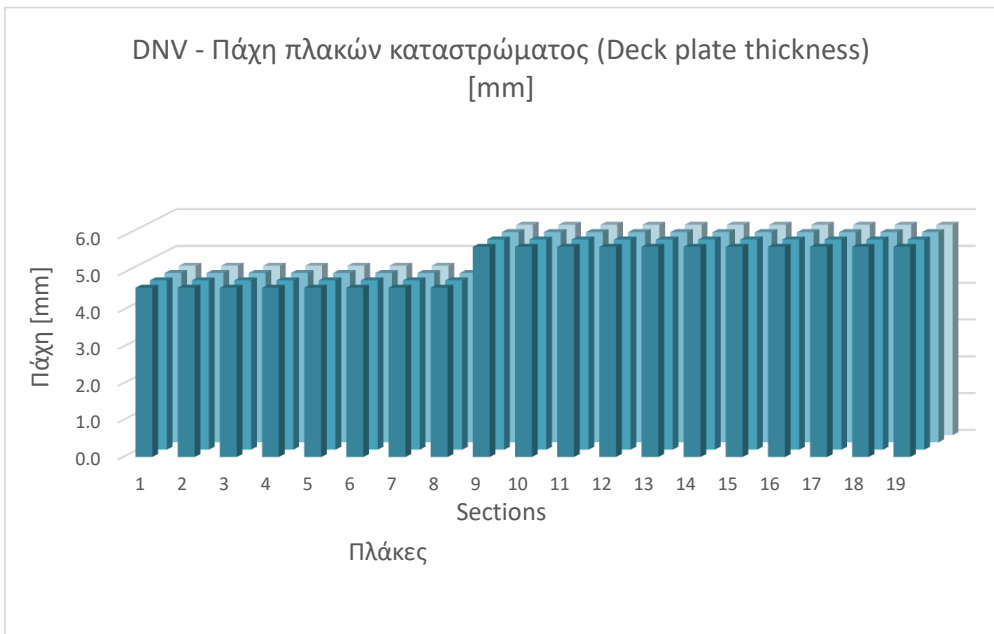
Όπως στην ενότητα των πιέσεων που απεικονίζουν μέσω διαγραμμάτων την κατανομή αυτών πάνω στη γάστρα, το ίδιο συμβαίνει και εδώ με την κατανομή των παχών βλέποντας τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 4.23: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών πυθμένα – DNV



Σχήμα 4.24: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών πλευράς – LR



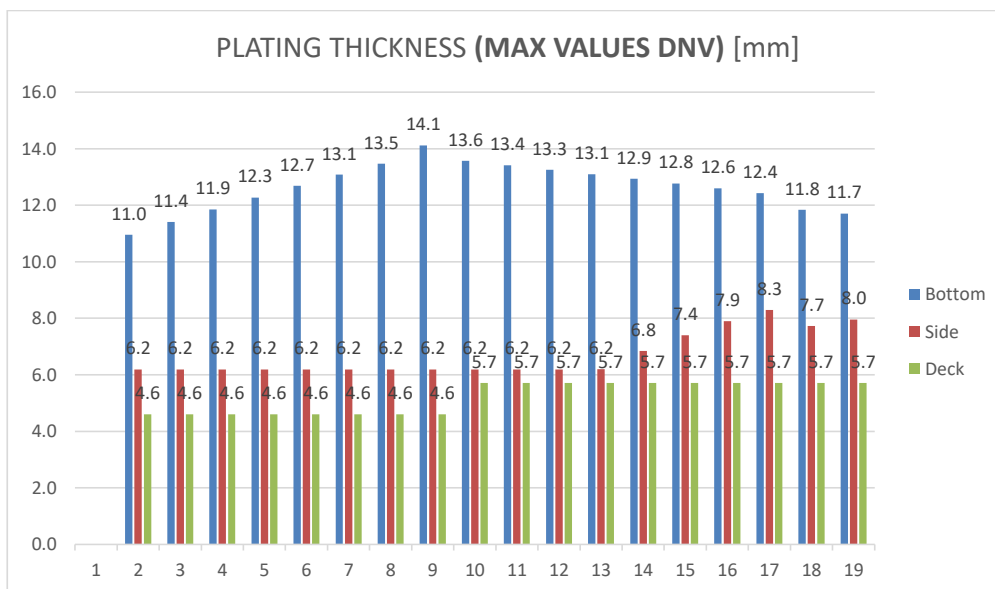
Σχήμα 4.25: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα πάχους πλακών καταστρώματος - DNV

Είναι ξεκάθαρο ότι η επιλογή της χειρότερης πλάκας θα γίνει με βάση τα κριτήρια του πυθμένα και της πλευράς διαστασιολογώντας όλες τις πλάκες με το συγκεκριμένο πάχος. Το

γεγονός ότι οι περιοχές που ασκούνται οι μέγιστες πιέσεις δεν υπερίσχυσαν έναντι της γεωμετρίας των πλακών. Πράγμα που σημαίνει ότι και ο DNV στο 8^ο διαμέρισμα θεωρεί χειρότερη πλάκα αυτή που έχει μεγαλύτερες διαστάσεις.

Η δυνατότητα να διαστασιολογηθούν τα διαφορετικά τμήματα και περιοχές με διαφορετικό πάχος δεν δύναται στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής αφενός και αφετέρου η διαδικασία αυτή έχει να κάνει με τη βελτιστοποίηση ενός σχεδιασμού και όχι με τη σύγκριση βαρών με βάση κανονισμών που προδιαγράφουν οι νηογνώμονες. Επίσης μια τέτοια διαδικασία σχεδίασης συνήθως ακολουθούν κατασκευαστές σκαφών από σύνθετα υλικά φτιάχνοντας την κάθε πλάκα από διαφορετική στρώση, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος παραγωγής.

Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω απεικονίζονται μέσω του σχήματος 4.26 όλες οι απαιτήσεις των μέγιστων παχών για τα 3 τμήματα της γάστρας.

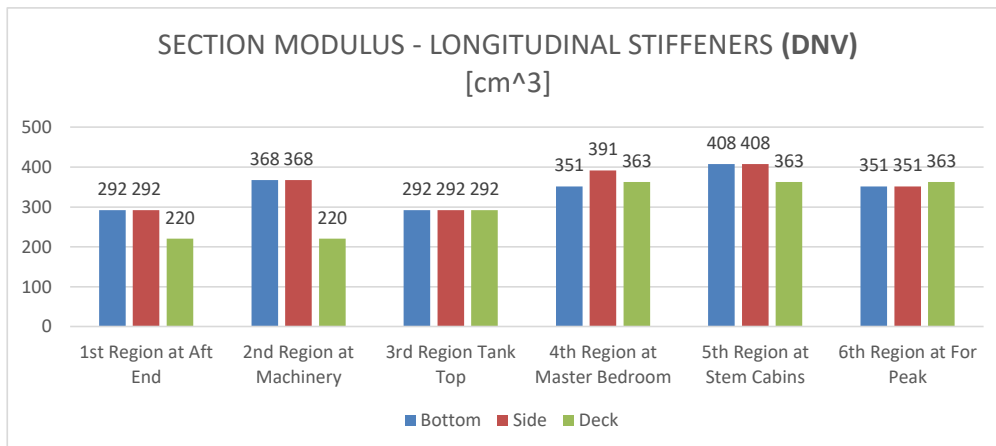


Σχήμα 4.26: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων παχών - LR

4.5.2.5 Απαιτήσεις ενισχυτικών (DNV)

4.5.2.5.1 Διαμήκη ενισχυτικά

Οι απαιτήσεις ροπών αντίστασης για τον DNV παρατίθενται στον σχήμα 4.27 με τη βοήθεια διαγράμματος όπως προηγήθηκε προηγουμένως στον LR.



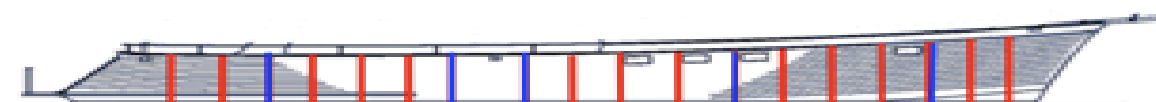
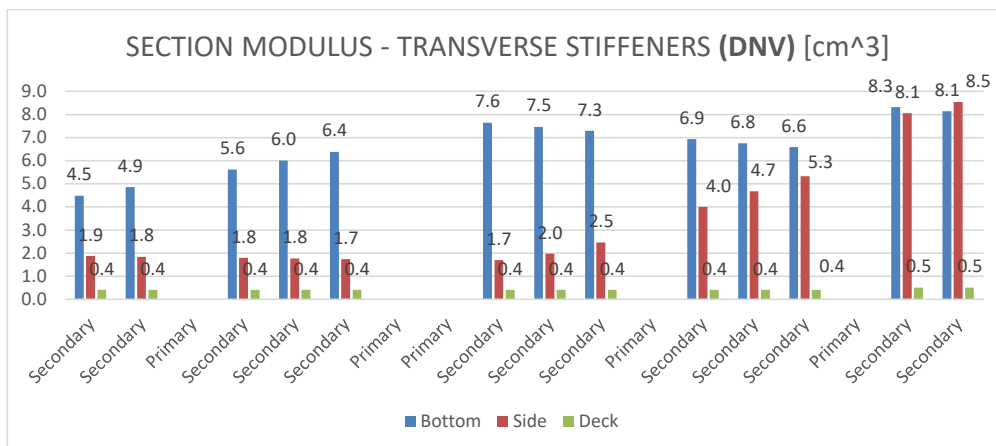
Σχήμα 4.27: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus διαμήκων ενισχυτικών - DNV

Στα αποτελέσματα του DNV παρουσιάζονται οι τιμές που προδιαγράφουν οι περιοχές με μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στην περιοχή 5. Ακολουθεί με μια μικρή μείωση της τιμής η περιοχή 4 και αμέσως μετά η περιοχή 2. Τα νούμερα σε αυτόν τον κανονισμό δεν παρατίθενται με φυσιολογική εξέλιξη από πρίμα μέχρι πλώρα όπως πραγματοποιείται στον LR. Όπως προαναφέρθηκε οι φορτίσεις που δέχονται τα τμήματα της κατασκευής διαφέρουν από εκείνες που δέχεται ο Βρετανικός νηογνώμονας. Στην περιοχή 2 η απαίτηση του εγκάρσιου νομέα είναι κάπως ανεβασμένη καθώς λαμβάνεται υπόψη η μεγαλύτερη φόρτιση που προκύπτει από το βάρος των μηχανών.

Αν εξαιρεθούν οι δύο περιπτώσεις που απαρτίζουν τις δύο περιοχές 1 και 3 με τις χαμηλότερες τιμές θα μπορούσε να γίνει η σχεδίαση με βάση την περιοχή 5. Παρ' όλα αυτά η συγκεκριμένη σχεδίαση θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τη χειρότερη περίπτωση, ασχέτως αν οι περιοχές 1 και 5 έχουν περίπου 110 cm³ διαφορά. Στην περιοχή 6 παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση της τιμής σε σχέση με την τιμή της περιοχής 5, δηλαδή ενώ η περιοχή 6 βρίσκεται πιο πλώρα αρά θα δεχτεί μεγαλύτερη πίεση σε σχέση με την γειτονική περιοχή, η 5 είναι αυτή που θα δοκιμαστεί έναντι της σφυρόκρουσης. Οπότε η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι το βύθισμα υπάρχει στις σχέσεις που υπολογίζει ο DNV τα μεγέθη αυτά και προφανώς στη διαμήκη θέση της περιοχής 6 το βύθισμα του σκάφους είναι αρκετά μικρότερο από αυτό της περιοχής 5 καθώς η γεωμετρία του πλοίου κλείνει στην πλώρη.

4.5.2.5.2 Εγκάρσια ενισχυτικά (Secondary)

Στα απλά εγκάρσια ενισχυτικά οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στις περιοχές 4 και 6 όπως παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα 4.28 με τη βοήθεια διαγράμματος.

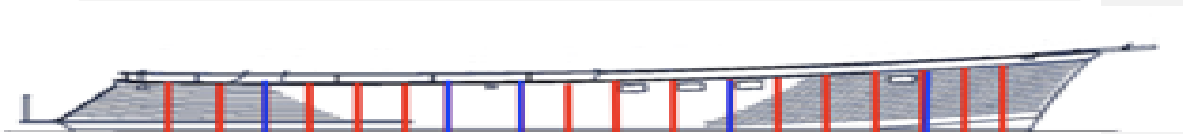
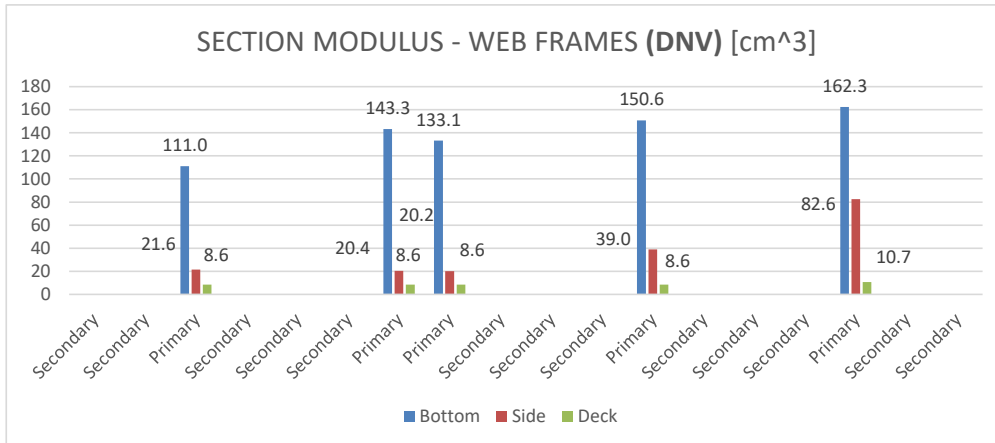


Σχήμα 4.28: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus κατά το διάμηκες - DNV

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του DNV για τη ροπή αντίστασης των ενισχυτικών μόνο στον πυθμένα εμφανίζονται οι αυξομειώσεις των τιμών. Στην πλευρά οι τιμές (Section modulus) αυξάνονται σχεδόν γραμμικά από πρίμα μέχρι πλώρα ενώ στο κατάστρωμα σημειώνονται οι χαμηλότερες απαιτήσεις που έχουν προκύψει μέχρι στιγμής για τους δύο κανονισμούς.

4.5.2.5.3 Εγκάρσιοι νομείς (Primary)

Οι εγκάρσιοι νομείς για τον DNV παραθέτουν τα αποτελέσματα τους στο παρακάτω διάγραμμα (βλέπε σχήμα 4.29) όπου παρατηρείται γραμμική αύξηση των τιμών που προδιαγράφουν οι νομείς με εξαίρεση να αποτελεί και εδώ η περιοχή 2 που εμφανίζει 10 μονάδες αύξηση σε σχέση με την γειτονική της (περιοχή 3).



Σχήμα 4.29: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα Section Modulus κατά το διάμεκες – DNV

Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται ξεκάθαρα στην πλωριά περιοχή και για τα 3 τμήματα της γάστρας. Μεγάλη διαφορά παρατηρείται στους νομείς της πλευράς κατά 40 μονάδες από περιοχή σε περιοχή (περιοχή σφυρόκρουσης) σε σχέση με τους νομείς του πυθμένα οι οποίοι για τις ίδιες περιοχές παρουσιάζουν μικρότερες διαφορές της τάξεως των 10 μονάδων. Αυτό συμβαίνει λόγω των συντελεστών t_0 & k που μπαίνουν στην σχέση του Section modulus εξετάζοντας με διαφορετικές τιμές τα διάφορα τμήματα τις κατασκευής.

4.5.3 Μέγιστο πίεσης και πάχους (LR & DNV)

Με τη βοήθεια των παρακάτω διαγραμμάτων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δύο κανονισμών συγκεντρωτικά. Στον πίνακα 4.5 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μέγιστων πιέσεων και τα μέγιστα πάχη του LR και αντίστοιχα στον πίνακα 4.6 τα μέγιστα για τον DNV.

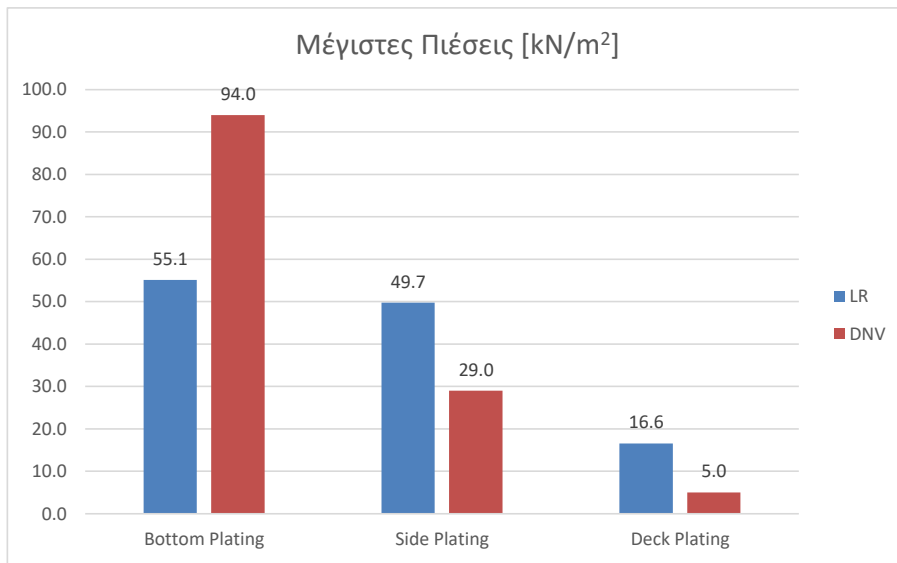
Πίνακας 4.5: – Συνολικά αποτελέσματα μέγιστων πιέσεων και παχών της γάστρας - LR

LR - Max Pressures		
Bottom Plating	Side Plating	Deck Plating
55,1	49,7	16,6
DNV - Max Pressures		
Bottom Plating	Side Plating	Deck Plating
94,0	29,0	5,0

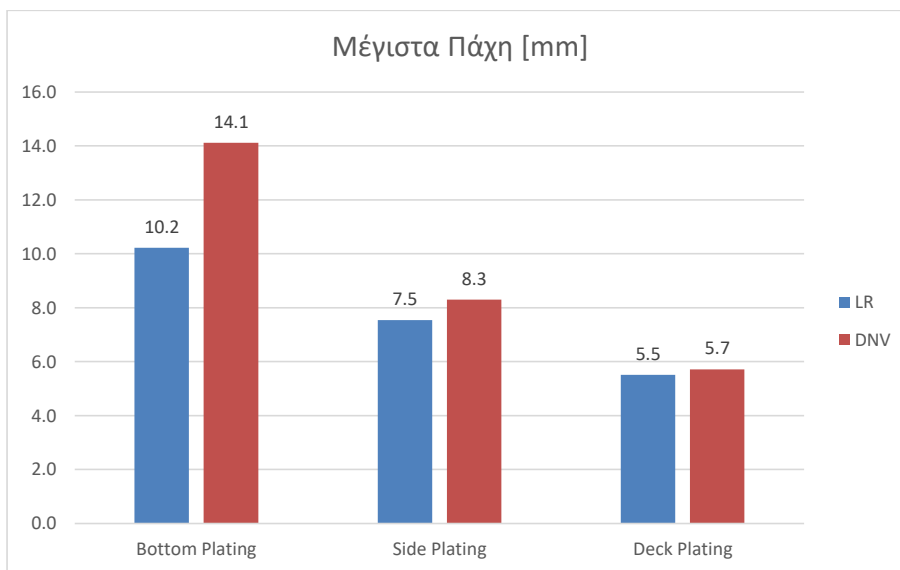
Πίνακας 4.6: – Συνολικά αποτελέσματα μέγιστων πιέσεων και παχών της γάστρας - DNV

LR - Max Thickness		
Bottom Plating	Side Plating	Deck Plating
14.1	8.3	5.7
DNV - Max Thickness		
Bottom Plating	Side Plating	Deck Plating
10,2	7,5	5,5

Στη συνέχεια οι παραπάνω πίνακες παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων για τους δύο κανονισμούς για να δημιουργηθεί μια γενική εικόνα ως προς τα αποτελέσματά τους. Οι τιμές που προκύπτουν από τους δύο παραπάνω πίνακες αποτελούν τη χειρότερη περίπτωση και με βάση αυτές θα γίνει η διαστασιολόγηση που παρουσιάζεται παρακάτω στον πίνακα 4.7.



Σχήμα 4.30: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων πιέσεων LR – DNV



Σχήμα 4.31: 1^ο Σενάριο, Διάγραμμα μέγιστων παχών LR – DNV

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πλακών καθώς και τα πάχη σχεδίασης.

Πίνακας 4.7: – Συνολικά βάρη των τμημάτων της γάστρας DNV - LR

ΠΛΑΚΕΣ	LR	DNV
Βάρος Πλακών Καταστρώματος [t]	1683,6	1745,2
Βάρος Πλακών Πλευράς [t]	2300,9	2533,5
Βάρος Πλακών Πυθμένα [t]	3122,7	4310,1
SUM	7107,2	8588,8

Πίνακας 4.8: – Συνολικά αποτελέσματα μέγιστων πιέσεων και παχών της γάστρας - LR

Maximum Thickness t [mm] for Plates				
	Lloyd's Register (LR).	DNV.	Max of LR & DNV.	t_{final} [mm]
1) Maximum Thickness t [mm] of Bottom Plating.	10,2	14,1	14,1	15
2) Maximum Thickness t [mm] of Side Plating.	7,5	8,3	8,3	9
3) Maximum Thickness t [mm] of Deck Plating.	5,5	5,7	5,7	6

4.5.4 Διαστασιολόγηση ενισχυτικών (Primary & Secondary)

Εν συνεχεία στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί διαστασιολόγηση όλων των κατασκευαστικών στοιχείων που περιβάλλουν τη γάστρα. Εφόσον εφαρμόστηκαν στο 3^ο κεφάλαιο οι κανονισμοί δύο νηογνομώνων και παρουσιάστηκαν στο 4^ο κεφάλαιο τα αποτελέσματα αυτών, υπάρχουν τα απαραίτητα μεγέθη ώστε να σχεδιαστεί η γάστρα από αλουμίνιο σύμφωνα με τις παραδοχές της παρούσας διπλωματικής εργασίας που έχουν προηγηθεί. Οι παρακάτω πίνακες που παρουσιάζονται εμφανίζουν αποτελέσματα γεωμετρίας διατομών τα οποία προέκυψαν από τις φορτίσεις που δέχονται τα τμήματα της κατασκευής. Λόγω ότι οι προμηθευτές δεν είχαν πληθώρα ενισχυτικών που να καλύπτουν τις απαιτήσεις του σχεδιαστή, διαμορφώθηκαν ενισχυτικά τα οποία ενώθηκαν μεταξύ τους (συγκολλήθηκαν) για να καλύψουν τη σχεδίαση του υπό μελέτη σκάφους.

4.5.4.1 Διαμήκη ενισχυτικά (Primary)

Πίνακας 4.9: – Διαστασιολόγηση διαμήκων ενισχυτικών πυθμένα LR & DNV

ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ ΠΥΘΜΕΝΑ			
Υπό εξέταση ενισχυτικό		DNV	LR
1st Region at Aft End	Γεωμετρία Διατομής	PL200x8+FB150x8	PL150x10+FB150x8
	b _e [mm]	659	350
2nd Region at Machinery	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x8	PL150x10+FB150x8
	b _e [mm]	699	350
3rd Region Tank Top	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x8	PL150x10+FB150x8
	b _e [mm]	699	350
4th Region at Master Bedroom	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x10	PL200x8+FB150x10
	b _e [mm]	686	350
5th Region at Stem Cabins	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x10	PL200x8+FB150x10
	b _e [mm]	658	350
6th Region at For Peak	Γεωμετρία Διατομής	PL200x8+FB150x10	PL200x8+FB150x10
	b _e [mm]	350	350

Πίνακας 4.10: – Διαστασιολόγηση διαμήκων ενισχυτικών πλευράς LR & DNV

ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ ΠΛΕΥΡΑΣ			
Υπό εξέταση ενισχυτικό		DNV	LR
1st Region at Aft End	Γεωμετρία Διατομής	PL150x8+FB150x8	PL150x8+FB150x8
	b _e [mm]	617	350
2nd Region at Machinery	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x8	PL150x8+FB150x8
	b _e [mm]	643	350
3rd Region Tank Top	Γεωμετρία Διατομής	PL150x10+FB150x8	PL150x10+FB150x8
	b _e [mm]	686	350
4th Region at Master Bedroom	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x10	PL200x10+FB150x10
	b _e [mm]	643	350
5th Region at Stem Cabins	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB150x10	PL200x10+FB150x10
	b _e [mm]	650	350
6th Region at For Peak	Γεωμετρία Διατομής	PL200x10+FB200x8	PL200x10+FB150x10
	b _e [mm]	617	350

Πίνακας 4.11: – Διαστασιολόγηση διαμήκων ενισχυτικών καταστρώματος LR & DNV

ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ			
Υπό εξέταση ενισχυτικό		DNV	LR
1st Region at Aft End	Γεωμετρία Διατομής	PL150x8+FB120x10	PL100x8+FB100x6
	b _e [mm]	658	350
2nd Region at Machinery	Γεωμετρία Διατομής	PL150x8+FB120x10	PL100x8+FB100x6
	b _e [mm]	686	350
3rd Region Tank Top	Γεωμετρία Διατομής	PL150x10+FB150x8	PL100x8+FB100x6
	b _e [mm]	686	350
4th Region at Master Bedroom	Γεωμετρία Διατομής	PL200x8+FB150x10	PL100x8+FB100x8
	b _e [mm]	686	350
5th Region at Stem Cabins	Γεωμετρία Διατομής	PL200x8+FB150x10	PL100x8+FB100x8
	b _e [mm]	658	350
6th Region at For Peak	Γεωμετρία Διατομής	PL200x8+FB150x10	PL100x8+FB100x8
	b _e [mm]	658	350

4.5.4.2 Εγκάρσια ενισχυτικά (Primary & Secondary)

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζονται τα εγκάρσια ενισχυτικά τα οποία είναι είτε απλά μικρά δοκάρια είτε μεγάλοι νομείς (Web frames). Να σημειωθεί ότι η σχεδίαση όλων των εγκάρσιων πραγματοποιήθηκε με βάσει τις φορτίσεις του πυθμένα και για τα τρία τμήματα της γάστρας.

Πίνακας 4.12: – Διαστασιολόγηση εγκάρσιων ενισχυτικών πυθμένα, πλευράς και καταστρώματος σύμφωνα με τον LR & DNV

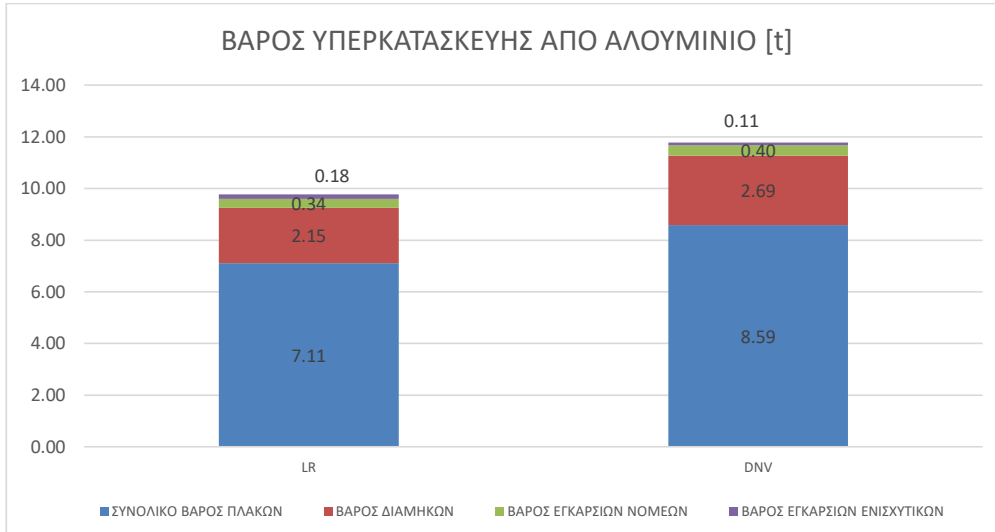
Εγκάρσια ενισχυτικά				1st Scenario (Primary & Secondary)									
Εγκάρσια ενισχυτικά (transverses)				LR					DNV				
Βυθμιαίο άκρο κατά το διάμηκες: Ένωση γιάστρας με τον καθρέφτη του ακάφου	no.	Primary/Secondary	Location	h _t [mm]	Διατομή	SMx [cm³]	SMreq [cm³] (section modulus)	Γεωμετρία διατομής	h _t [mm]	Διατομή	SMx [cm³]	SMx [cm³]	
	1	Secondary	Πρυμναίο (stern) Section	500	L60X40X4	17,3	12,7	L50X30X2	380	156	7,2	4,5	
	2	Secondary		500	L60X40X4	17,3	12,8	L50X30X2	380	156	7,2	4,9	
	3	Primary	Μηχανοστάσιο / Machinery	500	PL120x8+FB100x8	135	108	L120X10+100X10	910	2200	176,2	111	
	4	Secondary		500	L60X40X4	17,3	13,1	L50X30X3	380	231	9,6	5,6	
	5	Secondary		500	L60X40X4	17,3	13,2	L50X30X3	380	231	9,6	6	
	6	Secondary		500	L60X40X4	17,3	13,3	L50X30X3	380	231	9,6	6,4	
	7	Primary	Παρά	375	PL120x8+FB100x8	132,2	112,8	L120X10+100X10	910	2200	176,2	143,3	
	8	Primary		375	PL120x8+FB100x8	132,2	112,8	L120X10+100X10	910	2200	176,2	133,1	
	9	Secondary	Master bedroom	500	L60X40X4	17,3	11,8	L50X30X3	380	231	9,6	7,6	
	10	Secondary		500	L60X40X4	17,3	11,9	L50X30X3	380	231	9,6	7,5	
	11	Secondary		500	L60X40X4	17,3	11,8	L50X30X3	380	231	9,6	7,3	
	12	Secondary	Stem cabins	500	PL120x8+FB100x8	135	112,8	L120X10+100X10	910	2200	176,2	150,6	
	13	Secondary		500	L60X40X4	17,3	11,6	L50X30X3	380	231	9,6	6,9	
	14	Primary		500	L60X40X4	17,3	11,7	L50X30X3	380	231	9,6	6,8	
	15	Secondary		500	L60X40X4	17,3	13,1	L50X30X3	380	231	9,6	6,6	
	16	Primary	Πρωμιαίο (stem) Section	500	PL120x10+FB100x10	166,2	139,4	L120X10+100X10	910	2200	176,2	162,3	
	17	Secondary		500	L60X40X4	17,3	15,6	L50X30X4	380	304	11,8	8,3	
	18	Secondary	500	L60X40X4	17,3	15,4	L50X30X4	380	304	11,8	8,1		
Πρωμιαίο άκρο κατά το διάμηκες του ακάφου: End of Waterline													

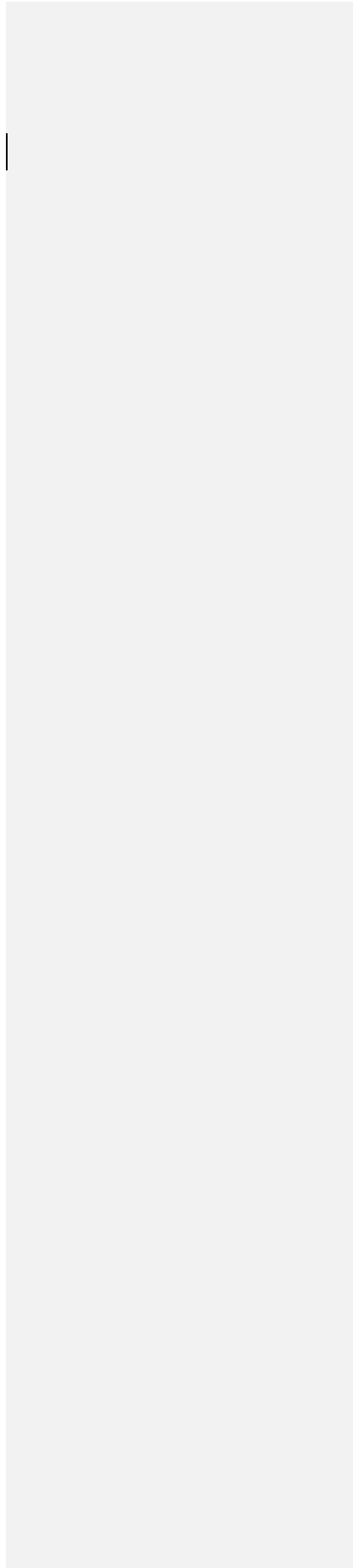
4.5.4.3 Συνολικό βάρος ενισχυτικών (1^ο Σενάριο)

Πίνακας 4.13: – Βάρη ενισχυτικών που συνθέτουν τη γάστρα - LR & DNV

1st Scenario		
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ	LR	DNV
Βάρος Καταστρώματος [t]	0,50	0,98
Βάρος Πλευράς [t]	0,69	0,68
Βάρος Πυθμένα [t]	0,96	1,03
SUM	2,15	2,69
ΕΓΚΑΡΣΙΑ (secondary) ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ	LR	DNV
Βάρος [t]	0,18	0,11
ΕΓΚΑΡΣΙΑ (primary) ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ	LR	DNV
Βάρος [t]	0,34	0,40
ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΔΟΚΑΡΙ (Girder)	LR	DNV
Stern to Tank [t]	0,14	0,13
Tank to Stem [t]	0,15	0,17
Ολικό Βάρος (Girder) [t]	0,29	0,30
SUM	2,96	3,50

4.5.5 Συνολικό βάρος γάστρας(1^ο Σενάριο)





|

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στον κατασκευαστικό σχεδιασμό γάστρας ταχυπλόου σκάφους (Motor Yacht) από αλουμίνιο με βάση τους κανονισμούς που προδιαγράφουν οι νηογνώμονες. Στο πλαίσιο αυτής της σχεδίασης πραγματοποιείται ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους δύο κανονισμούς (πιέσεις, πάχη και διατομές ενισχυτικών). Η διαδικασία αυτή καταστρώθηκε για να εξαχθούν αποτελέσματα για τα βάρη που εμφάνισαν οι δύο νηογνώμονες και στη συνέχεια να γίνει σύγκριση αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας και πραγματοποιήθηκε εισαγωγή στο αντικείμενο του κατασκευαστικού σχεδιασμού από αλουμίνιο. Στη συνέχεια αναφέρθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του αλουμινίου, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι του χάλυβα και οι χρήσεις που έχει το συγκεκριμένο υλικό στα σκάφη αναψυχής. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το υπό μελέτη σκάφος με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και με τη βοήθεια σχημάτων για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος που ακολουθήθηκε για την σχεδίαση των κατασκευαστικών στοιχείων (ενισχυτικά σε όλα τα τμήματα της γάστρας). Κλείνοντας το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι παραδοχές που επρόκειτο να λάβουν χώρα στην σχεδίαση για να προσεγγιστεί το πρόβλημα με μεγαλύτερη ακρίβεια και να γίνει εστίαση στην ανάλυση του περιβλήματος της γάστρας χωρίς να συμπεριλαμβάνονται όλοι οι περιορισμοί που απαιτεί μια τέτοια εξ' ολοκλήρου σχεδίαση. Στο τρίτο κεφάλαιο εφαρμόστηκαν οι κανονισμοί των νηογνώμωνων, παρουσιάζοντας μια πληθώρα σχέσεων που ορίζει ο κάθε κανονισμός και τους τρόπους με τους οποίους ο Lloyd's & DNV προσεγγίζουν τον εν λόγω σχεδιασμό. Στο τέταρτο κεφάλαιο κατασκευάστηκε το σκάφος σύμφωνα με τους προαναφερθείσες νηογνώμονες και παρουσιάστηκε η κατασκευαστική διαμόρφωση τοποθετώντας ενισχύσεις σε όλα τα τμήματα της γάστρας (πυθμένας, πλευρά, κατάστρωμα). Σ' αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι η διαδικασία της σχεδίασης πραγματοποιήθηκε με αυτόματο τρόπο μέσω κατάλληλου κώδικα που κατασκευάστηκε για την ταχύτητα των υπολογισμών 1^{ov} και 2^{ov} για την αποφυγή λαθών των πράξεων. Η σχεδίαση του σκάφους περιλάμβανε 4 σενάρια τα οποία πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του κώδικα που βρίσκεται στο παράρτημα και έτσι στην ουσία κατασκευάστηκαν 4 σκάφη (θεωρητικά) με διαφορετική διάταξη κάθε φορά ως προς την ενίσχυση.

Όπως έχει γίνει αναφορά και στην αρχή του πρώτου κεφαλαίου ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει το operational profile του σκάφους, τις συνθήκες κατάστασης θάλασσας και να ορίσει το που θα πλέει το πλοίο. Βάσει αυτών των παραμέτρων θα βρεθεί η κατακόρυφη επιτάχυνση που στη συνέχεια θα καθορίσει τις πιέσεις που θα ασκηθούν στη γάστρα. Αφού προδιαγραφούν οι φορτίσεις, εξετάζεται ποια από τις περιοχές (διαμερίσματα) είναι χειρότερες ως προς την φόρτιση που θα δεχτεί, δηλαδή ερευνάται η εν δυνάμει χειρότερη πλάκα (έλασμα). Το γεγονός αυτό δημιουργεί αμφιβολίες στον σχεδιαστή για το αν μια μεγαλύτερη πλάκα με μικρότερη πίεση είναι χειρότερη από μια άλλη μικρότερη στην οποία ασκείται μεγαλύτερη πίεση.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται μέσω πινάκων και διαγραμμάτων όλα τα αποτελέσματα του 1^{ου} σεναρίου για τις πιέσεις, τα πάχη και τις απαιτήσεις που έχουν τα διαμήκη και εγκάρσια ενισχυτικά. Σε αυτά τα αποτελέσματα παρατηρούνται και εξάγονται πολλά συμπεράσματα για τη σχεδίαση. Οι δύο νηογνώμονες προσεγγίζουν διαφορετικά το πρόβλημα με τον Lloyd's να εμφανίζει λογικές τιμές ως προς τις πιέσεις και μια γραμμική αύξηση αυτών των τιμών διατρέχοντας το σκάφος κατά το διάμηκες από πρίμα μέχρι πλώρα. Ο DNV από την άλλη παρουσιάζει στα αποτελέσματα των αντίστοιχων πιέσεων πολύ μεγάλες τιμές και κατά το διάμηκες του σκάφους ορίζει διαφορετική περιοχή ως επικίνδυνη έχοντας αφητηρία ότι η περιοχή σφυρόκρουσης βρίσκεται στο 0.75L του σκάφους. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ελασμάτων και οι δύο κανονισμοί τα μελετούν με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή εμφανίστηκαν περίπου τα ίδια αποτελέσματα ως προς τα πάχη των ελασμάτων στην περιοχή όπου βρίσκονται οι δεξαμενές του σκάφους διότι ήταν και το μόνο διαμέρισμα που είχε σημαντικά διαφορετικές διαστάσεις από τα υπόλοιπα.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο DNV λόγω των υψηλών πιέσεων που παρουσίασε είχε και τις μεγαλύτερες απαιτήσεις ως προς τα πάχη των πλακών και ως προς τις απαιτήσεις των ενισχυτικών σε σχέση με τον Lloyd's. Η σχεδίαση των εγκάρσιων ενισχυτικών με βάση το 1^ο σενάριο πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας την χειρότερη περίπτωση από τους δύο κανονισμούς διότι οι τιμές που παρουσιάστηκαν είχαν ελάχιστες διαφορές. Ξεχωριστή διαστασιολόγηση έγινε για τα διαμήκη ενισχυτικά για να μην υπερδιαστασιολογηθεί ο πυθμένας που παρουσίαζε για τους δύο κανονισμούς αρκετά μεγάλες τιμές στις πρυμναίες περιοχές σε σχέση με αυτές της πλώρης. Όσον αφορά στα πάχη των ελασμάτων η σχεδίαση έγινε με την μεγαλύτερη τιμή για όλη τη γάστρα.

Στα αποτελέσματα που παρατίθενται στο τέλος της ενότητας του 4^{ου} κεφαλαίου, παρουσιάζεται μόνο το πρώτο σενάριο στο οποίο αναλύεται και υπολογίζεται το συνολικό βάρος του περιβλήματος της γάστρας. Να σημειωθεί ότι τα υπόλοιπα σενάρια έχουν τρέξει στον κώδικα και τα αποτελέσματα αυτών θα παρουσιαστούν στην παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας.

Καταλήγοντας, βάσει αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον εν λόγω σχεδιασμό, το 1^ο σενάριο είναι ελαφρύτερο σε σχέση με τα υπόλοιπα τρία με τον Lloyd's να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές βάρους για όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία που περιβάλλουν τη γάστρα. Αυτό καθιστά τον DNV πιο συντηρητικό νηογνώμονα σε σχέση με τον Βρετανικό και κατ' επέκταση ακριβότερο διότι οι απαιτήσεις υλικού (αλουμινίου) είναι μεγαλύτερες.

Βιβλιογραφία

1. [Victor A. Dubrovsky, *Specificity and designing of multi-hull ships & boats*, Nova Science Publishers, USA, 2016](#)
2. [Δήμητρα Ρηγού, «Πειραματική Ανάλυση της Συμπεριφοράς σε Θραύση Υβριδικών και Ενισχυμένων Ναυπηγικών Κατασκευών από Κράματα Αλουμινίου με Χρήση Συμπαγών Δοκιμίων Εφέλκυσμού», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ Αθήνα, Σεπτέμβριος 2002.](#)
3. [Βασίλειος Ι. Παπάζογλου και Νικόλαος Γ. Τσούβαλης, *Ναυπηγική Τεχνολογία \(Σημειώσεις\)*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2018](#)
4. [Σταύρος Κ. Χιονόπουλος, «Συγκόλληση GMAW του Ναυπηγικού Κράματος Αλουμινίου 5383 – H116, με τη βοήθεια ρομποτικού βραχίονα συγκόλλησης», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Ναυτικής και Θαλάσσιας Τεχνολογίας, ΕΜΠ Αθήνα, Σεπτέμβριος 2002.](#)
5. [Δημήτριος Λυγνός, «Κατασκευαστικός Σχεδιασμός Υπερκατασκευής Δίγαστρων Επιβατηγών Πλοίων: Σύγκριση Αλουμινίου και Σύνθετων Υλικών», Ν. Τσούβαλης Ε.Μ.Π. Αθήνα 2022.](#)
6. [Ferraris, S., & Volpone, L. M. \(2005, October\). Aluminium alloys in third millennium shipbuilding: materials, technologies, perspectives. In *The Fifth International Forum on Aluminium Ships, Tokyo, Japan*.](#)
7. [Mazzolani, F. M. \(Ed.\). \(2014\). *Aluminium structural design* \(Vol. 443\). Springer.](#)
8. [International Maritime Organization \(IMO\), *International Code of Safety for High-Speed Craft*, London, 2000](#)
9. [Safety Of Life At Sea, *International Convention for the Safety Of Life At Sea*, 2004](#)
10. [International Association of Classification Societies \(IACS\). https://www.iacs.org.uk/](https://www.iacs.org.uk/)
11. [Νικόλαος Γ. Τσούβαλης, *Ανάλυση και Σχεδίαση Σκαφών από Σύνθετα Υλικά \(Σημειώσεις\)*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1998](#)
12. [Lloyd's Register, *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*, July, 2020](#)
13. [Det Norske Veritas, *Rules for Classification, High Speed and Light Craft*, July, 2020](#)
14. [High Speed Aluminum Vessels Design Guide \(2012\), Ship Structure Committee.](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```

% Kuriaki 9-1-2022.
% Liatsis Alex Diploma Thesis.
% Liatsis Alexandros.
% Programmatismos se Matlab.

clear all
close all
clc

%% Inputs
nlongstifbot=input('What is the number of longitudinal stiffeners at bottom?');
nlongstifside=input('What is the number of longitudinal stiffeners at side?');
nlongstifdeck=input('What is the number of longitudinal stiffeners at deck?');
ntranstifreg(1)=input('Number of trans. stiff. at stern region at bottom, side and deck?');
ntranstifreg(2)=input('Number of trans. stiff. at machinery reg. at bottom, side and deck?');
ntranstifreg(3)=0; %Region of tank where there are not transverse stiffeners inside.
ntranstifreg(4)=input('Number of trans. stiff. at master bedroom at bottom, side and deck?');
ntranstifreg(5)=input('Number of trans. stiff. bef. stem region at bottom, side and deck?');
ntranstifreg(6)=input('Number of trans. stiff. at stem region at bottom, side and deck?');
%% Outputs
% nsections;
% ntranstif;
% nprimtranstif;
% nsectranstif;

% 1) Lloyd's Register Regulations.
% Pbotplates(nsections,nbotplates);
% Psideplates(nsections,nsideplates);
% Pdeckplates(nsections,ndeckplates);
% Ptransstif(1,ntranstif);
% Plonstifbot(numberlong,nlongstifbot);
% Plonstifside(numberlong,nlongstifside);
% Plonstifdeck(numberlong,nlongstifdeck);
% Thickness of plates for bottom, side & deck:
% tpbot(1,nsections);
% tpside(1,nsections);
% tpdeck(1,nsections);

```

```

% Longitudinal & transverse stiffeners: calculations.
% a) Web area: Aw=FA*p*s*l/(100*ftshear*tafa)                                %[cm^2]
% Awlongstifbot;
% Awtransprimstif;
% Awtransecstif;
% b) Inertia: I=FI*fdelta*p*s*(l^3)*100/E                                  %[cm^4]
% Inerlongstifbot;
% Inertransprimstif;
% Inertransecstif;
% c) Section modulus (SM): Z=FZ*p*s*(l^2)/(fsbend*tasha)                    %[cm^3]
% Zlongstifbot;
% Ztransprimstif;
% Ztransecstif;
% bkeelplate = breadth    bk of the plate keel [mm]. Keel plate for Lloyd's Register only.
% tkeelplate = thickness  tk of the plate keel [mm]. Keel plate for Lloyd's Register only.
% tstemplate = thickness  ts of the plate stems [mm]. Stem plate for Lloyd's Register only.

% 2) DNV Regulations.
% PbotplatDNV(nsections,nbotplates);
% PsideplatDNV(nsections,nsideplates);
% PdeckplatDNV(nsections,ndeckplates);
% tpbotDNV(nsections,nbotplates);
% tpsideDNV(nsections,nsideplates);
% tpdeckDNV(nsections,ndeckplates);
% Awgirdercl = Effective Web Area (Aw) of the centre girder [cm^2].
% Zgirdercl = Section Modulus (Z) of the centre girder [cm^3].

% Outputs above are calculated for the half of the craft.
% It is considered that the values are same for the mirror of the craft.
%% Number of transverse stiffeners
nsectionreg(1)=ntranstifreg(1)+1;
nsectionreg(2)=ntranstifreg(2)+1;
nsectionreg(3)=1;
nsectionreg(4)=ntranstifreg(4)+1;
nsectionreg(5)=ntranstifreg(5)+1;
nsectionreg(6)=ntranstifreg(6)+1;

ntranstif=ntranstifreg(1)+1+ntranstifreg(2)+2+ntranstifreg(4)+1+ntranstifreg(5)+1+ntranstifreg(6);
nsections=sum(nsectionreg); %Number of sections at displacement craft.

```

```

lentrstifreg=max(size(ntranstifreg));
lensectreg=max(size(nsectionreg));
numberlong=nsections+ntranstif+2;           %Number of longitudinals
%% Numbers of Sections etc
nbotplates=nlongstifbot+1;   %Number of bottom plates.
nsideplates=nlongstifside+1; %Number of side plates.
ndeckplates=nlongstifdeck+1; %Number of deck plates.
%% GENERAL PARTICULAR for ["MARLOW Explorer"]
L=22.81; %Length overall of displacement craft [m].
B=5.6;   %Breadth of displacement craft [m].
D=3.2;   %Depth of displacement craft [m].
T=1.35;  %Draught of displacement craft [m].
Lwl=20.12; %Length of displacement craft [m].
Lrule=Lwl; %Rule Length of displacement craft [m].

Displ=36.7; %Displacement of craft f [tonnes].

%Material of craft: Aluminum 5083-O.

Hsign=1.5; %Significant high H1/3 [m].
v=20;      %Velocity [knots].

g=9.81;

Gamma=v/(Lwl^0.5);

Elastic=69*1000; % Elastic modulus for Aluminum [MPa]

%Vertical acceleration av [m/s^2] according to "Lloyd's Register".
avLR=(0.2*Gamma+(34/Lwl))*g;

av=[avLR;20.99]; %Vertical acceleration [m/s^2].
%av[1]: Vertical acceleration [m/s^2] according to "Lloyd's Register".
%av[2]: Vertical acceleration [m/s^2] according to "DNV Classification".

Cb=0.236;
Fn=0.488; %Froude number Fr
slzone=0.5; %Slamming zone percentage.
%% Location of tank

```

```

% xregion: regions of craft
xregion=zeros(1,(lensectreg+1));
xregion(1)=1.2;
xregion(2)=4.2;
xregion(3)=8.2; %Longitudinal position before tank in [m].
xregion(4)=9.7;
xregion(5)=13.7;
xregion(6)=17.7;
xregion(7)=Lwl;
%% Size of Tables
Tx=zeros(1,numberlong);
ztotalbottomplates=zeros(1,numberlong);
zbot=zeros(numberlong,(nlongstifbot+1));
x=zeros(1,2*nsections+1);
xmidsc=zeros(1,nsections);
xboundaries=zeros(1,ntranstif+2);
xtransversestif=zeros(ntranstif,2);
Ptranstifbot=zeros(1,ntranstif);
Ptranstifside=zeros(1,ntranstif);
Ptranstif=zeros(ntranstif,2);
Pbottom=zeros(numberlong,nbotplates);
xcoefcalc=zeros(2*nsections+1,2);
aflareangleDNV=zeros(1,nsections);
GammaDNV=zeros(1,nsections);
PseaDNVbot=zeros(nsections,nbotplates);
PseaDNVside=zeros(nsections,nsideplates);
PseaDNVdeck=zeros(nsections,ndeckplates);
PvheavunDVN=zeros(nsections,nbotplates);
PslamlongstifbotDNV=zeros(ntranstif+1,1);
PslamlongstifsideDNV=zeros(ntranstif+1,1);
PslamlongstifdeckDNV=zeros(ntranstif+1,1);
%% CALCULATIONS

%Factors.
Cf=1;
Gf=1.25; %Sintiritiki epilogi.
Hf=1.05;
Sf=1;
deltafprim=0.5; %Primary stiffeners: sintelestis gia ta enisxitika.

```

```

deltafsecond=0.8; %Secondary stiffeners: sintelestis gia ta enisxitika.

kr=1.95; %Hull form wave pressure factor, mono-hull craft in the displacement mode.
ff=0.89; %Forebody impact pressure factor, mono-hull craft in the displacement mode.

% Tx for Sections
%
Txtable=[0.0 1.7 7.70 9.20 10.2 11.2 12.2 13.2 14.2 16.2 17.2 18.2 19.2 20.12;
          0.9 1.0 1.24 1.27 1.30 1.33 1.35 1.30 1.27 1.17 1.15 1.07 1.02 0.000];
% SOS Min ksexasw na elenxw tis swstes times twv Tx.
%% DIMENSIONS
%% xtransversestif: x positions at the longitudinal boundary of the two successive plates

kk=1;
xboundaries(1)=xregion(1);
for kk=1:(ntranstifreg(1))
    xboundaries(kk+1)=xboundaries(kk)+((xregion(2)-xregion(1))/nsectionreg(1));
    kk=kk+1;
end
xboundaries(ntranstifreg(1)+2)=xregion(2);
kk=ntranstifreg(1)+2;
for kk=(ntranstifreg(1)+2):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+1)
    xboundaries(kk+1)=xboundaries(kk)+((xregion(3)-xregion(2))/nsectionreg(2));
    kk=kk+1;
end
xboundaries(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+3)=xregion(3);
xboundaries(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+4)=xregion(4);
kk=ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+4;
for kk=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+4):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+3)
    xboundaries(kk+1)=xboundaries(kk)+((xregion(5)-xregion(4))/nsectionreg(4));
    kk=kk+1;
end
xboundaries(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+5)=xregion(5);
kk=ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+5;
for
kk=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+5):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg
(5)+4)
    xboundaries(kk+1)=xboundaries(kk)+((xregion(6)-xregion(5))/nsectionreg(5));

```

Formatted: English (U.S.)

```

    kk=kk+1;
end
xboundaries(ntranstif-ntranstifreg(6))=xregion(6);
kk=ntranstif-ntranstifreg(6);
for kk=(ntranstif-ntranstifreg(6)):ntranstif
    xboundaries(kk+1)=xboundaries(kk)+((xregion(7)-xregion(6))/nsectionreg(6));
    kk=kk+1;
end
xboundaries(ntranstif+2)=xregion(7);
ii=1;
for ii=1:ntranstif
    xtransversestif(ii,1)=xboundaries(ii+1);
    ii=ii+1;
end
ii=1;
for ii=1:(ntranstifreg(1))
    xtransversestif(ii,2)=input(['If trans. stif. no. ' num2str(ii) ' at stern region is primary, press 1. If it is
secondary, press 2. Answer:']);
    while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
        xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' at stern region is prim., press 1.
If secon., press 2. Answer:']);
    end
    ii=ii+1;
end
xtransversestif(ntranstifreg(1)+1,2)=1;
disp(['Transverse stiffener number ' num2str(ntranstifreg(1)+1) ' after transom and before machinery is primary.
Answer: 1']);
ii=(ntranstifreg(1)+2);
for ii=(ntranstifreg(1)+2):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+1)
    xtransversestif(ii,2)=input(['If trans. stif. no. ' num2str(ii) ' at machinery is primary, press 1. If it is
secondary, press 2. Answer:']);
    while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
        xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' at machinery is prim., press 1. If
secon., press 2. Answer:']);
    end
    ii=ii+1;
end
xtransversestif(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+2,2)=1;
disp(['Transverse stiffener number ' num2str(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+2) ' after machinery and before tanks

```



```

is primary. Answer: 1']);
xtransversestif(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+3,2)=1;
disp(['Transverse stiffener number ' num2str(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+3) ' after tank and before master
bedroom is primary. Answer: 1']);
ii=ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+4;
for ii=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+4):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+3)
    xtransversestif(ii,2)=input(['If trans. stif. no. ' num2str(ii) ' at master bedroom is primary, press 1. If it
is secondary, press 2. Answer:']);
    while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
        xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' at master bedroom is prim., press
1. If secon., press 2. Answer:']);
    end
    ii=ii+1;
end
xtransversestif((ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+4),2)=input(['If trans. stif. no. '
num2str(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+4) ' at fore end of master bedroom is primary, press 1. If
it is secondary, press 2. Answer:']);
    while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
        xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' at fore end of master bedroom is
prim., press 1. If secon., press 2. Answer:']);
    end
    for
ii=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+5):(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg
(5)+4)
        xtransversestif(ii,2)=input(['If trans. stif. no. ' num2str(ii) ' before stem region is primary, press 1. If it
is secondary, press 2. Answer:']);
        while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
            xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' before stem region is prim., press
1. If secon., press 2. Answer:']);
        end
        ii=ii+1;
    end
xtransversestif((ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg(5)+5),2)=1;
disp(['Transverse stiffener number ' num2str(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg(5)+5) ' at
stem is primary. Answer: 1']);
ii=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg(5)+6);
for ii=(ntranstifreg(1)+ntranstifreg(2)+ntranstifreg(4)+ntranstifreg(5)+6):ntranstif
    xtransversestif(ii,2)=input(['If trans. stif. no. ' num2str(ii) ' at stem region is primary, press 1. If it is
secondary, press 2. Answer:']);

```

```

while not(xtransversestif(ii,2)==1) && not(xtransversestif(ii,2)==2)
xtransversestif(ii,2)=input(['Invalid value. If tr.stif. no. ' num2str(ii) ' at stem region is prim., press 1.
If secon., press 2. Answer:']);
end
ii=ii+1;
end
%% x positions of plates
x(1)=xregion(1);
ii=2;
if 2<=nsectionreg(1)
for ii=2:(2*(nsectionreg(1))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(2)-xregion(1))/nsectionreg(1))/2;
ii=ii+1;
end
end
for ii=(2*(nsectionreg(1))+2):(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(3)-xregion(2))/nsectionreg(2))/2;
ii=ii+1;
end
for ii=(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))+2):(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(4)-xregion(3))/nsectionreg(3))/2;
ii=ii+1;
end
for ii=(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3))+2):(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(5)-xregion(4))/nsectionreg(4))/2;
ii=ii+1;
end
for ii=(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))+2):(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(6)-xregion(5))/nsectionreg(5))/2;
ii=ii+1;
end
for ii=(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))+2):(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+nsectionreg(6))+1)
x(ii)=x(ii-1)+((xregion(7)-xregion(6))/nsectionreg(6))/2;

```

```

        ii=ii+1;
end
%% xmiddlesect: x positions at the middle of the plates
xmidsc(1)=xregion(1)+((xregion(2)-xregion(1))/nsectionreg(1))/2;
ii=2;
if 2<=nsectionreg(1)
for ii=2:nsectionreg(1)
    xmidsc(ii)=xmidsc(ii-1)+((xregion(2)-xregion(1))/nsectionreg(1));
    ii=ii+1;
end
end
xmidsc(nsectionreg(1)+1)=xregion(2)+((xregion(3)-xregion(2))/nsectionreg(2))/2;
for ii=(nsectionreg(1)+2):(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))
    xmidsc(ii)=xmidsc(ii-1)+((xregion(3)-xregion(2))/nsectionreg(2));
    ii=ii+1;
end
xmidsc(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+1)=(xregion(3)+xregion(4))/2;
xcoefcalc((2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+1)),2)=1;
xmidsc(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+1)=xregion(4)+((xregion(5)-xregion(4))/nsectionreg(4))/2;
for
ii=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+2):(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))
    xmidsc(ii)=xmidsc(ii-1)+((xregion(5)-xregion(4))/nsectionreg(4));
    ii=ii+1;
end
xmidsc(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+1)=xregion(5)+((xregion(6)-
xregion(5))/nsectionreg(5))/2;
for
ii=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+2):(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))
    xmidsc(ii)=xmidsc(ii-1)+((xregion(6)-xregion(5))/nsectionreg(5));
    ii=ii+1;
end
xmidsc(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+1)=xregion(6)+((xregion(7)-
xregion(6))/nsectionreg(6))/2;
for
ii=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+2):(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+nsectionreg(6))
    xmidsc(ii)=xmidsc(ii-1)+((xregion(7)-xregion(6))/nsectionreg(6));
    ii=ii+1;
end

```

```

end
xcoefcalc(:,1)=x;
%% Ypologismos Tx [m]
ii=1;
jj=1;
for ii=1:numberlong
for jj=1:13
if (Thtable(1,jj)<=x(ii)) && (x(ii)<=Thtable(1,jj+1))
Tx(ii)=Thtable(2,jj)+((Thtable(2,jj+1)-Thtable(2,jj))*(x(ii)-Thtable(1,jj))/(Thtable(1,jj+1)-
Thtable(1,jj)));
TFPDNV=Tx(ii);
end
jj=jj+1;
end
end

%% Z: POSITION OF PLATES
%% zbottom: positions of bottom plates

ztotalbottomplates(ii)=(Tx(ii)-0)/nbotplates;
%zbottomplates: to sinoliko katakorifo mikos olwn tw n plakwn tou pitmena.
%Theoroume oti pithmenas einai oi plakes pou vriskontai apo to CL mexri to Tx.
jj=1;
for jj=1:nlongstifbot
zbot(ii,1)=ztotalbottomplates(ii)/2; %z: (High) ypsos tis lis plakas [m] opou askeitai h piesi.
zbot(ii,jj+1)=zbot(ii,jj)+ztotalbottomplates(ii);
jj=jj+1;
end

%% zside: positions of side plates

ztotalsideplates(ii)=(D-Tx(ii))/nsideplates;
%zsideplates: to sinoliko katakorifo mikos olwn tw n plakwn tis pleuras.
%Theoroume ws pleurika elasmata tis plakes pou vriskontai apo to chine mexri to weather deck.
jj=1;
for jj=1:nlongstifside
zside(ii,1)=Tx(ii); %z: (High) ypsos tis lis plakas [m] opou askeitai h piesi.
zside(ii,jj+1)=zside(ii,jj)+ztotalsideplates(ii);
jj=jj+1;
end
end

```

```

%% PRESSURE CALCULATIONS
%% Bottom shells: Pressure [kN/m^2]
zk=0; %Den exoume gonia.

%% Ph: Hydrostatic pressure
jj=1;
for jj=1:nbotplates
    Ph(ii,jj)=10*(Tx(ii)-(zbot(ii,jj)-zk)); %Ph: Hydrostatic pressure [kN/m^2].
    jj=jj+1;
end

%% Pw: Hydrodynamic wave pressure
%separation of two pressures "Pp & Pm"

xwl(ii)=x(ii); %longitudinal distance, in metres, measured forwards from the aft end of the LWL
                %to the position or centre of gravity of the item being considered.
xm=0.45-0.6*Fn;

if xm<0.2
    xm=0.2;
end

Cw=0.0771*Lwl*((Cb+0.2)^0.3)*(exp(-0.0044*Lwl));
km=1+kr*((0.5-xm)^2)/(Cb+0.2);
Cwmin=Cw/km;
Hrm(ii)=Cwmin*(1+(kr/(Cb+0.2)))*((xwl(ii)/Lwl-xm)^2); %Relative vertical motion. Motion response.
u(ii)=(2*pi*Tx(ii)/Lwl);
kz=exp(-u(ii));
% zk=0 dioti den exoume gonia. To zk exei hdh oristei sti Hydrostatic pressure.

if Lwl<60
    fl=0.6;
elseif Lwl>80
    fl=0.3;
else
    fl=1.5-0.015*Lwl;
end

```

```

Hpm(ii)=1.1*((2*xwl(ii)/Lwl)-1)*(Lwl^0.5);
if Hpm(ii)<f1*(Lwl^0.5)
    Hpm(ii)=f1*(Lwl^0.5);
end

Pp(ii)=10*Hpm(ii); %Lloyd's Register.

Hw(ii)=2*Hrm(ii); %Hw nominal wave limit height [m].

jj=1;
for jj=1:nbotplates
    if not(Tx(ii)==0)
        fzbot(ii,jj)=kz+(1-kz)*(zbot(ii,jj)-zk)/Tx(ii);
    else
        fzbot(ii,jj)=0;
    end
    Pmbot(ii,jj)=10*fzbot(ii,jj)*Hrm(ii); %Lloyd's Register.
    if Pp(ii)>Pmbot(ii,jj)
        Pwbot(ii,jj)=Pp(ii);
    else
        Pwbot(ii,jj)=Pmbot(ii,jj);
    end
    jj=jj+1;
end
end
%% Combined pressure Ps [kN/m^2]

jj=1;
for jj=1:nbotplates
    Pobot(ii,jj)=Ph(ii,jj)+Pwbot(ii,jj);
    jj=jj+1;
end

end

%% Pressure on weather and interior decks [kN/m^2]
%flwd calculation: the location factor fl for the weather decks.

if (0<=x(ii)) && (x(ii)<=0.88*Lrule)
    flwd(ii)=1;
elseif (0.88*Lrule<=x(ii)) && (x(ii)<=0.925*Lrule)
    flwd(ii)=1.25;
end

```

```

else
    flwd(ii)=1.5;
end

Ewh=(0.7+0.08*Lwl)/(D-T);
Pwh(ii)=flwd(ii)*(6+0.01*Lwl)*(1+0.05*Gamma)+Ewh;

%% IMPACT LOADS
%% Impact pressure Pdh for displacement mode [kN/m^2]

if (0<=x(ii)) && (x(ii)<=0.5*Lwl)
    Fidh(ii)=0;
elseif (0.5*Lwl<x(ii)) && (x(ii)<0.8*Lwl)
    Fidh(ii)=0.18*(x(ii)-0.5*Lwl)/(0.8*Lwl-0.5*Lwl);
elseif (0.8*Lwl<=x(ii)) && (x(ii)<=0.9*Lwl)
    Fidh(ii)=0.18;
else
    Fidh(ii)=0.18+(0.09-0.18)*(x(ii)-0.9*Lwl)/(1*Lwl-0.9*Lwl);
end

Pdh(ii)=Fidh(ii)*(19-2720*((Tx(ii)/Lwl)^2))*((Lwl*v)^0.5);

%% Forebody impact pressure Pf for displacement mode [kN/m^2]

jj=1;
for jj=1:nbotplates
    if (0<=x(ii)) && (x(ii)<0.75*Lwl)
        Pf(ii,jj)=0;
    elseif (0.75*Lwl<=x(ii)) && (x(ii)<=0.9*Lwl)
        Pf(ii,jj)=Pmbot(ii,jj)+(Pdh(ii)-Pmbot(ii,jj))*(x(ii)-0.75*Lwl)/(0.9*Lwl-0.75*Lwl);
        %Grammiki paremvoli metaxi tou Pm sto 0.75*Lwl kai tou Pdh sto 0.9*Lwl.
        %Gia x(ii)=0.75*Lwl tote Pf=Pm enw gia x(ii)=0.9*Lwl tote Pf=Pdh.
        %Pragma to opoio epalitheuetai simfona me ton parapano typo tis grammikis paremvolis.
    else
        Pf(ii,jj)=Pdh(ii)+(PffP-Pdh(ii))*(x(ii)-0.9*Lwl)/(1*Lwl-0.9*Lwl);
    end
end

PffP=ff*Lwl*((0.8+0.15*Gamma)^2); % ff: factors from Tables.

```

```

%% Bottom pressure Pbottom for displacement mode [kN/m^2]
% Epilogi megistis (max) piesis gia ton pithmena.
% Pdiorthbot: Diorthomenes me tous suntelestes pieseis.

Pdiorthbot(ii,jj,1)=Hf*Sf*Psbot(ii,jj);
Pdiorthbot(ii,jj,2)=Hf*Sf*Gf*Pdh(ii);
Pdiorthbot(ii,jj,3)=Hf*Sf*Gf*Pf(ii,jj);
Pbottom(ii,jj)=max(Pdiorthbot(ii,jj));

jj=jj+1;
end
%% Side shells: Pressure [kN/m^2]
% Side shells: pleurika elasmata skafous.
% Side shells theorountai ola ta elasmata pou vriskontai panw apo to chine.
% Ta side shells diatrexoun to chine.
% Pd=Pwh: Pressure (P) weather deck.

% Epilogi megistis piesis gia ta pleurika elasmata.
% Pside: Diorthomenes me tous suntelestes pieseis gia tin pleura.
jj=1;
for jj=1:nsideplates
    if not(Tx(ii)==0)
        fzside(ii,jj)=kz+(1-kz)*(zside(ii,jj)-zk)/Tx(ii);
    else
        fzside(ii,jj)=0;
    end
    Pmside(ii,jj)=10*fzside(ii,jj)*Hrm(ii);    %Lloyd's Register.
    if Pp(ii)>Pmside(ii,jj)
        Pwside(ii,jj)=Pp(ii);
    else
        Pwside(ii,jj)=Pmside(ii,jj);
    end
    Ps_side(ii,jj)=Pwside(ii,jj)+(Pwh(ii)-Pwside(ii,jj))*(zside(ii,jj)-Tx(ii))/(D-Tx(ii));
%% Pdhside: Side shell impact pressure [kN/m^2]
    if (x(ii)<0.5*Lw1)
        Pdhside(ii)=0;
    else
        Pdhside(ii)=Pdh(ii);
    end
end

```



```

    end
%% Side pressure Pside for displacement mode [kN/m^2]
%Pdiorthside: Diorthomenes me tous suntelestes pieseis stin pleura tou skafous.

Pdiorthside(ii,jj,1)=Hf*Sf*Ps_side(ii,jj);
Pdiorthside(ii,jj,2)=Hf*Sf*Gf*Pdhside(ii);
Pside(ii,jj)=(Pdiorthside(ii,jj));

jj=jj+1;
end
% Pdeck: Diorthomenes me tous suntelestes pieseis gia to katastroma (deck).
jj=1;
for jj=1:ndeckplates
%% Deck pressure Pdeck for displacement mode [kN/m^2]
Pdeck(ii,jj)=HF*Sf*Gf*Pwh(ii);
jj=jj+1;
end
ii=ii+1;
end
% Pw: askeitai sthn prwth plaka twn side shells epeidi auti vrisketai
% akriwvs panw sto chine, diladi akriwvs panw sto Tx, afou exoume thewrisei oti to chine peftei panw sto Tx.
% Pw: i piesi pou askeitai sto xamilotero simeio tou side shell, diladi sto chine.
%% Transom pressure Ptransom for displacement mode [kN/m^2]
% Ptransom: Diorthomenes me tous suntelestes pieseis gia ton kathrefth (transom).
yy=1;
zz=1;
% yy: nbotplates
% zz: nsideplates

Ltransomplate=max((D/(nsideplates+1)),((B/2)/nbotplates)); %a diastasi se [m]
Btransomplate=min((D/(nsideplates+1)),((B/2)/nbotplates)); %b diastasi se [m]

for yy=1:nbotplates
    Ptransom(1,yy)=Pbottom(1,yy);
    for zz=1:nsideplates
        Ptransom(zz+1,yy)=Pside(1,zz);
        zz=zz+1;
    end
    yy=yy+1;

```

```

end
Ptransom(1,:)=Pbottom(1,:);

ii=1;
jj=2;
while (jj<=numberlong)
    Pbotplates(ii,:)=Pbottom(jj,:);
    Psideplates(ii,:)=Pside(jj,:);
    Pdeckplates(ii,:)=Pdeck(jj,:);
    ii=ii+1;
    jj=jj+2;
end
%% STIFFENERS
%% Pressure for transverse stiffeners
% Ta enisxutika tha exoun tin megaluteri piesi tw n plakwn tou kathe section.
% Pressure [kN/m^2].
% Ptransstif(ii,1): Piesi (pressure) gia ta transverse stiffeners ston Pythmena (bottom shell).
% Ptransstif(ii,2): Piesi (pressure) gia ta transverse stiffeners stin pleura (side shell).
ii=1;
kk=3; %Metritis voithitikos gia na ksexwrish tis pieseis sta transverse stiffeners pou me endiaferoun.

nprimtranstif=0;
nsectranstif=0;
while (ii<=ntranstif) && kk<=(numberlong)
    if (xtransversestif(ii,2)==1)
        nprimtranstif=nprimtranstif+1;
        Ptranstifbot(ii)=deltafprim*max(Pbottom(kk,:));
        Ptranstifside(ii)=deltafprim*max(Pside(kk,:));
        Ptranstifdeck(ii)=deltafprim*max(Pdeck(kk,:));
        Ptransstif(ii,1)=deltafprim*max(Pbottom(kk,:));
        Ptransstif(ii,2)=deltafprim*max(Pside(kk,:));
        Ptransstif(ii,3)=deltafprim*max(Pdeck(kk,:));
    else
        % elseif (xtransversestif(ii,2)==2)
        nsectranstif=nsectranstif+1;
        Ptranstifbot(ii)=deltafsecond*max(Pbottom(kk,:));
        Ptranstifside(ii)=deltafsecond*max(Pside(kk,:));
        Ptranstifdeck(ii)=deltafsecond*max(Pdeck(kk,:));
        Ptransstif(ii,1)=deltafsecond*max(Pbottom(kk,:));
    end
end

```

```

        Ptransstif(ii,2)=deltafsecond*max(Pside(kk,:));
        Ptransstif(ii,3)=deltafsecond*max(Pdeck(kk,:));
    end
    ii=ii+1;
    kk=kk+2;
end

%% Pressure for longitudinal stiffeners
% Pressure [kN/m^2].
ii=1;
jj=1;
kk=2; %Metritis voithitikos gia na ksexwrish tis pieseis sta longitudinal stiffeners pou me endiaferoun.
% Plstbot:
% Pressure for longitudinal stiffeners at bottom [kN/m^2].
for ii=1:(numberlong)
    if kk<=(numberlong)
        for jj=1:nlongstifbot
            Plonstifbot(ii,jj)=deltafprim*max(Pbottom(kk,jj),Pbottom(kk,jj+1));
            jj=jj+1;
        end
        ii=ii+1;
        kk=kk+2;
    end
end

ii=1;
for ii=1:(numberlong)
    for jj=1:nlongstifbot
        Ptotlstbot(ii,jj)=deltafprim*max(Pbottom(ii,jj),Pbottom(ii,jj+1));
        jj=jj+1;
    end
    ii=ii+1;
end

% Pressure for longitudinal stiffeners at side [kN/m^2].
ii=1;
jj=1;

```

```

kk=2;
for ii=1:(numberlong)
    if kk<=(numberlong)
        for jj=1:nlongstifside
            Plonstifside(ii,jj)=deltafprim*max(Pside(kk,jj),Pside(kk,jj+1));
            jj=jj+1;
        end
        ii=ii+1;
        kk=kk+2;
    end
end

ii=1;
for ii=1:(numberlong)
    for jj=1:nlongstifside
        Ptotlstside(ii,jj)=deltafprim*max(Pside(ii,jj),Pside(ii,jj+1));
        jj=jj+1;
    end
    ii=ii+1;
end

% Pressure for longitudinal stiffeners at deck [kN/m^2].
ii=1;
jj=1;
kk=2;
for ii=1:(numberlong)
    if kk<=(numberlong)
        for jj=1:nlongstifdeck
            Plonstifdeck(ii,jj)=deltafprim*max(Pdeck(kk,jj),Pdeck(kk,jj+1));
            jj=jj+1;
        end
        ii=ii+1;
        kk=kk+2;
    end
end

ii=1;
for ii=1:(numberlong)
    for jj=1:nlongstifdeck

```

```

        Ptotlstdeck(ii,jj)=deltafprim*max(Pdeck(ii,jj),Pdeck(ii,jj+1));
        jj=jj+1;
        end
        ii=ii+1;
end

ii=1;
jj=1;
kk=1;

%% HULL CONSTRUCTION IN ALUMINIUM
%% SCANTLING DETERMINATION FOR MONO-HULL CRAFT
%% Symbols.

%l=;           %Stiffener overall length, in metres.
%le=;         %Effective span length, in metres.
%p=;         %design pressure, in kN/m2.
%s=700;      %Stiffener spacing, in mm.
%tp=;       %Plating thickness, in mm.
%Aw=;       %shear area of stiffener web, in cm2.
%E=;       %Modulus of elasticity, in N/mm2.
%I=;       %Moment of inertia, in cm4.
%Z=;       %Section modulus of the stiffening member, in cm3.

tasha=125;    %Guaranteed minimum 0.2 per cent proof stress of the alloy in the welded condition, in N/mm2.
ka=125/tasha; %Alloy factor.
gamma=1;     %Plate curvature factor (to exw parei iso me th monada dioti den exw kampilotita stis plakes
mou, epishs einai pio syntiritikh epilogh).
tafa=tasha/(sqrt(3));

spacingbot(ii,jj)=1000*((B/2)/nbotplates); %mm
spacingside(ii,jj)=1000*((B/2)/nsideplates); %mm
spacingdeck(ii,jj)=1000*((B/2)/ndeckplates); %mm

% panellength=1; %m
% panelbreadth=700; %mm

```

```

%% Material properties

%0.2 per cent proof stress (minimum) 125 N/mm2.
%Tensile strength 260 N/mm2.

% AR=panel length/panel breadth; %panel aspect ratio
% vita=Panel aspect ratio correction factor.

ii=1;
jj=1;
%AR=panel aspect ratio=panel length/panel breadth.
%vita_botpl: Factor vita for bottom plates.
%vita_botpl(ii,jj): Factor vita for each bottom plate.
for ii=1:nsections
    for jj=1:nbotplates
        panelL(ii,jj)=(xboundaries(ii+1)-xboundaries(ii)); %m
        panelBbot(ii,jj)=(B/2)/nbotplates; %m
        panelBside(ii,jj)=(B/2)/nsideplates; %m
        panelBdeck(ii,jj)=(B/2)/ndeckplates; %m
        ARbot(ii,jj)=panelL(ii,jj)/panelBbot(ii,jj);
        ARside(ii,jj)=panelL(ii,jj)/panelBside(ii,jj);
        ARdeck(ii,jj)=panelL(ii,jj)/panelBdeck(ii,jj);
        if ARbot(ii,jj)<=2
            vita_botpl(ii,jj)=ARbot(ii,jj)*(1-0.25*ARbot(ii,jj));
        else
            vita_botpl(ii,jj)=1;
        end
        if ARside(ii,jj)<=2
            vita_sidepl(ii,jj)=ARside(ii,jj)*(1-0.25*ARside(ii,jj));
        else
            vita_sidepl(ii,jj)=1;
        end
        if ARdeck(ii,jj)<=2
            vita_deckpl(ii,jj)=ARdeck(ii,jj)*(1-0.25*ARdeck(ii,jj));
        else
            vita_deckpl(ii,jj)=1;
        end
    end
end
% Bottom, side & main deck shell plating.

```

```

% Slamming zone: from 50% and forward.
if xmidsc(ii)<slzone*Lwl
fsplate(ii)=0.75;           %Elsewhere
else
fsplate(ii)=0.85;           %Slamming zone
end
    jj=jj+1;
end
    fsdeck(ii)=0.75;
    ii=ii+1;
end

vita_botpl(nsections,:)=vita_botpl(nsections-1,:);
vita_sidepl(nsections,:)=vita_sidepl(nsections-1,:);
vita_deckpl(nsections,:)=vita_deckpl(nsections-1,:);

%Shells:
%Main deck.
%fsdeck: Main deck plating. fs (bending).

%Keel
%fskeel: Keel plating.
fskeel=0.75;
% Longitudinal stiffeners.
% Exei ginei h paradoxh oti ola ta enisxutika einai primary.
for ii=1:nlongstifbot
fsbendlongbot(ii)=0.65;
ftshearlongbot(ii)=0.65;
fdeltalongbot(ii)=625;
Fincoeflongbot(ii)=1/384;           %Inertia coefficient for primary stiffener.
ii=ii+1;
end
ii=1;
for ii=1:nlongstifside
fsbendlongside(ii)=0.65;
ftshearlongside(ii)=0.65;
fdeltalongside(ii)=625;
Fincoeflongside(ii)=1/384;         %Inertia coefficient for primary stiffener.
ii=ii+1;

```

```

end
ii=1;
for ii=1:nlongstifdeck
fsbendlongdeck(ii)=0.65;
ftshearlongdeck(ii)=0.65;
fdeltalongdeck(ii)=625;
Fincoeflongdeck(ii)=1/384;           %Inertia coefficient for primary stiffener.
ii=ii+1;
end
%secondary stif.
ii=1;
for ii=1:ntranstif
    if (xtransversestif(ii,2)==2)
        Fincoeftrans(ii)=1/288;           %Inertia coefficient for secondary stiffener.
        if xtransversestif(ii,1)<slzone*Lwl
fsbendtrans(ii)=0.65;           %Elsewhere.
ftsheartrans(ii)=0.65;       %Elsewhere.
            else
fsbendtrans(ii)=0.75;           %Slamming zone.
ftsheartrans(ii)=0.75;       %Slamming zone.
            end
fdeltatranbot(ii)=475;
fdeltatranside(ii)=475;
fdeltatrandeck(ii)=625;
            else
                % elseif (xtransversestif(ii,2)==1)
Fincoeftrans(ii)=1/384;           %Inertia coefficient for primary stiffener.
fsbendtrans(ii)=0.65;           %Primary stiffener.
ftsheartrans(ii)=0.65;       %Primary stiffener.
fdeltatranbot(ii)=625;
fdeltatranside(ii)=625;
fdeltatrandeck(ii)=775;
            end
ii=ii+1;
end

%% PLATING & STIFFENING GENERAL
%% Limiting stress coefficient & deflection ratios from table.

```



```

%Stiffeners:

% ft (shear).
% Bottom & Side structure.
% Primary & web frames.
% ftshear=0.65;
% Secondary stif.
% ftshear=0.65;           %Elsewhere
% ftshear=0.75;         %Slamming zone
% Main deck plating & stif.
% Primary,web frames & secondary.
% ftshear=0.65;

% fdelta (deflection).
% Bottom & Side structure.
% Primary, web frames.
% fdelta=625;
% Secondary.
% fdelta=475;
% Main deck stif.
% Primary & web frames.
% fdelta=775;
% Secondary.
% fdelta=625;

%% Section modulus, inertia and web area coefficients:

%Primary:
%FA1=1/2;           %Web area coefficient.
%FA3=1/2;

%FZ1=1/12;         %Section modulus coefficient.
%FZ2=1/24;
%FZ3=1/12;

% FI2=1/384;       %Inertia coefficient.

```

```

%Secondary:
% FA1=1/2;           %Web area coefficient.
% FA3=1/2;

% FZ1=1/10;         %Section modulus coefficient.
% FZ2=1/10;
% FZ3=1/10;
% FI2=1/288;       %Inertia coefficient.

% Coefflongprimstif(:,1)=x1,x2 ... etc=Longitudinal location x [m] for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
% Coefflongprimstif(:,2)=L1,L2 ... etc=Lenght L [m] between two longitudinal primary stiffeners at section 1,2 etc.
% Coefflongprimstif(:,3)=FA1,FA2,FA3 =Web area coefficient for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
% Coefflongprimstif(:,4)=FZ1,FZ2,FZ3 =Section modulus coefficient for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
% Coefflongprimstif(:,5)=Fincoeflongbot(ii)=1/384;=Inertia coefficient for primary longitudinal stiffener.
ii=1;
kk=1;
mm=1;
nn=2;
ff=1;
% jj=2;
while (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
    PmaxbotSM(ff)=0;
    PmaxlongstifbotSM(ff)=0;
    PmaxsideSM(ff)=0;
    PmaxlongstifsideSM(ff)=0;
    PmaxdeckSM(ff)=0;
    PmaxlongstifdeckSM(ff)=0;
    while (not(xtransversestif(kk,2)==1)) && not(kk==1)
        if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif) && (2*kk<=(numberlong))
            PmaxbotSM(ff)=max(PmaxbotSM(ff),max(Pbottom(2*kk,:)));
            PmaxlongstifbotSM(ff)=max(PmaxlongstifbotSM(ff),max(Plonstifbot(kk,:)));
            PmaxsideSM(ff)=max(PmaxsideSM(ff),max(Pside(2*kk,:)));
            PmaxlongstifsideSM(ff)=max(PmaxlongstifsideSM(ff),max(Plonstifside(kk,:)));
            PmaxdeckSM(ff)=max(PmaxdeckSM(ff),max(Pdeck(2*kk,:)));
            PmaxlongstifdeckSM(ff)=max(PmaxlongstifdeckSM(ff),max(Plonstifdeck(kk,:)));
        end
        kk=kk+1;
        mm=mm+1;
    if (kk>ntranstif)

```

```

        break
    end
end
mm=mm+1;
if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
while ((not(xtransversestif(mm,2)==1)) && not(mm==ntranstif))
    if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif) && (2*mm<=(numberlong))
        PmaxbotSM(ff)=max(PmaxbotSM(ff),max(Pbottom(2*mm,:)));
        PmaxlongstifbotSM(ff)=max(PmaxlongstifbotSM(ff),max(Plonstifbot(mm,:)));
        PmaxsideSM(ff)=max(PmaxsideSM(ff),max(Pside(2*mm,:)));
        PmaxlongstifsideSM(ff)=max(PmaxlongstifsideSM(ff),max(Plonstifside(mm,:)));
        PmaxdeckSM(ff)=max(PmaxdeckSM(ff),max(Pdeck(2*mm,:)));
        PmaxlongstifdeckSM(ff)=max(PmaxlongstifdeckSM(ff),max(Plonstifdeck(mm,:)));
    end
    if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
        mm=mm+1;
    end
    if (mm>ntranstif)
        break
    end
end
end
if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
    if (kk==1)
        Coefflongprimstif(ii,1)=xregion(1);
        Coefflongprimstif(ii+1,1)=(xregion(1)+xtransversestif(mm,1))/2;
        Coefflongprimstif(ii+2,1)=xtransversestif(mm,1);
        Coefflongprimstif(nn,2)=(xtransversestif(mm,1)-(xregion(1)));
        elseif (mm==ntranstif)
            Coefflongprimstif(ii,1)=xtransversestif(kk,1);
            Coefflongprimstif(ii+1,1)=(xtransversestif(kk,1)+xregion(7))/2;
            Coefflongprimstif(ii+2,1)=xregion(7);
            Coefflongprimstif(nn,2)=(xregion(7)-(xtransversestif(kk,1)));
        else
            Coefflongprimstif(ii,1)=xtransversestif(kk,1);
            Coefflongprimstif(ii+1,1)=(xtransversestif(kk,1)+xtransversestif(mm,1))/2;
            Coefflongprimstif(ii+2,1)=xtransversestif(mm,1);
            Coefflongprimstif(nn,2)=(xtransversestif(mm,1)-(xtransversestif(kk,1)));
        end
    end
end

```

```

%Coefflongprimstif(:,3)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
Coefflongprimstif(ii,3)=1/2;
Coefflongprimstif(ii+1,3)=0;
Coefflongprimstif(ii+2,3)=1/2;
%Coefflongprimstif(:,4)=FZ1,FZ2,FZ3=Section modulus coefficient Z for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
Coefflongprimstif(ii,4)=1/12;
Coefflongprimstif(ii+1,4)=1/24;
Coefflongprimstif(ii+2,4)=1/12;
%Coefflongprimstif(:,5)=Inertia coefficient I for primary longitudinal stiffener.
Coefflongprimstif(ii,5)=0;
Coefflongprimstif(ii+1,5)=1/384;
Coefflongprimstif(ii+2,5)=0;
%Coefflongprimstif(:,6)=fsbendlongbot=0.65; only for primary stiffeners.
Coefflongprimstif(ii,6)=0.65;
Coefflongprimstif(ii+1,6)=0.65;
Coefflongprimstif(ii+2,6)=0.65;
%Coefflongprimstif(:,7)=PmaxbotSM; Maximum bottom pressure P [kN/m^2] between two longitudinal primary
stiffeners at section 1,2 etc.
Coefflongprimstif(nn,7)=PmaxbotSM(ff);
Coefflongprimstif(nn,8)=PmaxlongstifbotSM(ff);
%Coefflongprimstif(:,18)=PmaxsideSM; Maximum side pressure P [kN/m^2] between two longitudinal primary
stiffeners at section 1,2 etc.
Coefflongprimstif(nn,18)=PmaxsideSM(ff);
Coefflongprimstif(nn,19)=PmaxlongstifsideSM(ff);
%Coefflongprimstif(:,20)=PmaxdeckSM; Maximum deck pressure P [kN/m^2] between two longitudinal primary
stiffeners at section 1,2 etc.
Coefflongprimstif(nn,20)=PmaxdeckSM(ff);
Coefflongprimstif(nn,21)=PmaxlongstifdeckSM(ff);
ii=ii+2;
kk=mm;
nn=nn+2;
ff=ff+1;
end

%% Plating:
% vita=1;
ii=1;
jj=1;

```

```

kk=2;
for ii=1:nsections
    tpbot(ii)=22.4*spacingbot*gamma*max(vita_botpl(ii,:))*(max(Pbottom(kk,:))/(fsplate(ii)*tasha))^(1/2)*(10^-3);
%mm
    tpside(ii)=22.4*spacingside*gamma*max(vita_sidepl(ii,:))*(max(Pside(kk,:))/(fsplate(ii)*tasha))^(1/2)*(10^-3);
%mm
    tpdeck(ii)=22.4*spacingdeck*gamma*max(vita_deckpl(ii,:))*(max(Pdeck(kk,:))/(fsdeck(ii)*tasha))^(1/2)*(10^-3);
%mm
    ii=ii+1;
    kk=kk+2;
end

%% Keel plate & plate stem.
% Keel plates for Lloyd's only.
bkeelplate=(7.0*(Lrule))+340;          %bkeelplat=breath  bk of the plate keel [mm].
tkeelplate=1.85*(sqrt(ka))*(Lrule^0.45); %tkeelplat=thickness tk of the plate keel [mm].
% Stem plates for Lloyd's only.
tstemplate=(sqrt(ka))*((0.14*Lrule)+4); %tstemplate=thickness ts of the plate stems [mm].

%% Centre girder according to Lloyd's Register.
% page 499 of 1193.
twebgirdercl=1.4*(sqrt(ka))*(sqrt(Lrule)+1); %The Web Thickness tw of the centre girder [mm].
Afgirdercl=0.56*Lrule*ka;                  %The Face Flat Area Af of the centre girder [cm^2].

%% Stiffening General:

%Aw=;          %shear area of stiffener web, in cm2.
%E=;          %Modulus of elasticity, in N/mm2.
%I=;          %Moment of inertia, in cm4.
%Z=;          %Section modulus of the stiffening member, in cm3.

% Longitudinal Stiffeners
Coefflongprimstifheight=size(Coefflongprimstif,1);
ii=1;
jj=2;
for ii=1:(2*nsections+1)
    if (xcoefcalc(ii,2)==1)
        % wee=1
        while (jj<=Coefflongprimstifheight)

```

```

        if (Coefflongprimstif(jj,7)==0)
            Coefflongprimstif(jj,7)=max(Pbottom(ii,:));
            Coefflongprimstif(jj,8)=max(Plonstifbot(abs(ii/2),:));
        end
        jj=jj+2;
    end
    end
    ii=ii+1;
end

Zlongstifbot=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Inerlongstifbot=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Aulongstifbot=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Zlongstifside=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Inerlongstifside=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Aulongstifside=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Zlongstifdeck=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Inerlongstifdeck=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
Aulongstifdeck=zeros(Coefflongprimstifheight,1);
% DNV
ZlongstifbendbotDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifslbotDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifbotDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifbendsideDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifslsideDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifsideDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifbendeckDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifsldeckDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);
ZlongstifdeckDNV=zeros(1,Coefflongprimstifheight);

ii=1;
jj=1;
while ii<=Coefflongprimstifheight
    %Coefflongprimstif(:,2)=L1,L2 ... etc=Lenght L [m] between two longitudinal primary stiffeners at section 1,2
    etc.
    %Coefflongprimstif(:,4)=FZ1,FZ2,FZ3=Section modulus coefficient Z for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
    %Coefflongprimstif(:,6)=fsbendlongbot=0.65; only for primary stiffeners.
    %Coefflongprimstif(:,7)=PmaxbotSM=Maximum bottom pressure P [kN/m^2] between two longitudinal primary stiffeners
    at section 1,2 etc.
end

```

```

%Coefflongprimstif(:,5)=Inertia coefficient I for primary longitudinal stiffener.
if ii<=(Coefflongprimstifheight-1)

Zlongstifbot(ii)=max(Zlongstifbot(ii),(Coefflongprimstif(ii,4)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii,6)*tasha));

Zlongstifbot(ii+1)=max(Zlongstifbot(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,4)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii+1,6)*tasha));

Inerlongstifbot(ii)=max(Inerlongstifbot(ii),(Coefflongprimstif(ii,5)*fdeltalongbot(1)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Inerlongstifbot(ii+1)=max(Inerlongstifbot(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,5)*fdeltalongbot(1)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));
%Coefflongprimstif(:,3)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.

Aulongstifbot(ii)=Coefflongprimstif(ii,3)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100*ftshearlongbot(1)*tafa);

Aulongstifbot(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,3)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100*ftshearlongbot(1)*tafa);
end
if ii<=(Coefflongprimstifheight-2)

Zlongstifbot(ii+2)=max(Zlongstifbot(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,4)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii+2,6)*tasha));

Inerlongstifbot(ii+2)=max(Inerlongstifbot(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,5)*fdeltalongbot(1)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Aulongstifbot(ii+2)=Coefflongprimstif(ii+2,3)*Coefflongprimstif(ii+1,8)*spacingbot*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100*ftshearlongbot(1)*tafa);
end
if ii<=(Coefflongprimstifheight-1)

Zlongstifside(ii)=max(Zlongstifside(ii),(Coefflongprimstif(ii,4)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingbot*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii,6)*tasha));

Zlongstifside(ii+1)=max(Zlongstifside(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,4)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingbot*((Coef

```

```

flongprimstif(ii+1,2)^2)/(Coefflongprimstif(ii+1,6)*tasha));

Inerlongstifside(ii)=max(Inerlongstifside(ii),(Coefflongprimstif(ii,5)*fdeltalongside(1)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*
spacingside*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Inerlongstifside(ii+1)=max(Inerlongstifside(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,5)*fdeltalongside(1)*Coefflongprimstif(ii+
1,19)*spacingside*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));
    %Coefflongprimstif(:,3)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.

Aulongstifside(ii)=Coefflongprimstif(ii,3)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingside*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100*fts
hearlongside(1)*tafa);

Aulongstifside(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,3)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingside*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100
*ftshearlongside(1)*tafa);
    end
    if ii<=(Coefflongprimstifheight-2)

Zlongstifside(ii+2)=max(Zlongstifside(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,4)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingside*((Coef
flongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii+2,6)*tasha));

Inerlongstifside(ii+2)=max(Inerlongstifside(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,5)*fdeltalongside(1)*Coefflongprimstif(ii+
1,19)*spacingside*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Aulongstifside(ii+2)=Coefflongprimstif(ii+2,3)*Coefflongprimstif(ii+1,19)*spacingside*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100
*ftshearlongside(1)*tafa);
    end
    if ii<=(Coefflongprimstifheight-1)

Zlongstifdeck(ii)=max(Zlongstifdeck(ii),(Coefflongprimstif(ii,4)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*((Coefflongp
rimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii,6)*tasha));

Zlongstifdeck(ii+1)=max(Zlongstifdeck(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,4)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*((Coef
flongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii+1,6)*tasha));

Inerlongstifdeck(ii)=max(Inerlongstifdeck(ii),(Coefflongprimstif(ii,5)*fdeltalongdeck(1)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*
spacingdeck*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Inerlongstifside(ii+1)=max(Inerlongstifside(ii+1),(Coefflongprimstif(ii+1,5)*fdeltalongdeck(1)*Coefflongprimstif(ii+
1,21)*spacingdeck*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

```



```

    %Coefflongprimstif(:,3)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.

Aulongstifdeck(ii)=Coefflongprimstif(ii,3)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100*fts
hearlongdeck(1)*tafa);

Aulongstifdeck(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,3)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100
*ftshearlongdeck(1)*tafa);
    end
    if ii<=(Coefflongprimstifheight-2)

Zlongstifdeck(ii+2)=max(Zlongstifdeck(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,4)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*((Coef
flongprimstif(ii+1,2))^2)/(Coefflongprimstif(ii+2,6)*tasha));

Inerlongstifdeck(ii+2)=max(Inerlongstifdeck(ii+2),(Coefflongprimstif(ii+2,5)*fdeltalongdeck(1)*Coefflongprimstif(ii+
1,21)*spacingdeck*((Coefflongprimstif(ii+1,2))^3)*100/Elastic));

Aulongstifdeck(ii+2)=Coefflongprimstif(ii+2,3)*Coefflongprimstif(ii+1,21)*spacingdeck*Coefflongprimstif(ii+1,2)/(100
*ftshearlongdeck(1)*tafa);
    end
    ii=ii+2;
end
Inerlongstifdeck=Inerlongstifside;
%a) Section modulus:
%Z=FZ*p*s*l^2/fsbend*tasha                                %[cm^3]

%b) Inertia:
%I=FI*fdelta*p*s*l^3*100/E                                %[cm^4]

%c) Web area:
%Aw=FA*p*s*l/100*ftshear*tafa                              %[cm^2]

% Transverse stiffeners
% Aw, Inertia & Z Section Modululs (SM) gia ta transverse stiffeners.

Coefftranstif=zeros(ntranstif,(nlongstifbot+nbotplates+nlongstifside+nsideplates+nlongstifdeck+ndeckplates+4));

Coefftranstiflength=nlongstifbot+nbotplates+nlongstifside+nsideplates+nlongstifdeck+ndeckplates+4;

```

```

ii=1;
kk=3;
for ii=1:ntranstif
    jj=1;
    mm=1;
    if (xtransversestif(ii,2)==1)
        while jj<=5
            %Coefftransprimstif(:,1)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for primary stiffeners at positions 1,2 and 3.
            Coefftransprimstif(ii,jj,1)=1/2;
            Coefftransprimstif(ii,jj+1,1)=0;
            Coefftransprimstif(ii,jj+2,1)=1/2;
            %Coefftransprimstif(:,2)=FZ1,FZ2,FZ3=Section modulus coefficient Z for primary stiffeners at positions 1,2
and 3.
            Coefftransprimstif(ii,jj,2)=1/12;
            Coefftransprimstif(ii,jj+1,2)=1/24;
            Coefftransprimstif(ii,jj+2,2)=1/12;
            %Coefftransprimstif(:,3)=Inertia coefficient I for primary longitudinal stiffener.
            Coefftransprimstif(ii,jj,3)=0;
            Coefftransprimstif(ii,jj+1,3)=1/384;
            Coefftransprimstif(ii,jj+2,3)=0;
            %Coefftransprimstif(:,4)=fsbending for primary transverse stiffeners.
            Coefftransprimstif(ii,jj,4)=0.65;
            Coefftransprimstif(ii,jj+1,4)=0.65;
            Coefftransprimstif(ii,jj+2,4)=0.65;
            %Coefftransprimstif(:,5)=tshear for primary transverse stiffeners.
            Coefftransprimstif(ii,jj,5)=0.65;
            Coefftransprimstif(ii,jj+1,5)=0.65;
            Coefftransprimstif(ii,jj+2,5)=0.65;
            if jj==1
                fdeltatransprimstif(ii,jj+1)=625; %bottom
                Lengthtransprimstif(ii,jj+1)=spacingbot*nbotplates/1000; % [m]
                Ptransprimstif(ii,jj+1)=Ptranstifbot(ii);
                spactransprimstif(ii,jj+1)=spacingbot;
            elseif jj==3
                fdeltatransprimstif(ii,jj+1)=625; %side
                Lengthtransprimstif(ii,jj+1)=spacingside*nsideplates/1000; % [m]
                Ptransprimstif(ii,jj+1)=Ptranstifside(ii);
                spactransprimstif(ii,jj+1)=spacingside;
            else

```

```

        fdeltatransprimstif(ii,jj+1)=775; %deck
        Lengthtransprimstif(ii,jj+1)=spacingdeck*ndeckplates/1000; %[m]
        Ptransprimstif(ii,jj+1)=Ptranstifdeck(ii);
        spactransprimstif(ii,jj+1)=spacingdeck;
    end

    Awtransprimstif(ii,jj)=Coefftransprimstif(ii,jj,1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*Lengthtransprimstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransprimstif(ii,jj,5)*tafa);

    Awtransprimstif(ii,jj+1)=Coefftransprimstif(ii,jj+1,1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*Lengthtransprimstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransprimstif(ii,jj+1,5)*tafa);

    Awtransprimstif(ii,jj+2)=Coefftransprimstif(ii,jj+2,1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*Lengthtransprimstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransprimstif(ii,jj+2,5)*tafa);

    Inertransprimstif(ii,jj)=Coefftransprimstif(ii,jj,3)*fdeltatransprimstif(ii,jj+1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Inertransprimstif(ii,jj+1)=Coefftransprimstif(ii,jj+1,3)*fdeltatransprimstif(ii,jj+1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Inertransprimstif(ii,jj+2)=Coefftransprimstif(ii,jj+2,3)*fdeltatransprimstif(ii,jj+1)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Ztransprimstif(ii,jj)=Coefftransprimstif(ii,jj,2)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransprimstif(ii,jj,4)*tasha);

    Ztransprimstif(ii,jj+1)=Coefftransprimstif(ii,jj+1,2)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransprimstif(ii,jj+1,4)*tasha);

    Ztransprimstif(ii,jj+2)=Coefftransprimstif(ii,jj+2,2)*Ptransprimstif(ii,jj+1)*spactransprimstif(ii,jj+1)*(Lengthtransprimstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransprimstif(ii,jj+2,4)*tasha);
        jj=jj+2;
    end
    else
        while jj<=(Coefftranstiflength-2)
            %Coefftransecstif(:,1)=FA1,FA2,FA3=Web area coefficient AW for secondary transverse stiffeners at positions 1,2 and 3.
            Coefftransecstif(ii,jj,1)=1/2;

```

```

Coefftransecstif(ii,jj+1,1)=0;
Coefftransecstif(ii,jj+2,1)=1/2;
%Coefftransecstif(:,2)=FZ1,FZ2,FZ3=Section modulus coefficient Z for secondary transverse stiffeners at
positions 1,2 and 3.
Coefftransecstif(ii,jj,2)=1/10;
Coefftransecstif(ii,jj+1,2)=1/10;
Coefftransecstif(ii,jj+2,2)=1/10;
%Coefftransecstif(:,3)=Inertia coefficient I for secondary transverse stiffeners.
Coefftransecstif(ii,jj,3)=0;
Coefftransecstif(ii,jj+1,3)=1/288;
Coefftransecstif(ii,jj+2,3)=0;
%Coefftranstif(:,4)=fsbending for secondary transverse stiffeners.
%Coefftranstif(:,5)=tshear for secondary transverse stiffeners.
if xtransversestif(ii,1)<slzone*Lwl
Coefftransecstif(ii,jj,4)=0.65; %Elsewhere.
Coefftransecstif(ii,jj+1,4)=0.65; %Elsewhere.
Coefftransecstif(ii,jj+2,4)=0.65; %Elsewhere.
Coefftransecstif(ii,jj,5)=0.65; %Elsewhere.
Coefftransecstif(ii,jj+1,5)=0.65; %Elsewhere.
Coefftransecstif(ii,jj+2,5)=0.65; %Elsewhere.
else
Coefftransecstif(ii,jj,4)=0.75; %Slamming zone.
Coefftransecstif(ii,jj+1,4)=0.75; %Slamming zone.
Coefftransecstif(ii,jj+2,4)=0.75; %Slamming zone.
Coefftransecstif(ii,jj,5)=0.75; %Slamming zone.
Coefftransecstif(ii,jj+1,5)=0.75; %Slamming zone.
Coefftransecstif(ii,jj+2,5)=0.75; %Slamming zone.
end
if (jj<=(2*nbotplates))
fdeltatransecstif(ii,jj+1)=475; %bottom
Lengthtransecstif(ii,jj+1)=spacingbot/1000; %[m]
Ptransecstif(ii,jj+1)=deltafsecond*Pbottom(kk,mm);
spactransecstif(ii,jj+1)=spacingbot;
elseif ((2*nbotplates)<jj<=(2*(nbotplates+nsideplates)))
fdeltatransecstif(ii,jj+1)=475; %side
Lengthtransecstif(ii,jj+1)=spacingside/1000; %[m]
Ptransecstif(ii,jj+1)=deltafsecond*max(Pside(kk,:));
spactransecstif(ii,jj+1)=spacingside;
else

```

```

        fdeltatransecstif(ii,jj+1)=625; %deck
        Lengthtransecstif(ii,jj+1)=spacingdeck/1000; %[m]
        Ptransecstif(ii,jj+1)=deltafsecond*max(Pdeck(kk,:));
        spactransecstif(ii,jj+1)=spacingdeck;
    end

    Awtransecstif(ii,jj)=Coefftransecstif(ii,jj,1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*Lengthtransecstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransecstif(ii,jj,5)*tafa);

    Awtransecstif(ii,jj+1)=Coefftransecstif(ii,jj+1,1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*Lengthtransecstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransecstif(ii,jj+1,5)*tafa);

    Awtransecstif(ii,jj+2)=Coefftransecstif(ii,jj+2,1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*Lengthtransecstif(ii,jj+1)/(100*Coefftransecstif(ii,jj+2,5)*tafa);

    Inertransecstif(ii,jj)=Coefftransecstif(ii,jj,3)*fdeltatransecstif(ii,jj+1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Inertransecstif(ii,jj+1)=Coefftransecstif(ii,jj+1,3)*fdeltatransecstif(ii,jj+1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Inertransecstif(ii,jj+2)=Coefftransecstif(ii,jj+2,3)*fdeltatransecstif(ii,jj+1)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^3)*100/Elastic;

    Ztransecstif(ii,jj)=Coefftransecstif(ii,jj,2)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransecstif(ii,jj,4)*tasha);

    Ztransecstif(ii,jj+1)=Coefftransecstif(ii,jj+1,2)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransecstif(ii,jj+1,4)*tasha);

    Ztransecstif(ii,jj+2)=Coefftransecstif(ii,jj+2,2)*Ptransecstif(ii,jj+1)*spactransecstif(ii,jj+1)*(Lengthtransecstif(ii,jj+1)^2)/(Coefftransecstif(ii,jj+2,4)*tasha);
        jj=jj+2;
        mm=mm+1;
    end
end
ii=ii+1;
kk=kk+2;
end

```

```

%% Ekkremotites gia ton kwdika:

% 1) Grammika metavalomeno fortio.
% 2) Keel plate.
% To Keel plate ekteinetai se mikos to polu 0.5 m.
% 3) Varh.

%% DNV
%% CALCULATIONS [DNV]

%Primary stiffeners: sintelestis gia ta enisxitika.
%Secondary stiffeners: sintelestis gia ta enisxitika.

LratioDNV=v/(Lwl^0.5); % length ratio.

%Factors.
frDNV=1; %For class notation R0.

if Lwl<=100
    CwDNV=0.08*Lwl*frDNV; %for L<=100 [m] %Cw: wave coefficient.
else
    CwDNV=(6+0.02*Lwl)*frDNV; %for L>100 [m]
end

HsiDNV=1.5; %Significant wave height [m].
goDNV=9.81;

VidNV=v;
ktDNV=1.5-(0.046*(VidNV/(Lwl^0.5)));
khDNV=1; %Hull type factor.
BWL=B;
bcgDNV=24; %bcgDNV=ATAN(1.27/2.8) [degrees] at 40%L.

FNvDNV=0.5144*VidNV/(sqrt(goDNV*(Displ^0.333)));

```

```

% acgi [m/(s^2)]: Design Vertical Acceleration.
if (ViDnv/(Lwl^0.5))>=10.86
    acgiDnv=(8.38*go*kt/((Lwl/(Displ^(1/3)))^0.35))*((HsiDnv/BWL)+0.084)*(50-
bcgDnv)*log(FNvDnv)*ViDnv*(sqrt(Lwl))*(BWL^2)/(1000*Displ);
elseif (ViDnv/(Lwl^0.5))>=3
    acgiDnv=(khDnv*goDnv/1650)*((HsiDnv/BWL)+0.084)*(50-bcgDnv)*((ViDnv/(Lwl^0.5))^2)*Lwl*(BWL^2)/Displ;
else
    acgiDnv=(6*HsiDnv/Lwl)*(0.85+0.35*(ViDnv/(Lwl^0.5)))*goDnv;
end
if (acgiDnv>6.0*goDnv)
    acgiDnv=6.0*goDnv;
end
CHSLC=0.24; %Yacht.
CRW=1; %for unlimited service range R0.
% acg [m/(s^2)]: Vertical Acceleration.
acgDnv=max(acgiDnv);
if (acgDnv<(CHSLC*CRW*(ViDnv/(Lwl^0.5))*goDnv))
    acgDnv=CHSLC*CRW*(ViDnv/(Lwl^0.5))*goDnv;
end
if (acgDnv<1.0*goDnv) %for service restrictions R0-R4.
    acgDnv=1.0*goDnv;
end

ii=1;
for ii=1:numberlong
    hobot(ii,:)=Tx(ii)-zbot(ii,:);
    %kv: Longitudinal distribution factor.
    if (x(ii)>(0.5*Lwl))
        kvDnv(ii)=1+(2-1)*Lwl/(2*(x(ii)-0.5*Lwl));
    else
        kvDnv(ii)=1;
    end
    %av [m/s^2]: the design vertical acceleration at different positions along craft's length.
    avDnv(ii)=kvDnv(ii)*acgDnv;
    ii=ii+1;
end

%% Horizontal accelerations + Combined accelerations.
%% Pressure & Forces.

```

```

% PslDNV=Pslamming; design slamming zone according to DNV regulations.
% PpitslDNV: pitching slamming zone according to DNV regulations.
nhullsDNV=1; %number of hulls, 1 for mono hull, 2 for catamaran, trimaran and other multi hulls will be specially
considered.
% ADNV: design load area for element considered in [m].
% Length of plates for bottom, side & deck.
ArefDNV=0.7*Displ/T; %ArefDNV: reference area from impact loads
ii=2;
while ii<=(numberlong-1)
    Lplates(ii/2)=(x(ii+1)-x(ii-1));
    ii=ii+2;
end

% Spacing (s) of plates for bottom, side & deck [m].
sDNVbot=(B/2)/nbotplates;
sDNVside=(B/2)/nsideplates;
sDNVdeck=(B/2)/ndeckplates;
sRDNV=2*(100+Lwl)/1000;
SSRratioDNVbot=min(1,sDNVbot/sRDNV);
SSRratioDNVbot=max(0.5,SSRratioDNVbot);
SSRratioDNVside=min(1,sDNVside/sRDNV);
SSRratioDNVside=max(0.5,SSRratioDNVside);
SSRratioDNVdeck=min(1,sDNVdeck/sRDNV);
SSRratioDNVdeck=max(0.5,SSRratioDNVdeck);

ii=1;
for ii=1:nsections
    ARDNVbot(ii)=(B/2)/nbotplates/Lplates(ii);
    ARDNVside(ii)=(B/2)/nsideplates/Lplates(ii);
    ARDNVdeck(ii)=(B/2)/ndeckplates/Lplates(ii);
    ii=ii+1;
end

% ka: correction factor for aspect ratio of plate field.
kaDNVbot=(1.1-0.25*sDNVbot)^2;
kaDNVside=(1.1-0.25*sDNVbot)^2;
kaDNVdeck=(1.1-0.25*sDNVbot)^2;
if sDNVbot<=0.4
    kaDNVbot=1.0;

```



```

elseif sDNVbot>=1.0
    kaDNVbot=0.72;
end
if sDNVside<=0.4
    kaDNVside=1.0;
elseif sDNVside>=1.0
    kaDNVside=0.72;
end
if sDNVdeck<=0.4
    kaDNVdeck=1.0;
elseif sDNVdeck>=1.0
    kaDNVdeck=0.72;
end
% kr: correction factor for curved plates.
krDNV=1; %No curved plates at craft (bottom, side & deck).
fIDNV=0.53; %f1=0.90 Factor for Aluminum VL 5083-O in welded condition, according to Table 4, page 22/77. DNVGL -
Hull structural design, aluminium.
Splatesl=200*fIDNV; %Allowable bending stress (S) for plates at slamming zone [MPa].

ii=1;
for ii=1:nsections
    ADNVplatebot(ii)=(B/2)/nbotplates)*Lplates(ii);
    ADNVplateside(ii)=(B/2)/nsideplates)*Lplates(ii);
    ADNVplatedeck(ii)=(B/2)/ndeckplates)*Lplates(ii);
    if (ADNVplatebot(ii)>=2.5)
        ADNVplatebot(ii)=2.5;
    elseif (ADNVplatebot(ii)<=(Lwl*B/1000))
        ADNVplatebot(ii)<=(Lwl*B/1000);
    elseif (ADNVplatebot(ii)<=0.002*Displ/T)
        ADNVplatebot(ii)<=0.002*Displ/T;
    end
    if (ADNVplateside(ii)>=2.5)
        ADNVplateside(ii)=2.5;
    elseif (ADNVplateside(ii)<=(Lwl*B/1000))
        ADNVplateside(ii)<=(Lwl*B/1000);
    elseif (ADNVplateside(ii)<=0.002*Displ/T)
        ADNVplateside(ii)<=0.002*Displ/T;
    end
    if (ADNVplatedeck(ii)>=2.5)

```

```

ADNVplatedeck(ii)=2.5;
elseif (ADNVplatedeck(ii)<=(Lwl*B/1000))
    ADNVplatedeck(ii)<=(Lwl*B/1000);
elseif (ADNVplatedeck(ii)<=0.002*Displ/T)
    ADNVplatedeck(ii)<=0.002*Displ/T;
end
uDNVplatebot(ii)=100*nhullsDNV*ADNVplatebot(ii)/ArefDNV;
uDNVplateside(ii)=100*nhullsDNV*ADNVplateside(ii)/ArefDNV;
uDNVplatedeck(ii)=100*nhullsDNV*ADNVplatedeck(ii)/ArefDNV;
KredDNVplatebot(ii)=0.445-0.35*((uDNVplatebot(ii)^0.75)-1.7)/((uDNVplatebot(ii)^0.75)+1.7);
KredDNVplateside(ii)=0.445-0.35*((uDNVplateside(ii)^0.75)-1.7)/((uDNVplateside(ii)^0.75)+1.7);
KredDNVplatedeck(ii)=0.445-0.35*((uDNVplatedeck(ii)^0.75)-1.7)/((uDNVplatedeck(ii)^0.75)+1.7);
if x(2*ii)<=(Lwl/2)
    KLDNV(ii)=0.5+(1.0-0.5)*x(2*ii)/(Lwl/2);
else
    KLDNV(ii)=1;
end
% bcgDNV(ii): Angle bx [degrees], not less than bcg, minimum 10 degrees and maximum 30 degrees.
if x(2*ii)>(slzone*Lwl) %Slamming zone.
    bxDNV(ii)=bcgDNV+(30-bcgDNV)*(x(2*ii)-slzone*Lwl)/((1-slzone)*Lwl);
else
    bxDNV(ii)=bcgDNV;
end
KbdNV(ii)=(50-bxDNV(ii))/(50-bcgDNV);

PslDNVplatebot(ii)=(acgDNV*Displ/(0.14*ArefDNV))*KredDNVplatebot(ii)*KLDNV(ii)*KbdNV(ii);
PslDNVplateside(ii)=(acgDNV*Displ/(0.14*ArefDNV))*KredDNVplateside(ii)*KLDNV(ii)*KbdNV(ii);
PslDNVplatedeck(ii)=(acgDNV*Displ/(0.14*ArefDNV))*KredDNVplatedeck(ii)*KLDNV(ii)*KbdNV(ii);

% PpitslDNV: pitching slamming zone according to DNV regulations.
if not(cos(pi)==-1)
    tanbxDNV(ii)=tan(bxDNV(ii));
else
    tanbxDNV(ii)=tan(bxDNV(ii)*pi/180);
end
kaplatingDNV=1;
kbplatingDNV=1;
TFPDNV; %already defined.
VsqrtLwl=min((ViDNV/(Lwl^0.5)),3);

```

```

PpitslDNVplatebot(ii)=(21/tanbxDNV(ii))*kaplatingDNV*kbplatingDNV*CwDNV*(1-
(20*TFPDNV/Lw1))*((0.3/ADNVplatebot(ii))^0.3);
PpitslDNVplateside(ii)=(21/tanbxDNV(ii))*kaplatingDNV*kbplatingDNV*CwDNV*(1-
(20*TFPDNV/Lw1))*((0.3/ADNVplateside(ii))^0.3);
PpitslDNVplatedeck(ii)=(21/tanbxDNV(ii))*kaplatingDNV*kbplatingDNV*CwDNV*(1-
(20*TFPDNV/Lw1))*((0.3/ADNVplatedeck(ii))^0.3);
if x(2*ii)<=(Lw1-(0.1+0.15*VsqrLw1)*Lw1-0.175*(0.1+0.15*VsqrLw1)*Lw1)
    PpitslDNVplatebot(ii)=0;
    PpitslDNVplateside(ii)=0;
    PpitslDNVplatedeck(ii)=0;
end
%% PimpslDNV: Forebody side and bow impact pressure.
% VsqrLw1;
% ADNVplatebot(ii)
% ADNVplateside(ii)
% ADNVplatedeck(ii);
% x(2*ii)
% CL: correction factor for length of craft.
CLDNV=(250*Lw1-(Lw1^2))/15000;
% CH: correction factor for height above waterline to load point.
CHDNVbot(ii,:)=1.-(0.5.*(hobot(ii,:))./CwDNV);
CHDNVside(ii,:)=1.-(0.5.*(zside(ii,:))./CwDNV);
CvDNV=min((sqrt(Lw1)/50),0.2);

% a0: acceleration parameter.
aoDNV=3*CwDNV/Lw1+CvDNV*VsqrLw1;
% aflareangleDNV=;
% ∴ flare angle taken as the angle between the side plating and a horizontal line, measured at the point
considered.
kk=1;
while kk<=nsectionreg(1)
    aflareangleDNV(kk)=(pi/2);
    kk=kk+1;
end
aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))=(pi/2)-atan(0.20/(D-Tx(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)))));
aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3))=(pi/2)-atan(0.30/(D-
Tx(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)))));
aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))=(pi/2)-atan(0.40/(D-

```

```

Tx(2*(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)))));
aflareangleDNV(nsections-nsectionreg(6))=(pi/2)-atan(0.90/(D-Tx(2*(nsections-nsectionreg(6)))));
aflareangleDNV(nsections)=(pi/2)-atan(1.60/(D-Tx(2*(nsections)))));
kk=nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+1;
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)-1)

aflareangleDNV(kk)=(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)))+(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)))-(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)))*(kk-nsectionreg(1)-nsectionreg(2))/nsectionreg(3);
    kk=kk+1;
end
kk=nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+1;
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)-1)

aflareangleDNV(kk)=(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)))+(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)))-(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)))*(kk-nsectionreg(1)-nsectionreg(2)-nsectionreg(3))/nsectionreg(4);
    kk=kk+1;
end
kk=nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+1;
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)-1)

aflareangleDNV(kk)=(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)))+(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)))-(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)))*(kk-nsectionreg(1)-nsectionreg(2)-nsectionreg(3)-nsectionreg(4))/nsectionreg(5);
    kk=kk+1;
end
kk=nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+1;
while kk<=(nsections-1)

aflareangleDNV(kk)=(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)))+(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+nsectionreg(6)))-(aflareangleDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)))*(kk-nsectionreg(1)-nsectionreg(2)-nsectionreg(3)-nsectionreg(4)-nsectionreg(5))/nsectionreg(6);
    kk=kk+1;
end
% GammaDNV=;
% „: angle between the waterline and a longitudinal line measured at the point considered.
kk=1;

```

```

while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))
    GammaDNV(kk)=0;
    kk=kk+1;
end
GammaDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))=pi*30/180;
kk=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+1);
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)-1)

GammaDNV(kk)=GammaDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4))+(GammaDNV(nsectionreg(1)+nsection
reg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))-
GammaDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)))*(kk-nsectionreg(1)-nsectionreg(2)-
nsectionreg(3)-nsectionreg(4))/nsectionreg(5);
    kk=kk+1;
end
GammaDNV(nsections)=pi*45/180;
kk=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)+1);
while kk<=(nsections-1)

GammaDNV(kk)=GammaDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5))+(GammaDNV(nsection
s)-GammaDNV(nsectionreg(1)+nsectionreg(2)+nsectionreg(3)+nsectionreg(4)+nsectionreg(5)))*(kk-nsectionreg(1)-
nsectionreg(2)-nsectionreg(3)-nsectionreg(4)-nsectionreg(5))/nsectionreg(6);
    kk=kk+1;
end
aflareangleDNVdegrees=180.*aflareangleDNV./pi;
GammaDNVdegrees=180.*GammaDNV./pi;
PimpslDNVbot(ii,:)=(0.7.*Lwl.*CLDNV.*CHDNVbot(ii,:)/(ADNVplatebot(ii).^0.3)).*((0.6+(0.4.*VsqrtLwl.*sin(GammaDNV(ii)
)).*cos(pi-aflareangleDNV(ii)))+(2.1.*aoDNV./Cb).*sin(pi-aflareangleDNV(ii)).*(x(2*ii)/Lwl)-
0.4).*sqrt(0.4.*VsqrtLwl+0.6)).^2);
PimpslDNVside(ii,:)=(0.7.*Lwl.*CLDNV.*CHDNVside(ii,:)/(ADNVplateside(ii).^0.3)).*((0.6+(0.4.*VsqrtLwl.*sin(GammaDNV
(ii)).*cos(pi-aflareangleDNV(ii)))+(2.1.*aoDNV./Cb).*sin(pi-aflareangleDNV(ii)).*(x(2*ii)/Lwl)-
0.4).*sqrt(0.4.*VsqrtLwl+0.6)).^2);
%% PseaDNV: Sea pressure [kN/m^2].
% aLIFDNV: Load intensity factor (L.I.F.) (a) for weather exposed areas.
aLIFDNV=1; %Bottom, side, transom & weather deck.
if x(2*ii)<=(Lwl/2)
    ksDNV=7.5;
else
    ksDNV=7.5+(5/Cb)-7.5*(x(2*ii)-(Lwl/2))/(Lwl/2);
end

```

```

PseaDNVbot(ii,:)=max((aLIFDNV.*(10.*hobot(ii,:))+(ksDNV-1.5.*hobot(ii,:)./Tx(ii)).*CwDNV),6.5);
PseaDNVside(ii,:)=max(aLIFDNV.*ksDNV.*(CwDNV-0.67.*zside(ii,:)),6.5);
PseaDNVdeck(ii,:)=max(aLIFDNV.*ksDNV.*(CwDNV-0.67.*D),5.0);
ii=ii+1;
end
%% Pv: Heavy Units [kN]
% M: mass of unit in tonnes.
% According to Specifications og Caterpillar brochure,
% The weight (net dry approx) of engine is 1174 kg.
MassDNV=1.174; % There are 2 engines at machinery of craft, but we study only the half of the craft.

avmachineryDNV=0;
LmachineryDNV=0;
kk=nsectionreg(1)+1;
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))
    avmachineryDNV=max(avmachineryDNV,avDNV(kk));
    LmachineryDNV=LmachineryDNV+Lplates(kk);
    kk=kk+1;
end
% PvhuDNV: Pressure Pv for Heavy Units (HU) of machinery according to DNV regulations[kN].
PvhuDVN=(goDNV+0.5*avmachineryDNV)*MassDNV/(LmachineryDNV*B/2);
kk=nsectionreg(1)+1;
while kk<=(nsectionreg(1)+nsectionreg(2))
    PvheavunDVN(kk,:)=PvhuDVN;
    kk=kk+1;
end
ii=1;
jj=1;
for ii=1:nsections
    for jj=1:nbotplates
        PdiorthbotplatDNV(ii,jj,1)=max(PslDNVplatebot(ii),PpitslDNVplatebot(ii));
        PdiorthbotplatDNV(ii,jj,2)=max(PimpslDNVbot(ii,jj),PvheavunDVN(ii,jj));
        PdiorthbotplatDNV(ii,jj,3)=PseaDNVbot(ii,jj);
        PbotplatDNV(ii,jj)=max(PdiorthbotplatDNV(ii,jj,:));
        % PdeckplatDNV(ii,jj)=max(PimpslDNVside(ii,jj),PseaDNVside(ii,jj));
    end
    PsideplatDNV(ii,:)=max(PimpslDNVside(ii,:),PseaDNVside(ii,:));
    PdeckplatDNV(ii,:)=PseaDNVdeck(ii,:);
end

```

```

    ii=ii+1;
end

%% Plating according to DNV.
Smaxplatebotsl=200*fIDNV;    %Allowable bending stress (S) for bottom plates at slamming zone [MPa].
Smaxplatebotimp=180*fIDNV;   %Allowable bending stress (S) for bottom plates at sea load [MPa].
Smaxplateside=180*fIDNV;     %Allowable bending stress (S) for side plates [MPa].
Smaxplatedeck=180*fIDNV;     %Allowable bending stress (S) for deck plates [MPa].
Smaxplatebulkwater=220*fIDNV; %Allowable bending stress (S) for bulkhead, watertight plates [MPa].
toplatebot=4.0;              %t0 for bottom to loaded water line [mm].
kplatebot=0.03;              %k for bottom to loaded water line [mm].
toplateside=3.5;             %t0 for side above loaded water line [mm].
kplateside=0.02;            %k for side above loaded water line [mm].
% t: rule thickness of plating in [mm].
ii=1;
for ii=1:nsections
    if x(2*ii)<slzone*Lwl
        Smaxplatebot(ii)=Smaxplatebotimp;
    else
        Smaxplatebot(ii)=Smaxplatebotsl;
    end
    %t0 and k for deck [mm].
    if x(2*ii)<0.5*Lwl
        toplatedeck(ii)=2.5;
        kplatedeck(ii)=0.02;
    else
        toplatedeck(ii)=3.0;
        kplatedeck(ii)=0.03;
    end
    fDNVbot(ii)=Smaxplatebot(ii)/240;
    fDNVside=Smaxplateside/240;
    fDNVdeck=Smaxplatedeck/240;
    % tno1 [mm]: tgenDNVbot(ii)=The thickness of structures shall in general not be less than tgenDNVbot(ii),
    according to page 36/77.
    tgenDNVbot(ii)=((toplatebot+kplatebot*Lwl)/sqrt(fDNVbot(ii)))*SSRratioDNVbot; % [mm]
    tgenDNVside(ii)=((toplateside+kplateside*Lwl)/sqrt(fDNVside))*SSRratioDNVside; % [mm]
    tgenDNVdeck=((topladedeck+kplatedeck*Lwl)/sqrt(fDNVdeck))*SSRratioDNVdeck; % [mm]
    % tno2 [mm]: tbendDNVbot(ii)=Bending thickness [mm].

```

```

% Clamped along all edges.
if ARDNVbot(ii)<=0.5
    tbendDNVbot(ii,:)=22.4*sDNVbot*sqrt(PbotplatDNV(ii,)/Smaxplatebot(ii));
else
    CDNVbot(ii)=500+(ARDNVbot(ii)-0.5)*(310-500)*2;
    tbendDNVbot(ii,:)=sDNVbot*sqrt(CDNVbot(ii)*PbotplatDNV(ii,)/Smaxplatebot(ii));
end
if ARDNVside(ii)<=0.5
    tbendDNVside(ii,:)=22.4*sDNVside*sqrt(PsideplatDNV(ii,)/Smaxplateside);
else
    CDNVside(ii)=500+(ARDNVside(ii)-0.5)*(310-500)*2;
    tbendDNVside(ii,:)=sDNVside*sqrt(CDNVside(ii)*PsideplatDNV(ii,)/Smaxplateside);
end
if ARDNVdeck(ii)<=0.5
    tbendDNVdeck(ii,:)=22.4*sDNVdeck*sqrt(PdeckplatDNV(ii,)/Smaxplatedeck);
else
    CDNVdeck(ii)=500+(ARDNVdeck(ii)-0.5)*(310-500)*2;
    tbendDNVdeck(ii,:)=sDNVdeck*sqrt(CDNVdeck(ii)*PdeckplatDNV(ii,)/Smaxplatedeck);
end
% tno3 [mm]: tslamDNVbot(ii)=Slamming thickness [mm].
tslamDNVbot(ii)=22.4*krDNV*kaDNVbot*sDNVbot*sqrt(PslDNVplatebot(ii)/Splatesl);
tslamDNVside(ii)=22.4*krDNV*kaDNVside*sDNVside*sqrt(PslDNVplateside(ii)/Splatesl);
tslamDNVdeck(ii)=22.4*krDNV*kaDNVdeck*sDNVdeck*sqrt(PslDNVplatedeck(ii)/Splatesl);
tpbotDNV(ii,:)=max(tgenDNVbot(ii),tbendDNVbot(ii,:));
tpbotDNV(ii,:)=max(tpbotDNV(ii,:),tslamDNVbot(ii));
tpsideDNV(ii,:)=max(tgenDNVside(ii),tbendDNVside(ii,:));
tpsideDNV(ii,:)=max(tpsideDNV(ii,:),tslamDNVside(ii));
tpdeckDNV(ii,:)=max(tgenDNVdeck(ii),tbendDNVdeck(ii,:));
tpdeckDNV(ii,:)=max(tpdeckDNV(ii,:),tslamDNVdeck(ii));
ii=ii+1;
end

%% Stiffeners according to DNV.
Smaxstifbotsl=180*fIDNV;      %Allowable bending stress (S) for bottom stiffeners at slamming zone [MPa].
Smaxstifbotimp=160*fIDNV;    %Allowable bending stress (S) for bottom stiffeners at sea load [MPa].
Smaxstifside=160*fIDNV;      %Allowable bending stress (S) for side stiffeners [MPa].
Smaxstifdeck=160*fIDNV;      %Allowable bending stress (S) for deck stiffeners [MPa].
Smaxstifbulkwater=200*fIDNV; %Allowable bending stress (S) for bulkhead, watertight stiffeners [MPa].
% Tetarti 15/12/2021.

```



```

% Values of m according to Table 4, page 39/77. DNV-Hull structural design, aluminium.
mZlongstifDNV=85;      %m for continuous longitudinals, to calculate Section Modulus Z [cm^3].
mZtranstifDNV=100;    %m for   transverse stiffeners, to calculate Section Modulus Z [cm^3].
mZsideverstifDNV=100; %m for Side vertical members (stiffeners) at transom, to calculate Section Modulus Z [cm^3].

% Enarxi evresis primary stiffeners.
kk=1;
mm=1;
nn=2;
ff=1;
while (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
    PmaxbotSMDNV(ff)=0;
    PmaxslbotSMDNV(ff)=0;
    PmaxsideSMDNV(ff)=0;
    PmaxslsideSMDNV(ff)=0;
    PmaxdeckSMDNV(ff)=0;
    PmaxsldeckSMDNV(ff)=0;
    while ((not(xtransversestif(kk,2)==1)) && not(kk==1))
        if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
            PmaxbotSMDNV(ff)=max(PmaxbotSMDNV(ff),max(PbotplatDNV(kk,:)));
            PmaxslbotSMDNV(ff)=max(PmaxslbotSMDNV(ff),PslDNVplatebot(kk));
            PmaxslbotSMDNV(ff)=max(PmaxslbotSMDNV(ff),PpitslDNVplatebot(kk));
            PmaxsideSMDNV(ff)=max(PmaxsideSMDNV(ff),max(PsideplatDNV(kk,:)));
            PmaxslsideSMDNV(ff)=max(PmaxslsideSMDNV(ff),PslDNVplateside(kk));
            PmaxslsideSMDNV(ff)=max(PmaxslsideSMDNV(ff),PpitslDNVplateside(kk));
            PmaxdeckSMDNV(ff)=max(PmaxdeckSMDNV(ff),max(PdeckplatDNV(kk,:)));
            PmaxsldeckSMDNV(ff)=max(PmaxsldeckSMDNV(ff),PslDNVplatedeck(kk));
            PmaxsldeckSMDNV(ff)=max(PmaxsldeckSMDNV(ff),PpitslDNVplatedeck(kk));
        end
        kk=kk+1;
        mm=mm+1;
        if (kk>ntranstif)
            break
        end
    end
    mm=mm+1;
    if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
        while ((not(xtransversestif(mm,2)==1)) && not(mm==ntranstif))
            if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)

```

```

PmaxbotSMDNV(ff)=max(PmaxbotSMDNV(ff),max(PbotplatDNV(mm,:)));
PmaxslbotSMDNV(ff)=max(PmaxslbotSMDNV(ff),PslDNVplatebot(mm));
PmaxslbotSMDNV(ff)=max(PmaxslbotSMDNV(ff),PpitslDNVplatebot(mm));
PmaxsideSMDNV(ff)=max(PmaxsideSMDNV(ff),max(PsideplatDNV(mm,:)));
PmaxslsideSMDNV(ff)=max(PmaxslsideSMDNV(ff),PslDNVplateside(mm));
PmaxslsideSMDNV(ff)=max(PmaxslsideSMDNV(ff),PpitslDNVplateside(mm));
PmaxdeckSMDNV(ff)=max(PmaxdeckSMDNV(ff),max(PdeckplatDNV(mm,:)));
PmaxsldeckSMDNV(ff)=max(PmaxsldeckSMDNV(ff),PslDNVplatedeck(mm));
PmaxsldeckSMDNV(ff)=max(PmaxsldeckSMDNV(ff),PpitslDNVplatedeck(mm));
end
if (kk<=ntranstif) && (mm<=ntranstif)
mm=mm+1;
end
if (mm>ntranstif)
break
end
end
end
%Coefflongprimstif(:,9)=Design pressure at bottom plate.
Coefflongprimstif(nn,9)=PmaxbotSMDNV(ff);
if Coefflongprimstif(nn,1)<slzone*Lwl
Coefflongprimstif(nn,10)=Smaxstifbotimp;
else
Coefflongprimstif(nn,10)=Smaxstifbotimp;
end
Coefflongprimstif(nn,11)=PmaxslbotSMDNV(ff);
%Coefflongprimstif(:,12)=Design pressure at side plate.
Coefflongprimstif(nn,12)=PmaxsideSMDNV(ff);
if Coefflongprimstif(nn,1)<slzone*Lwl
Coefflongprimstif(nn,13)=Smaxstifbotimp;
else
Coefflongprimstif(nn,13)=Smaxstifbotimp;
end
Coefflongprimstif(nn,14)=PmaxslsideSMDNV(ff);
%Coefflongprimstif(:,15)=Design pressure at deck plate.
Coefflongprimstif(nn,15)=PmaxdeckSMDNV(ff);
if Coefflongprimstif(nn,1)<slzone*Lwl
Coefflongprimstif(nn,16)=Smaxstifbotimp;
else

```

```

    Coefflongprimstif(nn,16)=Smaxstifbotimp;
end
Coefflongprimstif(nn,17)=PmaxsldeckSMDNV(ff);
ii=ii+2;
kk=mm;
nn=nn+2;
ff=ff+1;
end
% Lixi evresis primary stiffeners.
%Slongstifbendside=Slongstifbendbot;
%Smaxstifslbot=Smaxstifbotsl;
%Slongstifbendeck=Slongstifbendbot;
%Smaxstifdecks1=Smaxstifbotsl;
ii=1;
while ii<=Coefflongprimstifheight
    %Coefflongprimstif(:,9)=Design pressure at plate.
    if ii<=(Coefflongprimstifheight-1)
        PlongstifbendbotDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,9);
        Slongstifbendbot(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,10);
        PslamlongstifbotDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,11);

ZlongstifbendbotDNV(ii)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*PlongstifbendbotDNV(ii+1)/Slongstifbendbot(ii+1)));

ZlongstifbendbotDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*PlongstifbendbotDNV(ii+1)/Slongstifbendbot(ii+1)));

ZlongstifslbotDNV(ii)=max(ZlongstifslbotDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*PslamlongstifbotDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));

ZlongstifslbotDNV(ii+1)=max(ZlongstifslbotDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*PslamlongstifbotDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));
        ZlongstifbotDNV(ii)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii),ZlongstifslbotDNV(ii));
        ZlongstifbotDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii+1),ZlongstifslbotDNV(ii+1));
        PlongstifbendsideDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,12);
        Slongstifbendside(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,13);
        PslamlongstifsideDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,14);

ZlongstifbendsideDNV(ii)=max(ZlongstifbendsideDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVside*Plongstif

```

```

fbendsideDNV(ii+1)/Slongstifbendside(ii+1));

ZlongstifbendsideDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendsideDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVside*PlongstifbendsideDNV(ii+1)/Slongstifbendside(ii+1)));

ZlongstifslsideDNV(ii)=max(ZlongstifslsideDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVside*PslamlongstifsideDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));

ZlongstifslsideDNV(ii+1)=max(ZlongstifslsideDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVside*PslamlongstifsideDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));
    ZlongstifsideDNV(ii)=max(ZlongstifbendsideDNV(ii),ZlongstifslsideDNV(ii));
    ZlongstifsideDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendsideDNV(ii+1),ZlongstifslsideDNV(ii+1));
    PlongstifbendeckDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,15);
    Slongstifbendeck(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,16);
    PslamlongstifdeckDNV(ii+1)=Coefflongprimstif(ii+1,17);

ZlongstifbendeckDNV(ii)=max(ZlongstifbendeckDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVdeck*PlongstifbendeckDNV(ii+1)/Slongstifbendeck(ii+1)));

ZlongstifbendeckDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendeckDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVdeck*PlongstifbendeckDNV(ii+1)/Slongstifbendeck(ii+1)));

ZlongstifsldeckDNV(ii)=max(ZlongstifsldeckDNV(ii),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVdeck*PslamlongstifdeckDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));

ZlongstifsldeckDNV(ii+1)=max(ZlongstifsldeckDNV(ii+1),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVdeck*PslamlongstifdeckDNV(ii+1)/Smaxstifbotsl));
    ZlongstifdeckDNV(ii)=max(ZlongstifbendeckDNV(ii),ZlongstifsldeckDNV(ii));
    ZlongstifdeckDNV(ii+1)=max(ZlongstifbendeckDNV(ii+1),ZlongstifsldeckDNV(ii+1));

% As for longitudinal stiffeners.
AwrongstifbotDNV(ii+1)=6.7*(Coefflongprimstif(ii+1,2)-sDNVbot)*sDNVbot*PslamlongstifbotDNV(ii+1)/(90*fIDNV);
AwrongstifsideDNV(ii+1)=6.7*(Coefflongprimstif(ii+1,2)-sDNVside)*sDNVside*PslamlongstifsideDNV(ii+1)/(90*fIDNV);
AwrongstifdeckDNV(ii+1)=6.7*(Coefflongprimstif(ii+1,2)-sDNVdeck)*sDNVdeck*PslamlongstifdeckDNV(ii+1)/(90*fIDNV);
%AlongstifsideDNV(ii+1)=6.7*(Coefflongprimstif(ii+1,2)-sDNVside)*sDNVside*PslamlongstifsideDNV(ii+1)/(90*fIDNV);
%AlongstifdeckDNV(ii+1)=6.7*(Coefflongprimstif(ii+1,2)-sDNVdeck)*sDNVdeck*PslamlongstifdeckDNV(ii+1)/(90*fIDNV);

%ZlongstifbotDNV(ii)=;
%ZlongstifbotDNV(ii+1)=;

```

```

%InerlongstifbotDNV(ii)=;
%InerlongstifbotDNV(ii+1)=;
%AulongstifbotDNV(ii)=;
%AulongstifbotDNV(ii+1)=;
end
if ii<=(Coefflongprimstifheight-2)

ZlongstifbendbotDNV(ii+2)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii+2),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*Plongst
ifbendbotDNV(ii+1)/Slongstifbendbot(ii+1)));

ZlongstifslbotDNV(ii+2)=max(ZlongstifslbotDNV(ii+2),(mZlongstifDNV*(Coefflongprimstif(ii+1,2)^2)*sDNVbot*Pslamlongst
ifbotDNV(ii+1)/Smaxstifbots1));
ZlongstifbotDNV(ii+2)=max(ZlongstifbendbotDNV(ii+2),ZlongstifslbotDNV(ii+2));
%InerlongstifbotDNV(ii+2)=;
%AulongstifbotDNV(ii+2)=;
end
ii=ii+2;
end
ZlongstifbotDNV=ZlongstifbotDNV';
ZlongstifsideDNV=ZlongstifsideDNV';
ZlongstifdeckDNV=ZlongstifdeckDNV';

AulongstifbotDNV=AulongstifbotDNV';
AulongstifsideDNV=AulongstifsideDNV';
AulongstifdeckDNV=AulongstifdeckDNV';

%% Web frames: primary transverse stiffeners.
% Bottom centre girder= tropida.
% tgenDNVstiffeners=The thickness of structures shall in general not be less than tgenDNVstif, according to page
42/77. DNV-Hull structural design, aluminium.
tolongstif=3;
toprimstif=3;
fprimstifbot=160*fIDNV/240;
klongstif=0.03; %Longitudinal stiffeners.
kprimstifbot=0.03; %Bottom side girders, floors, brackets and stiffeners.
kprimstifsideck=0.02; %Side, deck and bulkhead longitudinals girders and stiffeners outside the peaks.
ksectranstifbotDNV=0.02;
msectranstifbotDNV=100;

```

```

%Sea/static load.
tgenDNVlongstifbot=((tolongstif+klongstif*Lwl)/sqrt(180*fIDNV/240))*SSRratioDNVbot;           % [mm]
tgenDNVprimstifbot=((toprimstif+kprimstifbot*Lwl)/sqrt(180*fIDNV/240))*SSRratioDNVbot;         % [mm]
%Dynamic load.
tgenDNVlongstifside=((tolongstif+klongstif*Lwl)/sqrt(160*fIDNV/240))*SSRratioDNVside;         % [mm]
tgenDNVlongstifdeck=((tolongstif+klongstif*Lwl)/sqrt(160*fIDNV/240))*SSRratioDNVdeck;         % [mm]
tgenDNVprimstifside=((toprimstif+kprimstifside*Lwl)/sqrt(160*fIDNV/240))*SSRratioDNVside;     % [mm]
tgenDNVprimstifdeck=((toprimstif+kprimstifside*Lwl)/sqrt(160*fIDNV/240))*SSRratioDNVdeck;     % [mm]
%PmaxbotSMDNV(ii);

%% Triti 4/1/2022.
% Girders: CL, mporei na mpoun, mporei kai na min mpoun.

ii=1;
for ii=1:ntranstif
    if (xtransversestif(ii,2)==1)
        % Primary transverse stiffener (Web Frames).
ZprimtranstifbotDNV(ii)=100*((sDNVbot*nbotplates)^2)*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
ZprimtranstifsideDNV(ii)=100*((sDNVside*nsideplates)^2)*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
ZprimtranstifdeckDNV(ii)=100*((sDNVdeck*ndeckplates)^2)*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
ZtranstifbotDNV(ii)=100*((sDNVbot*nbotplates)^2)*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
ZtranstifsideDNV(ii)=100*((sDNVside*nsideplates)^2)*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
ZtranstifdeckDNV(ii)=100*((sDNVdeck*ndeckplates)^2)*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:)))/(160*fIDNV);
% Aw gia primary stiffeners=Aw gia girders, page 44 of DNV.
AwprimtranstifbotDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVbot*nbotplates*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))-
(0*nlongstifbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))/(sDNVbot*nbotplates*sDNVbot)))/(90*fIDNV)),(6.7*(nbotplates-
1)*sDNVbot)*sDNVbot*(PslamlongstifbotDNV(ii)+PslamlongstifbotDNV(ii+1))/(90*fIDNV));
AwprimtranstifsideDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVside*nsideplates*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))-
(0*nlongstifside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))/(sDNVside*nsideplates*sDNVside)))/(90*fIDNV)),(6.7*(nsideplates-
1)*sDNVside)*sDNVside*(PslamlongstifsideDNV(ii)+PslamlongstifsideDNV(ii+1))/(90*fIDNV));
AwprimtranstifdeckDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVdeck*ndeckplates*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:)))-
(0*nlongstifdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:)))/(sDNVdeck*ndeckplates*sDNVdeck)))/(90*fIDNV)),(6.7*(ndeckplates-
1)*sDNVdeck)*sDNVdeck*(PslamlongstifdeckDNV(ii)+PslamlongstifdeckDNV(ii+1))/(90*fIDNV));
AwtranstifbotDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVbot*nbotplates*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))-
(0*nlongstifbot*(max(PbotplatDNV(ii,:)))/(sDNVbot*nbotplates*sDNVbot)))/(90*fIDNV)),(6.7*(nbotplates-
1)*sDNVbot)*sDNVbot*(PslamlongstifbotDNV(ii)+PslamlongstifbotDNV(ii+1))/(90*fIDNV));
AwtranstifsideDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVside*nsideplates*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))-
(0*nlongstifside*(max(PsideplatDNV(ii,:)))/(sDNVside*nsideplates*sDNVside)))/(90*fIDNV)),(6.7*(nsideplates-
1)*sDNVside)*sDNVside*(PslamlongstifsideDNV(ii)+PslamlongstifsideDNV(ii+1))/(90*fIDNV));

```

```

AwtranstifdeckDNV(ii)=max((10*(0.63*sDNVdeck*ndeckplates*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:))-
(0*nlongstifdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:))/(sDNVdeck*ndeckplates*sDNVdeck)))/(90*fIDNV)),(6.7*(ndeckplates-
1)*sDNVdeck)*sDNVdeck*((PslamlongstifdeckDNV(ii)+PslamlongstifdeckDNV(ii+1))/(90*fIDNV)));
else
% Secondary transverse stiffener (transverse beams).
ZsectranstifbotDNV(ii)=85*((sDNVbot*nbotplates)^2)*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
ZsectranstifsideDNV(ii)=85*((sDNVside*nsideplates)^2)*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
ZsectranstifdeckDNV(ii)=85*((sDNVdeck*ndeckplates)^2)*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
ZtranstifbotDNV(ii)=85*((sDNVbot*nbotplates)^2)*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
ZtranstifsideDNV(ii)=85*((sDNVside*nsideplates)^2)*sDNVside*(max(PsideplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
ZtranstifdeckDNV(ii)=85*((sDNVdeck*ndeckplates)^2)*sDNVdeck*(max(PdeckplatDNV(ii,:))/(180*fIDNV);
AwsectranstifbotDNV(ii)=6.7*(nbotplates-
1)*sDNVbot)*sDNVbot*((PslamlongstifbotDNV(ii)+PslamlongstifbotDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
AwsectranstifsideDNV(ii)=6.7*(nsideplates-
1)*sDNVside)*sDNVside*((PslamlongstifsideDNV(ii)+PslamlongstifsideDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
AwsectranstifdeckDNV(ii)=6.7*(ndeckplates-
1)*sDNVdeck)*sDNVdeck*((PslamlongstifdeckDNV(ii)+PslamlongstifdeckDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
AwtranstifbotDNV(ii)=6.7*(nbotplates-
1)*sDNVbot)*sDNVbot*((PslamlongstifbotDNV(ii)+PslamlongstifbotDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
AwtranstifsideDNV(ii)=6.7*(nsideplates-
1)*sDNVside)*sDNVside*((PslamlongstifsideDNV(ii)+PslamlongstifsideDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
AwtranstifdeckDNV(ii)=6.7*(ndeckplates-
1)*sDNVdeck)*sDNVdeck*((PslamlongstifdeckDNV(ii)+PslamlongstifdeckDNV(ii+1))/(90*fIDNV);
end
ii=ii+1;
end

%% Centre girder according to DNV.
Zgirdercl=max(100*(max(Coefflongprimstif(:,2))^2)*sDNVbot*(max(PbotplatDNV(:,:))/(160*fIDNV));
%Section Modulus (Z) of the centre girder [cm^3].
Awgirdercl=max(10*(0.63*(max(Coefflongprimstif(:,2))*sDNVbot*nbotplates*(max(PbotplatDNV(:,:))/(90*fIDNV))));
%Effective Web Area (Aw) of the centre girder [cm^2].

```

