



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

Διπλωματική εργασία

«Συμμόρφωση υπάρχοντος πλοίου με τις απαιτήσεις του Πολικού Κώδικα του  
Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού»

*«Compliance of an existing ship with the requirements of the International Maritime  
Organization's Polar Code»*

Συγγραφέας: Γρηγόριος Κ. Πατρίκιος, Αριθμός Μητρώου: 19393061

Επιβλέπων : Δρ. Αλέξανδρος Α. Θεοδουλίδης

Αθήνα, 2024





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

**Διπλωματική εργασία**

Συμμόρφωση υπάρχοντος πλοίου με τις απαιτήσεις του Πολικού Κώδικα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού

**Συγγραφέας**

Γρηγόριος Κ. Πατρίκιος, Αριθμός Μητρώου: 19393061

**Επιβλέπων**

Δρ. Αλέξανδρος Α. Θεοδουλίδης,

Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

**Ημερομηνία εξέτασης**

23/05/2024

**Εξεταστική Επιτροπή**

Αλέξανδρος Θεοδουλίδης,

Επίκουρος Καθηγητής  
ΠΑ.Δ.Α.

Ιωάννης Τίγκας,

Επίκουρος Καθηγητής  
ΠΑ.Δ.Α.

Σταύρος Χιονόπουλος,

Επίκουρος Καθηγητής  
ΠΑ.Δ.Α.



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πατρίκιος Γρηγόριος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 19393061 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών

Πατρίκιος Γρηγόριος  


Γρηγόριος Πατρίκιος



## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τον επιβλέποντος καθηγητή μου που βοήθησαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανασκόπηση των απαιτήσεων του Πολικού Κώδικα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (*International Maritime Organization*) καθώς και την ανασκόπηση των περιγραφικών απαιτήσεων (*Unified Requirements*) της Διεθνούς Ένωσης Νηογνώμωνων (*International Association of Classification Societies - IACS*). Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούν οι περιγραφικές απαιτήσεις που περιγράφονται στα *UR II & I2*.

Οι παραπάνω κανονισμοί περιγράφουν απαιτήσεις που αφορούν πολλά στοιχεία του πλοίου, όπως η ευστάθεια, οι εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών, συστήματα διάσωσης, η διαμερισματοποίηση καθώς και η πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία. Σε αυτούς του κανονισμούς αναφέρεται ο Πολικός Κώδικας του *IMO*. Οι περιγραφικές απαιτήσεις του *IACS* προβάλλουν απαιτήσεις που αφορούν την κατασκευαστική αντοχή του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται στα *scantlings*, ουσιαστικά, των ενισχυτικών και των ελασμάτων καθώς και στις απαιτήσεις της κύριας μηχανολογικής εγκατάστασης. Στην παρούσα εργασία θα γίνει ο έλεγχος των τελευταίων για ένα υπάρχον δεξαμενόπλοιο.

Λέξεις κλειδιά: Πολικός Κώδικας, Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, Περιγραφικές Απαιτήσεις, Συμμόρφωση με υπάρχοντες κανονισμούς, κατασκευαστική αντοχή, *IMO*, *IACS*, *UR II & I2*, δεξαμενόπλοιο



## ***Abstract***

*This thesis deals with the review of the requirements of the Polar Code of the International Maritime Organization (International Maritime Organization) as well as the review of the Unified Requirements of the International Association of Classification Societies (IACS). More specifically, the unified requirements described in UR 11 & 12 will be mentioned.*

*The above regulations describe requirements concerning many elements of the ship, such as stability, telecommunications facilities, rescue systems, compartmentation as well as the prevention of marine pollution from ships. These regulations refer to the IMO Polar Code. The descriptive requirements of the IACS highlight requirements concerning the construction part of the ship. More specifically, they refer to the scantlings, essentially, of the stiffeners and the plates as well as the requirements of the main mechanical installation. In this work, these requirements will be checked for an existing tanker.*

*Keywords: Polar Code, International Maritime Organization, Unified Requirements, Compliance with existing regulations, structural strength, IMO, IACS, UR 11 & 12, tanker*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	6
Περίληψη .....	7
<i>Abstract</i> .....	8
Πρόλογος .....	11
Κεφάλαιο 1: Ο Βόρειος Δρόμος και το Βορειοανατολικό Πέρασμα (Northern Sea Route and Northeast Passage) .....	12
1.1: Ιστορική Αναδρομή .....	13
1.2: Λόγοι που οδήγησαν στην όλο και αυξανόμενη χρήση του Βόρειου Δρόμου σήμερα .....	14
1.3: Πλεονεκτήματα .....	15
1.4: Μειονεκτήματα .....	15
Κεφάλαιο 2: Ο Πολικός Κώδικας του IMO (Polar Code) .....	16
2.1: Γενικά .....	16
2.2: Δομή .....	16
2.3: Σκοπός .....	16
2.4: Ορολογία .....	19
2.5: Περιεχόμενα Πολικού Κώδικα .....	23
2.6: Έγγραφα - Documentation .....	24
2.6.1: Polar Ship Certificate (PSC) .....	24
2.6.2: Εγχειρίδιο λειτουργίας σε Πολικά ύδατα - Polar Water Operational Manual .....	26
2.7: Κατασκευαστικό μέρος πλοίου .....	28
2.8: Άθικτη ευστάθεια .....	29
2.9: Ευστάθεια μετά από βλάβη .....	29
2.10: Στεγανή ακεραιότητα .....	30
2.11: Μηχανολογικός εξοπλισμός .....	31
2.12: Προστασία από την φωτιά .....	32
2.13: Σωστικά μέσα .....	33
2.13.1: Οδοί διαφυγής .....	33
2.13.2: Εκκένωση .....	33
2.14: Συστήματα Πλοήγησης & Επικοινωνίας .....	36
2.15: Voyage Planning .....	37
2.16: Κανονισμοί Προστασίας Περιβάλλοντος .....	39
2.16.1: Ρύπανση από πετρέλαιο .....	39
2.16.2: Ρύπανση από επιβλαβείς υγρές ουσίες .....	39
2.16.3: Ρύπανση από λύματα .....	40
2.16.4: Ρύπανση από σκουπίδια .....	40
Κεφάλαιο 3: Οι ενοποιημένες απαιτήσεις του IACS (Unified Requirements UR I1 & I2) .....	41
3.1: Μέρος I - Ορισμός και εφαρμογή των πολικών τάξεων .....	41
3.2: Μέρος II - Κατασκευαστικές Απαιτήσεις .....	42
3.3: Μέρος III - Απαιτήσεις μηχανολογικής εγκατάστασης και συστήματος πρόωσης .....	43
3.4: Περιγραφή των απαιτήσεων .....	45
3.4.1: Πεδίο εφαρμογής .....	45
3.4.2: Upper και Lower Ice Waterlines .....	45
3.4.3: Χωρισμός της γάστρας σε ζώνες .....	46
3.4.4: Σχεδιαστικό σενάριο για τον υπολογισμό της αντοχής .....	47
3.4.5: Ελάσματα εξωτερικής μεταλλικής κατασκευής .....	51

3.4.6: Υπολογισμός πλαστικής ροπής αντίστασης και επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικών .....	53
3.4.7: Έλεγχος συμμόρφωσης δευτερευόντων εγκάρσιων ενισχυτικών και τοπικών ενισχυτικών στον πυθμένα .....	55
3.4.8: Έλεγχος συμμόρφωσης δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών στο side shell .....	56
3.4.9: Ενισχυμένοι νομείς και Stringers .....	57
3.4.10: Προσαύξηση πάχους ελασμάτων εξαιτίας τριβής και διάβρωσης .....	58
3.4.11: Επιλογή υλικών .....	59
3.4.12: Ποιότητα χάλυβα .....	59
3.4.13: Διαμήκης αντοχή .....	61
3.4.14: Συγκολλήσεις .....	64
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του υπό μελέτη πλοίου .....	65
Κεφάλαιο 5: Έλεγχος συμμόρφωσης των ελασμάτων και των ενισχυτικών με τις απαιτήσεις του Κώδικα .....	68
5.1: Χωρισμός του πλοίου σε ζώνες .....	68
5.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των χαρακτηριστικών των φορτίων λόγω πάγου στην κάθε περιοχή του πλοίου μέσω του Excel .....	73
5.3: Έλεγχος συμμόρφωσης ελασμάτων εξωτερικής μεταλλικής κατασκευής ....	76
5.4: Έλεγχος συμμόρφωσης τοπικών ενισχυτικών (απλοί νομείς στο side shell και τοπικά ενισχυτικά στον πυθμένα) .....	80
5.5: Έλεγχος διαμήκων δευτερευόντων τοπικών ενισχυτικών στο Side Shell. ....	87
5.6: Έλεγχος έναντι λυγισμού .....	95
5.6.1: Δευτερεύοντα ενισχυτικά .....	95
5.6.2: Stringers και Web Frames .....	96
Συμπεράσματα .....	99
Προτάσεις .....	100
Βιβλιογραφία .....	101

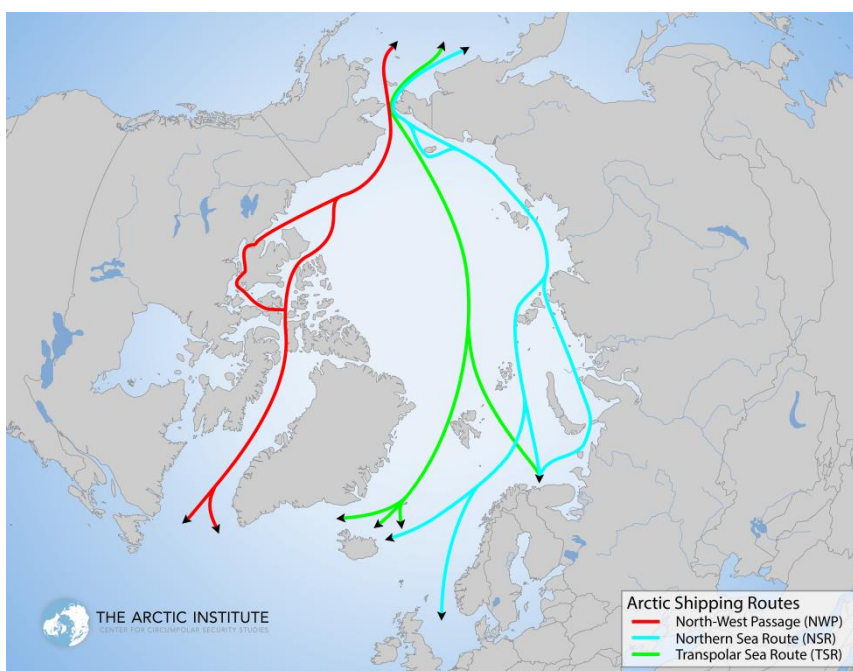
## Πρόλογος

Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει οδηγήσει, στις μέρες μας, το εκτεταμένο λιώσιμο των πάγων στις πολικές περιοχές. Η Διεθνής Ναυτιλία προσπαθεί εκμεταλλευόμενη αυτό το γεγονός, να διευρύνει τους ορίζοντες της και να χρησιμοποιήσει προς όφελος της, νέους πιο σύντομους οδούς, όπως εκείνους που δημιουργούνται από την τήξη των πάγων. Τα υπάρχοντα, όμως, πλοία δεν είναι σε θέση να εκτελέσουν τέτοιες πλόες. Οι Πόλοι της Γης κρύβουν πολλούς κινδύνους, όπως η σύγκρουση με τον πάγο, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ανικανότητα χρήσης συστημάτων πλοήγησης και πολλά ακόμη που θα περιγραφούν εκτενέστερα στην συνέχεια. Για τον λόγο αυτό ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός έχει θεσπίσει κάποιους κανονισμούς σύμφωνα με τους οποίους πρέπει να συμμορφώνονται τα αντίστοιχα πλοία όχι μόνο για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής, αλλά και του περιβάλλοντος. Στην συνέχεια ακολουθούν αυτές οι απαιτήσεις καθώς και εάν ένα υπάρχον πλοίο έχει την δυνατότητα να εκτελέσει τέτοια ταξίδια.

## Κεφάλαιο 1: Ο Βόρειος Δρόμος και το Βορειοανατολικό

### Πέρασμα (Northern Sea Route and Northeast Passage)

Ο Βόρειος Δρόμος είναι η ναυτιλιακή λωρίδα που συνδέει την Ευρώπη και την Ασία μέσω του βορρά της Ρωσίας. Μαζί με το Βορειοδυτικό Πέρασμα κατά μήκος της βόρειας πλευράς του Καναδά και της Αλάσκας, βρίσκονται στην Αρκτική και θα προσφέρουν σημαντικές μειώσεις στην απόσταση ταξιδιού για τα πλοία. Παρακάτω παρατίθενται δύο φωτογραφίες που περιγράφουν αυτούς τους δύο δρόμους.



Εικόνα 1: Ο Βόρειος δρόμος και το Βορειοανατολικό Πέρασμα



Εικόνα 2: Ο Βόρειος Δρόμος σε σύγκριση με την τρέχουσα διαδρομή

## 1.1: Ιστορική Αναδρομή

Ήδη από τον 12ο αιώνα, οι Ρομørs, Ρώσοι άποικοι, προχώρησαν κατά μήκος της ακτής προς την ανατολική Σιβηρία. Με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, αυτό το εγχείρημα εγκαταλείφθηκε στη μέση. Τον 16ο και τον 17ο αιώνα έγιναν πολλές προσπάθειες από τους Ολλανδούς, τους Άγγλους, τους Σουηδούς και τους Δανούς να βρουν μια εναλλακτική θαλάσσια διαδρομή προς την Ασία – όλες ανεπιτυχείς. Μόλις το 1878/79 ο Σουηδός εξερευνητής Adolf Erik Nordenskiöld κατάφερε να διασχίσει από τα δυτικά προς τα ανατολικά με ένα μετασκευασμένο ιστιοφόρο, το SS Vega. Ωστόσο, δεν θα ήταν αυστηρά ακριβές να ονομαστεί αυτό ως πραγματική διέλευση, καθώς το Vega μπλοκαρίστηκε από πάγο και παγιδεύτηκε στο Βερίγγειο Στενό για δέκα μήνες. Η πρώτη επιτυχημένη διέλευση μιας σεζόν πραγματοποιήθηκε μόλις το 1932, από το σοβιετικό παγοθραυστικό Aleksandr Sibirjakow. Το πέρασμα άνοιξε τελικά στη διεθνή ναυτιλία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το 1967 και στη συνέχεια διατηρήθηκε καθαρό για τη ναυτιλία με πυρηνικά παγοθραυστικά (331 διελύσεις καταγράφηκαν μέχρι το 1987), πριν η διάλυση της ΕΣΣΔ οδηγήσει σε σοβαρή πτώση στη ναυτιλία κυκλοφορία κατά μήκος του Βορειοανατολικού Περάσματος.

## 1.2: Λόγοι που οδήγησαν στην όλο και αυξανόμενη χρήση του

### Βόρειου Δρόμου σήμερα

- Η εξαήμερη απόφραξη της διώρυγας του Σουέζ το 2021 που προκλήθηκε από την προσάραξη του «Ever Green», ενός γιγαντιαίου πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 250.000 τόνων, οδήγησε σε καθημερινές ζημιές περίπου 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων στο παγκόσμιο εμπόριο. Ενώ τα ετήσια κέρδη της Αιγύπτου από τη Διώρυγα του Σουέζ ανέρχονται σε 8 δισεκατομμύρια δολάρια, το περιστατικό που προκλήθηκε από το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μήκους 400 μέτρων καθυστέρησε τις παραδόσεις προϊόντων και οδήγησε σε αύξηση των τιμών του πετρελαίου και του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) σε ημερήσιες εκτιμώμενες απώλειες μεταξύ 12 εκατομμυρίων έως και 15 εκατομμυρίων αμερικανικών δολαρίων. Το περιστατικό ανέδειξε την ανάγκη για μια εναλλακτική διαδρομή διέλευσης της Δυτικής Ανατολής. Επίσης, έστρεψε την παγκόσμια προσοχή στις προσπάθειες της Ρωσίας να αναπτύξει μια νέα εμπορική οδό μέσω του Αρκτικού Ωκεανού. Η στρατηγική σημασία αυτής της πιθανής εναλλακτικής λύσης έχει αυξηθεί τα τελευταία δύο χρόνια λόγω των εργασιών της Ρωσίας για την κατασκευή αυτής της εναλλακτικής εμπορικής οδού.
- Το πέρασμα είναι παγωμένο για περισσότερο από το μισό του έτους και μπορεί να πλοηγηθεί μόνο σε ένα σύντομο χρονικό παράθυρο από τις αρχές Ιουλίου έως τα τέλη Νοεμβρίου. Αυτό το σύντομο χρονικό διάστημα κατά το οποίο είναι δυνατή η διέλευση θα διευρυνθεί τις επόμενες δεκαετίες λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή είναι επίσης πιο έντονη στις περιοχές της Αρκτικής από ό,τι σε άλλες περιοχές του κόσμου. Το μέγεθος και το πάχος της κάλυψης του πάγου της Αρκτικής έχει μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Το Βορειοανατολικό Πέρασμα και το Βορειοδυτικό Πέρασμα της Βόρειας Αμερικής ήταν ταυτόχρονα χωρίς πάγο για πρώτη φορά στις 29 Αυγούστου 2008. Από τότε, το κάλυμμα του πάγου υποχωρεί σταθερά χρόνο με το χρόνο. Μια ερευνητική αποστολή που πραγματοποιήθηκε από ένα κινεζικό παγοθραυστικό από τον Ειρηνικό στον Βόρειο Ατλαντικό τον Αύγουστο του 2012, για παράδειγμα, συνάντησε πολύ λιγότερο πάγο από τον αναμενόμενο, επομένως μια πιο άμεση και άρα πιο σύντομη διαδρομή πιο κοντά στον Βόρειο Πόλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το ταξίδι της επιστροφής. Σύμφωνα με ορισμένες μελέτες, το Βορειοανατολικό Πέρασμα μπορεί να είναι εντελώς απαλλαγμένο από πάγο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ήδη από τη δεκαετία του 2050.

### 1.3: Πλεονεκτήματα

Η αυξανόμενη χρήση αυτής της μάλλον παραμελημένης διαδρομής προσφέρει πολλές ευκαιρίες για εμπορική ναυτιλία.

- Γνωστός διεθνώς ως Βόρειος Δόμος, το πέρασμα πιστεύεται ότι είναι η συντομότερη θαλάσσια σύνδεση μεταξύ του Ειρηνικού και του Ατλαντικού Ωκεανού. Τα οφέλη του Βορειοανατολικού Περάσματος είναι αυτονόητα: σε σύγκριση με τη διαδρομή της Διώρυγας του Σουέζ, η απόσταση μεταξύ της Κίνας και των μεγάλων λιμανιών της Βόρειας Ευρώπης είναι περίπου 40% μικρότερη και έως και 60% μικρότερη σε σύγκριση με τη διαδρομή γύρω από το Αφρικανικό Ακρωτήριο Cape Horn. Έχει τεράστια διαφορά η διαδρομή των 21.000 km που συνδέει τη Σαγκάη με το Αμβούργο με εκείνη των 15.000 km μέσω της Αρκτικής.
- Η εξοικονόμηση χρόνου, καυσίμων και εκπομπών είναι τεράστια, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτούς τους καιρούς έντονου ανταγωνισμού μεταξύ ναυτιλιακών εταιρειών.
- Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, αυτή η διαδρομή επιτρέπει στα πλοία να παρακάμπτουν περιοχές όπου συχνάζουν οι πειρατές.

### 1.4: Μειονεκτήματα

Ο λόγος για τον οποίο αυτή η ναυτιλιακή λωρίδα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται από έναν σχετικά μικρό αριθμό πλοίων είναι πολύ απλός: το πέρασμα είναι παγωμένο για περισσότερα περισσότερα από το ήμισυ του έτους και μπορεί να πλοηγηθεί μόνο σε ένα σύντομο παράθυρο από τις αρχές Ιουλίου έως τα τέλη Νοεμβρίου. Ακόμα και σε αυτό το σύντομο χρονικό διάστημα, η διαδρομή είναι περίπλοκη. Επιπλέον, η Ρωσία χρεώνει τέλη διέλευσης και, σε δύσκολες συνθήκες πάγου, πρέπει να χρησιμοποιηθούν παγοθραυστικά για τον καθαρισμό μιας διόδου. Αυτό δημιουργεί πρόσθετο κόστος. Οι γρήγορες μετεωρολογικές αλλαγές, οι ξαφνικοί σχηματισμοί πάγου και τα λανθασμένα παγόβουνα μπορούν επίσης να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα. Επιπλέον, οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ενδέχεται να οδηγήσουν γρήγορα σε κρίσιμες καταστάσεις, καθώς η υποδομή των βόρειων λιμανιών της Ρωσίας είναι σε κακή κατάσταση από την κατάρρευση της Σοβιετικής Ένωσης.

**Φαίνεται, από αυτά που ειπώθηκαν παραπάνω, ότι υπάρχει μία τάση για την κατασκευή πλοίων, ειδικά ενισχυμένων, και ως προς την αντοχή, και ως προς τον εξοπλισμό με τον οποίο θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με σκοπό την διέλευση από περιοχές με πολικό πάγο και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η ανάπτυξη παγοθραυστικών πλοίων είναι αναγκαία για να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική ναυσιπλοΐα σε αυτές τις περιοχές.**



## **Κεφάλαιο 2: Ο Πολικός Κώδικας του IMO (Polar Code)**

### **2.1: Γενικά**

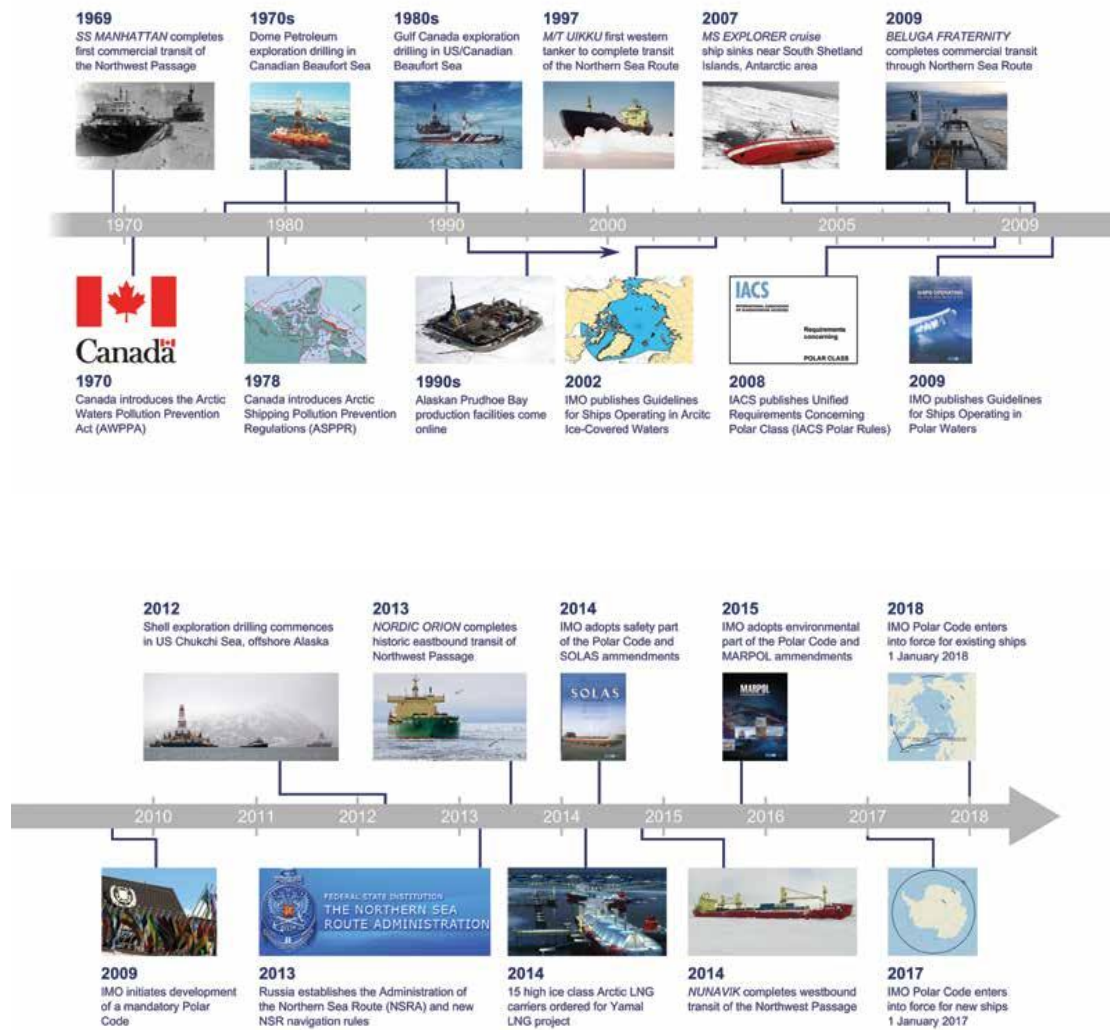
Ο Διεθνής Κώδικας του IMO για τα πλοία που λειτουργούν σε πολικά ύδατα (πολικός κώδικας) είναι υποχρεωτικός τόσο βάσει της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS) όσο και της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL). Ο Polar Code καλύπτει όλο το φάσμα των θεμάτων σχεδιασμού, κατασκευής, εξοπλισμού, λειτουργίας, εκπαίδευσης, έρευνας και διάσωσης και περιβαλλοντικής προστασίας που σχετίζονται με πλοία που λειτουργούν στα αφιλόξενα νερά που περιβάλλουν τους δύο πόλους. Ο Πολικός Κώδικας τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2017.

### **2.2: Δομή**

Ο Πολικός Κώδικας αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το ένα αναφέρεται στην Ασφάλεια του πλοίου και της ανθρώπινης ζωής στην θάλασσα ενώ το δεύτερο αναφέρεται σε μέτρα πρόληψης της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία. Και τα δύο μέρη αποτελούνται από δύο υποενότητες, τα πρώτα περιέχουν τις βασικές οδηγίες με τις οποίες πρέπει να συμμορφώνονται τα πλοία ενώ τα δεύτερα περιέχουν πρόσθετες οδηγίες (Additional Guidance) συμπληρωματικές εκείνων που περιγράφονται στα πρώτα μέρη.

### **2.3: Σκοπός**

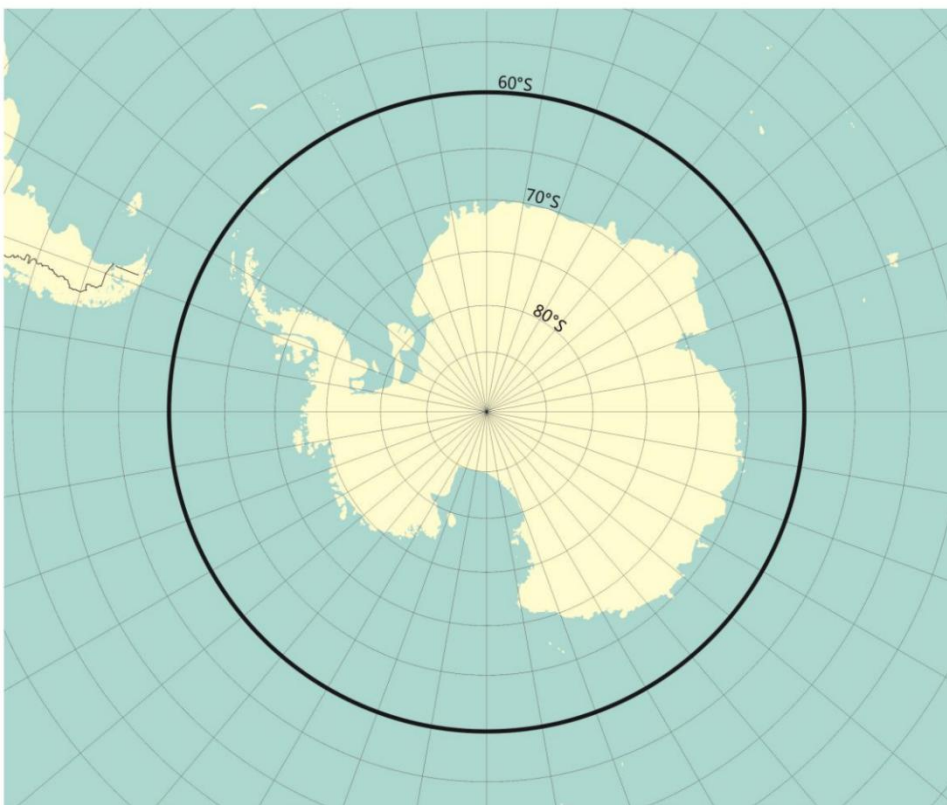
Ο κύριος σκοπός του Πολικού Κώδικα είναι να προστατεύσει το εύθραυστο οικολογικό περιβάλλον της πολικής περιφέρειας και να εξαιρέσει την περιοχή αυτή από την επιρροή των ολοένα και συχνότερων ναυτιλιακών δραστηριοτήτων. Με την αρχή της μείωσης των περιστατικών και της προώθησης της προστασίας του περιβάλλοντος, ο Κώδικας προβλέπει τους στόχους και τις λειτουργικές απαιτήσεις για την κατασκευή, τον εξοπλισμό, τη λειτουργία, την εκπαίδευση, το SAR και την προστασία του περιβάλλοντος των πολικών πλοίων, ώστε να αντιμετωπίζονται ειδικοί κίνδυνοι στα πολικά ύδατα με βάση διαδικασίες που βασίζονται στο ρίσκο (πιθανοθεωρητικά μοντέλα) και να συμπληρώνουν τις υφιστάμενες συμβάσεις και κώδικες του IMO.



Εικόνα 3: Η ιστορική αναδρομή του Πολικού Κώδικα



Εικόνα 4: Η μέγιστη έκταση εφαρμογής του Πολικού Κώδικα στα νερά της Αρκτικής



Εικόνα 5: Η μέγιστη έκταση εφαρμογής του Πολικού Κώδικα στα νερά της Ανταρκτικής

## 2.4: Ορολογία

Πλοία κατηγορίας A: Ως πλοίο κατηγορίας A νοείται ένα πλοίο σχεδιασμένο να λειτουργεί σε πολικά ύδατα τουλάχιστον μεσαίου πάγου πρώτου έτους, ο οποίος μπορεί να περιλαμβάνει παλαιά εγκλείσματα πάγου.

Πλοία κατηγορίας B: Πλοίο κατηγορίας B σημαίνει πλοίο που δεν περιλαμβάνεται στην κατηγορία A, σχεδιασμένο να λειτουργεί σε πολικά νερά σε τουλάχιστον λεπτούς πάγους πρώτου έτους, που μπορεί να περιλαμβάνουν παλαιά εγκλείσματα πάγου.

Πλοίο κατηγορίας Γ: σημαίνει πλοίο σχεδιασμένο να λειτουργεί σε ανοιχτά νερά ή σε συνθήκες πάγου λιγότερο σοβαρές από αυτές που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες A και B.

First year ice: Ο πάγος πρώτου έτους σημαίνει θαλάσσιος πάγος όχι μεγαλύτερος από εκείνον μίας χειμερινής ανάπτυξης που αναπτύσσεται από νεαρό πάγο με πάχος από 0,3 m έως 2,0 m.

Ice free waters: σημαίνει ότι δεν υπάρχει πάγος. Εάν υπάρχει πάγος οποιουδήποτε είδους, αυτός ο όρος δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Ice of land origin (Πάγος χερσαίας προέλευσης): σημαίνει πάγος που σχηματίζεται στη στεριά ή σε ράφι πάγου και επιπλέει στο νερό.

Open waters (ανοιχτά νερά) σημαίνει μια μεγάλη περιοχή ελεύθερα πλεύσιμου νερού στην οποία υπάρχει θαλάσσιος πάγος σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1/10. Δεν υπάρχει πάγος χερσαίας προέλευσης.

Sea Ice: ως θαλάσσιος πάγος νοείται κάθε μορφή πάγου που βρίσκεται στη θάλασσα και προέρχεται από την κατάψυξη του θαλασσινού νερού.

Παλιός πάγος σημαίνει θαλάσσιος πάγος που έχει επιβιώσει τουλάχιστον ένα καλοκαίρι, τυπικό πάχος έως 3 m ή περισσότερο. Υποδιαιρείται σε υπολειπόμενο πάγο πρώτου έτους, πάγο δεύτερου έτους και πάγο πολλών ετών.

Παρακάτω φαίνονται οι τύποι πάγων που μπορούν να συναντήσουν τα πλοία όταν πλέουν σε πολικά ύδατα.

### Definitions of Ice Type

Ice Type		Thickness (cm)
New Ice		≤10
Young Ice	Grey Ice	10-15
	Grey-White Ice	15-30
First Year	Thin First Year Ice, First Stage	30-50
	Thin First Year Ice, Second Stage	50-70
	Medium First Year Ice	70-120
	Thick First Year Ice	≥120
Old Ice	Second-Year	≥250
	Multi-Year	≥300
	Ice of Land Origin	
Ice Shelf	A floating ice sheet of thickness showing 2 to 50 m or more above sea-level, attached to the coast	
Fast Ice	Sea ice which forms and remains fast along the coast, where it is attached to the shore, to an ice wall, to an ice front, between shoals or grounded icebergs	

Πίνακας 1: Οι τύποι πάγων και τα αντίστοιχα πάχη τους σε πολικά ύδατα

Ύδατα Bergy: σημαίνουν μια περιοχή ελεύθερα πλεύσιμων υδάτων στην οποία βρίσκονται πάγοι χειρσαίας προέλευσης σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1/10. Μπορεί να υπάρχει θαλάσσιος πάγος, συνολικά, όμως, η συγκέντρωση όλου του πάγου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/10.

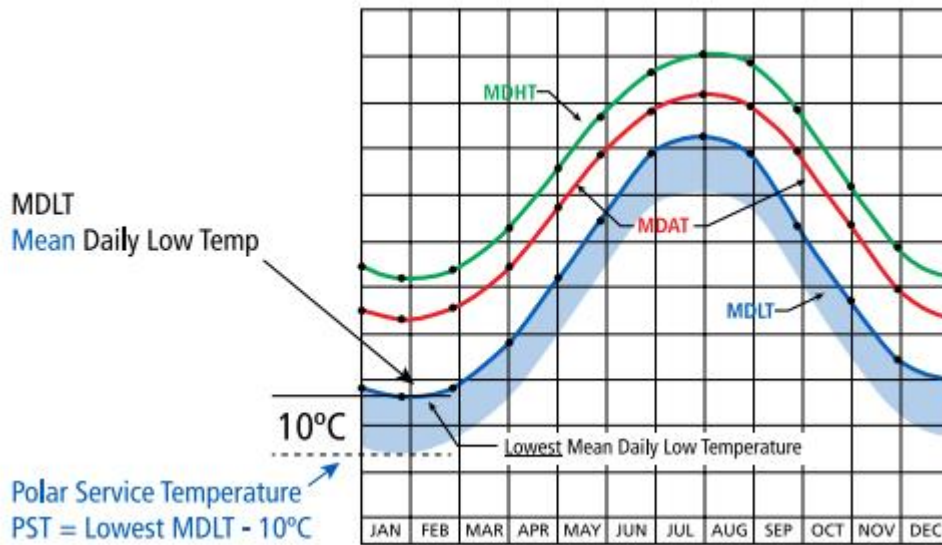
Icebreaker (παγοθραυστικό): νοείται κάθε πλοίο του οποίου το επιχειρησιακό προφίλ μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες διαχείρισης του πάγου, των οποίων η ισχύς και οι διαστάσεις του επιτρέπουν να αναλαμβάνει επιθετικά επιχειρήσεις σε ύδατα καλυμμένα με πάγο.

Maximum expected time of rescue: Ως μέγιστος αναμενόμενος χρόνος διάσωσης νοείται ο χρόνος που υιοθετήθηκε για το σχεδιασμό του εξοπλισμού και του συστήματος που παρέχουν υποστήριξη επιβίωσης. Δεν θα είναι ποτέ λιγότερο από 5 ημέρες.

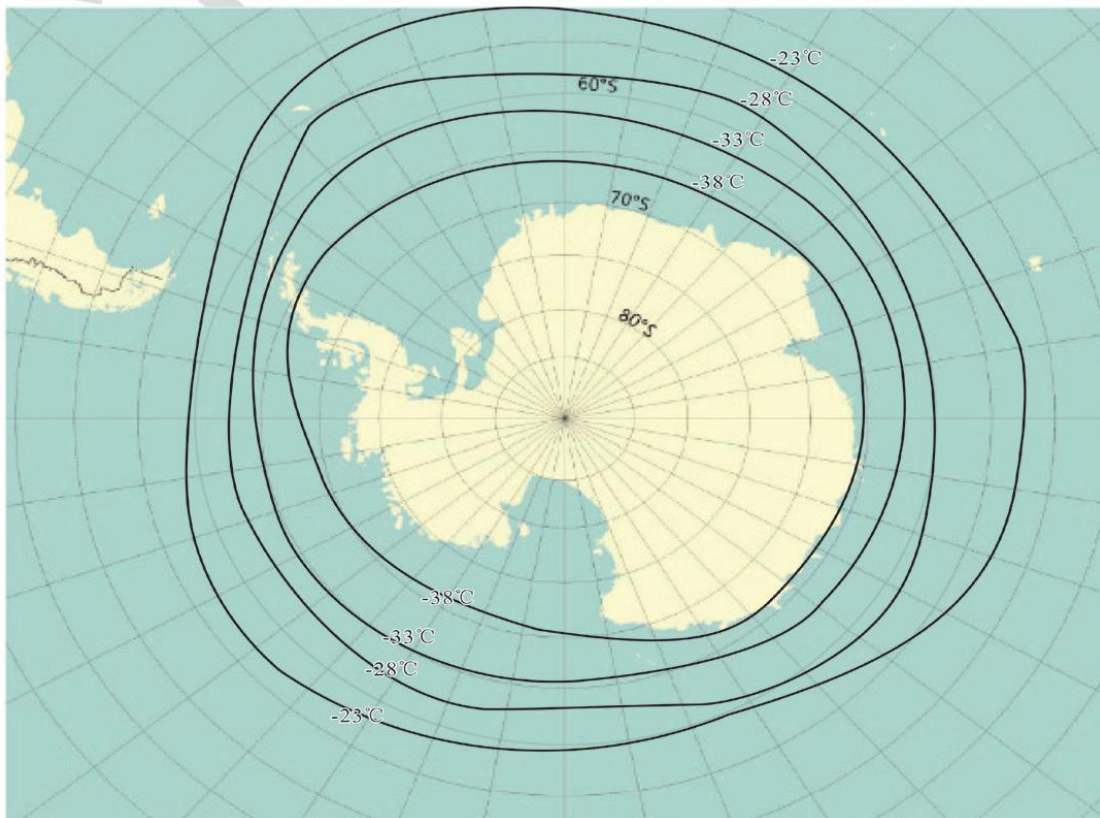
Μέση ημερήσια χαμηλή θερμοκρασία - Mean Daily Low Temperature (MDLT) είναι η μέση τιμή της ημερήσιας χαμηλής θερμοκρασίας για κάθε ημέρα του έτους για περίοδο τουλάχιστον 10 ετών.

Θερμοκρασία Πολικής Υπηρεσίας - Polar Service Temperature (PST) είναι η θερμοκρασία που καθορίζεται για ένα πλοίο το οποίο προορίζεται να λειτουργεί σε χαμηλή θερμοκρασία αέρα (low air temperature), η οποία πρέπει να ρυθμίζεται τουλάχιστον 10°C κάτω από τη χαμηλότερη MDLT για την προβλεπόμενη περιοχή και την εποχή λειτουργίας σε πολικά νερά.

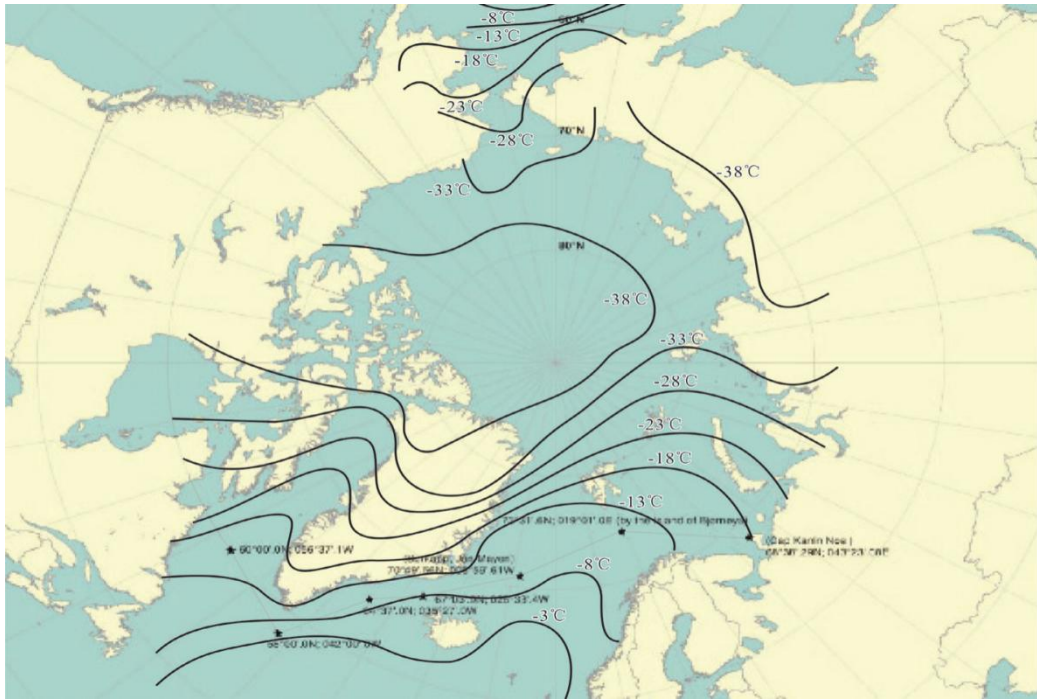
Ως πλοίο που προορίζεται να λειτουργεί σε χαμηλή θερμοκρασία αέρα σημαίνει πλοίο που προορίζεται να πραγματοποιεί ταξίδια προς ή μέσω περιοχών όπου η χαμηλότερη μέση ημερήσια χαμηλή θερμοκρασία (MDLT) είναι κάτω από -10°C.



Εικόνα 6: Ο τρόπος υπολογισμού της χαμηλότερης μέσης ημερήσιας χαμηλής θερμοκρασίας



Εικόνα 7: Η χαμηλότερη Μέση ημερήσια χαμηλή θερμοκρασία ενός έτους στην Ανταρκτική



Εικόνα 8: Η χαμηλότερη μέση ημερήσια χαμηλή θερμοκρασία ενός έτους στην Αρκτική

## 2.5: Περιεχόμενα Πολικού Κώδικα

Ο Πολικός Κώδικας ξεκινά με κοινό προκαταρκτικό και εισαγωγικό κείμενο που καθορίζει τις αρχές, τους στόχους, τους βασικούς ορισμούς και τις εξεταζόμενες πηγές κινδύνων. Το Μέρος I-A υποδιαιρείται σε δώδεκα (12) υποχρεωτικά κεφάλαια των μέτρων ασφαλείας. Πρόσθετη καθοδήγηση και συστάσεις για την ασφάλεια παρέχονται στο Μέρος I-B. Το Μέρος II-A οργανώνεται σε τέσσερα (4) υποχρεωτικά κεφάλαια μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος. Αυτά τα κεφάλαια ευθυγραμμίζονται με τα αντίστοιχα παραρτήματα MARPOL (I, II, IV και V) και εισάγουν πρόσθετους περιορισμούς απόρριψης πάνω και πέρα από αυτά που έχουν ήδη προδιαγραφεί από τη MARPOL. Το Μέρος II-B προσφέρεται για την παροχή πρόσθετων μη υποχρεωτικών καθοδηγήσεων σχετικά με την πρόληψη της ρύπανσης.

- Εισαγωγή
- Μέρος I-A: Μέτρα Ασφαλείας
  - Κεφάλαιο 1 – Γενικά
  - Κεφάλαιο 2 – Εγχειρίδιο Λειτουργίας σε Polar Waters (PWOM)
  - Κεφάλαιο 3 – Κατασκευαστικό μέρος πλοίου
  - Κεφάλαιο 4 – Υποδιαίρεση και ευστάθεια
  - Κεφάλαιο 5 – Υδατοστεγής και στεγανή ακεραιότητα
  - Κεφάλαιο 6 – Εγκαταστάσεις μηχανημάτων
  - Κεφάλαιο 7 – Πυρασφάλεια/Προστασία
  - Κεφάλαιο 8 – Σωστικές συσκευές
  - Κεφάλαιο 9 – Ασφάλεια πλοήγησης
  - Κεφάλαιο 10 – Επικοινωνία
  - Κεφάλαιο 11 – Σχεδιασμός Ταξιδιού
  - Κεφάλαιο 12 – Επάνδρωση και εκπαίδευση
- Μέρος I-B: Πρόσθετη καθοδήγηση
- Μέρος II-A: Μέτρα Πρόληψης Ρύπανσης
  - Κεφάλαιο 1 – Πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο(MARPOL Παράρτημα I)
  - Κεφάλαιο 2 – Πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες (Παράρτημα II MARPOL)
  - Κεφάλαιο 4 – Πρόληψη της ρύπανσης από λύματα από πλοία (Παράρτημα IV MARPOL)
  - Κεφάλαιο 5 – Πρόληψη της ρύπανσης από σκουπίδια από πλοία (Παράρτημα V MARPOL)
- Μέρος II-B: Πρόσθετη καθοδήγηση



## 2.6: Έγγραφα - Documentation

### 2.6.1: Polar Ship Certificate (PSC)

Το Polar Ship Certificate (PSC) είναι η τελική επιβεβαίωση ότι το πλοίο συμμορφώνεται με τους ισχύοντες κανονισμούς του Πολικού Κώδικα. Είναι ένα ουσιαστικό έγγραφο που θα αναθεωρηθεί από Λιμένα και παράκτια κράτη και χρησιμοποιείται από ιδιοκτήτες, ναυλωτές, πλήρωμα και άλλους για την αξιολόγηση του τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του πλοίου. Το PSC είναι ένα υποχρεωτικό έγγραφο που εκδίδεται από τη σημαία κράτος ή τον νηογνώμονα μετά από επιθεώρηση και απαιτείται να βρίσκεται σε κάθε πλοίο που εισέρχεται σε Πολικά νερά όπου ισχύει ο Πολικός Κώδικας. Ένα μοντέλο PSC παρέχεται στην επόμενη σελίδα επισημαίνοντας τέσσερα κύρια στοιχεία:

- A. Πληροφορίες κατηγορίας πλοίου και κατηγορίας πάγου
- B. Άλλα όρια για τους ισχύοντες κανονισμούς (τύπος πλοίου, λειτουργίες πάγου, χαμηλή θερμοκρασία αέρα)
- Γ. Προβλέψεις για εναλλακτικό σχεδιασμό και ρυθμίσεις
- Δ. Λειτουργικοί περιορισμοί (συνθήκες πάγου, θερμοκρασία, μεγάλα γεωγραφικά πλάτη)

Ένα συμπληρωματικό Αρχείο Εξοπλισμού θα συνοδεύει τη λίστα PSC για τυχόν επιπλέον εξοπλισμό που απαιτείται ειδικά από τον Πολικό Κώδικα και πέρα από τις ελάχιστες απαιτήσεις της SOLAS. Το Αρχείο Εξοπλισμού θα περιλαμβάνει πληροφορίες για σωστικές συσκευές, εξοπλισμό πλοήγησης και επικοινωνιακό εξοπλισμό. Παρακάτω φαίνεται το αντίστοιχο έγγραφο.

THIS IS TO CERTIFY:

- 1 That the ship has been surveyed in accordance with the applicable safety-related provisions of the International Code for Ships Operating in Polar Waters.
- 2 That the survey<sup>3</sup> showed that the structure, equipment, fittings, radio station arrangements, and materials of the ship and the condition thereof are in all respects satisfactory and that the ship complies with the relevant provisions of the Code.

Category A/B/C <sup>4</sup> ship as follows: <span style="float: right;">(A)</span>				
Ice Class and Ice Strengthened Draft Range				
Ice class	Maximum draft		Minimum draft	
	Aft	Fwd	Aft	Fwd

2.1	Ship type: tanker/passenger ship/other <sup>4</sup>	(B)
2.2	Ship restricted to operate in ice free waters/open waters/other ice conditions <sup>4</sup>	
2.3	Ship intended to operate in low air temperature: Yes/No <sup>4</sup>	
2.3.1	Polar Service Temperature: .....°C/Not Applicable <sup>4</sup>	
2.4	Maximum expected time of rescue .....days	

3	The ship was/was not <sup>4</sup> subjected to an alternative design and arrangements in pursuance of regulation(s) XIV/4 of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended.	(C)
4	A Document of approval of alternative design and arrangements for structure, machinery and electrical installations/fire protection/life-saving appliances <sup>4</sup> and arrangements is/is not <sup>4</sup> appended to this Certificate.	

5	Operational limitations	(D)
	The ship has been assigned the following limitations for operation in polar waters:	
5.1	Ice conditions: .....	
	.....	
5.2	Temperature: .....	
	.....	
5.3	High latitudes: .....	

<sup>3</sup> Subject to regulation 1.3 of the International Code for Ships Operating in Polar Waters.

<sup>4</sup> Delete as appropriate.

Εικόνα 9: Polar Code Certificate

## 2.6.2: Εγχειρίδιο λειτουργίας σε Πολικά ύδατα - Polar Water Operational Manual

Καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του Πολικού Κώδικα του IMO αναγνωρίστηκε ότι υπάρχει ανάγκη, για τα πλοία που δραστηριοποιούνται στα Πολικά ύδατα, για τη διατήρηση μιας ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης ότι ο ιδιοκτήτης, ο χειριστής, ο πλοίαρχος και το πλήρωμα έχουν μια επαρκή καθοδήγηση σχετικά με τη λειτουργική ασφάλεια στις αναμενόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και για το πώς να ανταποκριθούν σε τυχόν περιστατικά που μπορεί να προκύψουν. Το κεφάλαιο 2 του Πολικού Κώδικα ορίζει ότι όλα τα πλοία θα πρέπει να διαθέτουν ένα Polar Water Operational Manual (PWOM) επί του σκάφους για την υποστήριξη των διαδικασιών λήψης αποφάσεων κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων.

Το PWOM αποτελεί συμπλήρωμα του Polar Ship Certificate και θα πρέπει να περιλαμβάνει μια συλλογή λειτουργικών διαδικασιών που βασίζονται στον κίνδυνο, ειδικά για το πολικό περιβάλλον. Στην ανάπτυξη του βασισμένου στον κίνδυνο διαδικασιών, θα πρέπει να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι έναντι της πιθανότητας εμφάνισης και συνέπειας για το επιδιωκόμενο λειτουργικό προφίλ του σκάφους. Μια γενική λίστα των διαδικασιών που απαιτούνται στο Εγχειρίδιο είναι η εξής:

- Λειτουργίες σε πάγο
- Λειτουργίες σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Μέτρα που πρέπει να ληφθούν εάν οι συνθήκες πάγου ή θερμοκρασίας υπερβαίνουν τις σχεδιαστικές δυνατότητες του πλοίου
- Δυνατότητες επικοινωνίας και πλοήγησης σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη
- Διάρκεια ταξιδιού
- Σχεδιασμός ταξιδιού για την αποφυγή πάγου ή θερμοκρασιών που υπερβαίνουν τις σχεδιαστικές δυνατότητες του πλοίου
- Ρυθμίσεις για τη λήψη προβλέψεων των περιβαλλοντικών συνθηκών
- Μέσα αντιμετώπισης περιορισμών (υδρογραφικών, μετεωρολογικών και πληροφοριών πλοήγησης)
- Ειδικά μέτρα για τη διατήρηση της λειτουργικότητας του εξοπλισμού και του συστήματος σε χαμηλές θερμοκρασίες και θαλάσσιο πάγο (π.χ. κατάποση) εάν υπάρχει
- Επικοινωνία με τους παρόχους υπηρεσιών απόκρισης έκτακτης ανάγκης (διάσωση, SAR) για τις προβλεπόμενες επιχειρησιακές περιοχές
- Υποστήριξη ζωής και ακεραιότητα πλοίου σε περίπτωση παρατεταμένης παγίδευσης από πάγο
- Επιχειρήσεις συνοδείας ή βοήθειας από παγοθραυστικό, όπου χρειάζεται

Στην ιδέα, το PWOM είναι παρόμοιο με την τεκμηρίωση διαχείρισης ποιότητας και ασφάλειας που απαιτείται ήδη σε όλα τα πλοία με την πιστοποίηση της SOLAS από τον κώδικα IMO, τον ISM. Το PWOM δεν θα υπόκειται σε έγκριση από το κράτος σημαίας, αν και προβλέπεται ότι θα εφαρμοστεί παρόμοιο σύστημα ελέγχου και επαλήθευσης με το ISM. Παρακάτω φαίνεται ένα ενδεικτικό Εγχειρίδιο λειτουργίας.

<b>1 - Operational Capabilities &amp; Limitations</b>	<b>1.1</b>	<b>Operations in ice</b>
	1.1.1	Operator guidance for safe operation
	1.1.2	Icebreaking capabilities
	1.1.3	Maneuvering in ice
	1.1.4	Special features
	<b>1.2</b>	<b>Operations in low air temperatures</b>
	1.2.1	System design
	1.2.2	Protection of personnel
	<b>1.3</b>	<b>Communication and navigation capabilities in high latitudes</b>
	<b>1.4</b>	<b>Voyage duration</b>
<b>2 - Ship Operations</b>	<b>2.1</b>	<b>Strategic planning</b>
	2.1.1	Avoidance of hazardous ice
	2.1.2	Avoidance of hazardous temperatures
	2.1.3	Voyage duration and endurance
	2.1.4	Manning
	<b>2.2</b>	<b>Arrangements for receiving forecasts of environmental conditions</b>
	2.2.1	Ice information
	2.2.2	Meteorological information
	<b>2.3</b>	<b>Verification of hydrographic, meteorological and navigational information</b>
	<b>2.4</b>	<b>Operation of special equipment</b>
	2.4.1	Navigation systems
	2.4.2	Communications systems
	<b>2.5</b>	<b>Procedures to maintain equipment and system functionality</b>
	2.5.1	Icing prevention and de-icing
	2.5.2	Operation of seawater systems
2.5.3	Procedures for low temperature operations	
<b>3 - Risk Management</b>	<b>3.1</b>	<b>Risk mitigation in limiting environmental condition</b>
	3.1.1	Measures to be considered in adverse ice conditions
	3.1.2	Measures to be considered in adverse temperature conditions
	<b>3.2</b>	<b>Emergency response</b>
	3.2.1	Damage control
	3.2.2	Firefighting
	3.2.3	Pollution response
	3.2.4	Escape and evacuation
	<b>3.3</b>	<b>Coordination with emergency response providers</b>
	3.3.1	Ship emergency response services
	3.3.2	Salvage
	3.3.3	Search and rescue
	3.3.4	Spill response
	<b>3.4</b>	<b>Procedures for prolonged entrapment by ice</b>
3.4.1	System configuration	
3.4.2	System operation	
<b>4 - Joint Operations</b>	<b>4.1</b>	<b>Escorted operations</b>
	<b>4.2</b>	<b>Convoy operations</b>

Πίνακας 2: Polar Water Operational Manual

## 2.7: Κατασκευαστικό μέρος πλοίου

Δύο είναι οι βασικοί κίνδυνοι από τους οποίους μπορεί να απειληθεί η δομική ακεραιότητα της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, η χαμηλή θερμοκρασία αέρα (Low Air Temperature) και η παρουσία πάγου. Οι κίνδυνοι αυτοί περιγράφονται και συστήνονται ενέργειες για την αντιμετώπισή τους στις ενοποιημένες απαιτήσεις (Unified Requirements) της Διεθνούς Ένωσης Νηογνομόνων (IACS). Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται στις εξής ενότητες:

1. IACS Unified Requirement UR S6 - Use of Steel Grades for Various Hull Members – Ships of 90 m in Length and Above
2. IACS Unified Requirements UR I Requirements Concerning Polar Class

Ο Πολικός Κώδικας καθιέρωσε τρεις κατηγορίες που συνδέονται με τις αναγνωρισμένες από τον IACS πολικές κατηγορίες (Polar Class).

Category	Description	Ice Class
A	Designed for operation in Polar waters in at least <b>medium first-year ice</b> which may include old ice inclusions	IACS PC1, PC2, PC3, PC4, PC5*
B	Designed for operation in Polar waters in at least thin <b>first-year ice</b> which may include old ice inclusions	IACS PC6 - PC7*
C	Designed to operate in open water or in ice conditions less severe than those included in Cat A or B	Scantlings adequate for intended ice types and concentrations

Πίνακας 3: Οι Πολικές Κατηγορίες σύμφωνα με τον IACS και οι περιοχές λειτουργίας τους

## 2.8: Άθικτη ευστάθεια

Ο ψεκασμός της θάλασσας σε συνδυασμό με θερμοκρασίες αέρα κάτω από το μηδέν μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση πάγου στα καταστρώματα και στον εξοπλισμό που οδηγεί σε πιθανή μείωση της ευστάθειας. Τα μικρότερα πλοία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα όπου το πρόσθετο βάρος στα ανώτερα σημεία, που επιδεινώνεται από τις αλλαγές στην διαγωγή, μπορεί να ανυψώσει το κέντρο βάρους του πλοίου αυξάνοντας της ροπής διατοιχισμού, αλλάζοντας σημαντικά το προφίλ ευστάθειας του σκάφους. Για πλοία που λειτουργούν σε περιοχές και σε περιόδους όπου είναι πιθανό να συμβεί συσσώρευση πάγου, ο Πολικός κώδικας ορίζει συγκεκριμένα επίπεδα επιτρεπόμενης συσσώρευσης πάγου σε εκτεθειμένα καταστρώματα, διαδρόμους, και πλευρικές προβαλλόμενες περιοχές που πρέπει να περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς άθικτης ευστάθειας.

Για τα νέα πλοία, είναι αρκετά απλό να συμπεριληφθούν οι ανοχές πάγου στις συνθήκες φόρτωσης στο trim και stability booklet. Ορισμένα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μπορούν επίσης να ενσωματωθούν για τη μείωση της σοβαρότητας της συσσώρευσης πάγου. Αυτά περιλαμβάνουν συνήθως μορφές πλώρης που έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τις σφυροκρούσεις και, ως εκ τούτου, τα συμβάντα ψεκασμού στη θάλασσα, τις κλειστές υπερκατασκευές και υπερστεγάσματα, μειωμένα προφίλ εξοπλισμού, αποφυγή πολύπλοκων επιφανειών στις οποίες μπορεί να προσκολληθεί ο πάγος, αυξημένα έξαλα και αποτελεσματικά συστήματα αποστράγγισης καταστρώματος για την αποφυγή λιμνάζοντος νερού.

## 2.9: Ευστάθεια μετά από βλάβη

Μετά από βλάβη

Τα νέα πλοία της κατηγορίας A και B πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν τις κατακλύσεις διαμερισμάτων που προκύπτουν από διείσδυση πάγου στο κύτος. Οι διαστάσεις του ρήγματος είναι συγκεκριμένες. Τα κριτήρια υπήρχαν προηγουμένως στις εθελοντικές κατευθυντήριες γραμμές του IMO (Polar Guidelines) και γίνονται υποχρεωτικά βάσει του Πολικού Κώδικα.

Γενικά, τα κριτήρια είναι πολύ λιγότερο αυστηρά από άλλα τυπικά κριτήρια ζημίας του IMO, αλλά επειδή η ζημιά μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε σε όλο το μήκος του πλοίου, μπορεί να οδηγήσει σε κατάκλιση δύο διαμερισμάτων. Για ορισμένα πλοία και ρυθμίσεις, αυτό μπορεί να απαιτήσει αλλαγές σχεδιασμού στην υποδιαίρεση. Η παρακάτω λίστα αναφέρει ορισμένα αποτελέσματα των νέων υποχρεωτικών κανονισμών.

- Τα πετρελαιοφόρα ικανοποιούν τις απαιτήσεις των δύο διαμερισμάτων με μεγάλο βάθος εισχώρησης. Συνεπώς οι πρόσθετοι κανονισμοί του Πολικού Κώδικα δεν θα επηρεάσουν την διαμερισματοποίηση του πλοίου.
- Τα Bulk Carrier θα πρέπει να ακολουθήσουν την πιθανοθεωρητική θεώρηση, εννοώντας ότι τα πλοία δεν χρειάζεται να επιβιώσουν όλα τα σενάρια μονής

και διπλής κατάκλισης για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις Εάν όμως τα σενάρια μη επιβίωσης πρέπει να αλλάξουν, σχεδιαστικές αλλαγές θα πρέπει να πραγματοποιηθούν. Το ίδιο ισχύει και για τα κρουαζιερόπλοια.

- Οι κανονισμοί ευστάθειας μετά από βλάβη δεν ισχύουν για πλοία κατηγορίας Γ.

## 2.10: Στεγανή ακεραιότητα

Όλες οι συσκευές κλεισίματος και οι πόρτες που σχετίζονται με την υδατοστεγή και στεγανή ακεραιότητα πρέπει να λειτουργούν υπό τις αναμενόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες στα πολιτικά ύδατα. Για τα πλοία που λειτουργούν σε περιοχές συσσώρευσης πάγου, πρέπει να παρέχονται μέσα είτε για την αφαίρεση είτε για την αποτροπή συσσώρευσης πάγου και χιονιού γύρω από καταπακτές και πόρτες. Ο Πολικός Κώδικας δεν ορίζει συγκεκριμένες λύσεις. Οι ιδιοκτήτες πρέπει να λάβουν ανάλογες αποφάσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού. Διαδικασίες αποπάγωσης, όπως η χρήση ξύλινων σφυριών ο ατμός και ο ψεκασμός ζεστού νερού είναι βιώσιμες λύσεις. Επιπλέον, για πλοία που προορίζονται να λειτουργούν σε χαμηλή θερμοκρασία αέρα, επιβάλλονται δύο κανονισμοί:

- Πρέπει να παρέχονται μέσα για την αποφυγή παγώματος ή υπερβολικού ιξώδους των υδραυλικών υγρών που χρησιμοποιούνται σε πόρτες και καταπακτές με υδραυλική λειτουργία.
- Εξωτερικές καταπακτές και συσκευές κλεισίματος θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε να τις χειρίζεται προσωπικό που φοράει βαριά χειμερινά ρούχα, συμπεριλαμβανομένων χοντρών γαντιών.

Ορισμένα διαθέσιμα υδραυλικά υγρά ενδέχεται να έχουν πιστοποιημένη λειτουργικότητα για τη Θερμοκρασία Πολικής Υπηρεσίας διαφορετικά, μπορούν να εγκατασταθούν διατάξεις θέρμανσης. Για την αποθήκευση για βαριών χειμερινών ρούχων, προτείνονται μεγάλες συσκευές χειροκίνητου κλεισίματος με αποτελεσματικές λαβές. Τα μέλη πληρώματος θα πρέπει να δοκιμάσουν τα χειμερινά ρούχα του σκάφους για να διασφαλίσουν ότι μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν αποτελεσματικά, καταπακτές με αυτά.

## 2.11: Μηχανολογικός εξοπλισμός

Το Κεφάλαιο 6 του Πολικού Κώδικα καλύπτει μηχανήματα και ηλεκτρικά συστήματα που είναι κρίσιμα για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου. Οι κανονισμοί είναι παρόμοιοι με εκείνους που προσφέρονται από μεμονωμένους νηογνώμονες, αλλά συμβάλλουν στον καθορισμό ενός ελάχιστου επιπέδου ασφάλειας. Οι λειτουργικές απαιτήσεις συνδέονται με τους ακόλουθους κύριους αναγνωρισμένους κινδύνους που μπορεί να επηρεάσουν τα μηχανήματα κατά τη λειτουργία σε πολικά ύδατα:

Για όλα τα πολικά πλοία:

- Συσσώρευση πάγου ή/και συσσώρευση χιονιού
- Κατάποση πάγου από θαλασσινό νερό
- Κατάψυξη και ιξώδες υγρών
- Θερμοκρασία πρόσληψης θαλασσινού νερού
- Κατάποση χιονιού

Για πλοία που λειτουργούν σε περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας αέρα:

- Ψυχρή και πυκνή εισαγωγή αέρα
- Απόδοση αποθηκευμένης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες) σε χαμηλή θερμοκρασία
- Υλικά που εκτίθενται σε χαμηλή θερμοκρασία

Τα sea chests και οι εισροές θαλασσινού νερού μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα στα πλοία που πλέουν σε ύδατα όπου υπάρχει πιθανότητα για συνθήκες πάγου και λάσπης. Η κατάποση πάγου και λάσπης μπορεί να οδηγήσει σε μπλοκάρισμα της ροής του θαλασσινού νερού στο σύστημα ψύξης ή στα συστήματα πυρόσβεσης. Ως γενική αρχή, για τα sea chests που χρησιμοποιούνται σε νερά με πάγο ή λάσπη θα πρέπει:

α) Να διατηρείται το απαραίτητο θαλασσινό νερό χρησιμοποιώντας θέσεις εισόδου όσο το δυνατόν πιο χαμηλά και πίσω στη centerline

β) Να χρησιμοποιούνται sea boxes

γ) Να εισαγάγετε ζεστό νερό ψύξης στις εισόδους θαλασσινού νερού

δ) Να παρέχονται μέσα για τον χειροκίνητο καθαρισμό των θαλάσσιων εισόδων από πάγο εισάγοντας χαμηλής πίεσης πεπιεσμένο αέρα ή ατμό.

ε) Να αφήνεται ο πάγος που εισάγεται στο σύστημα να επιπλέει ελεύθερα μακριά από τις εισαγωγές της αντλίας.

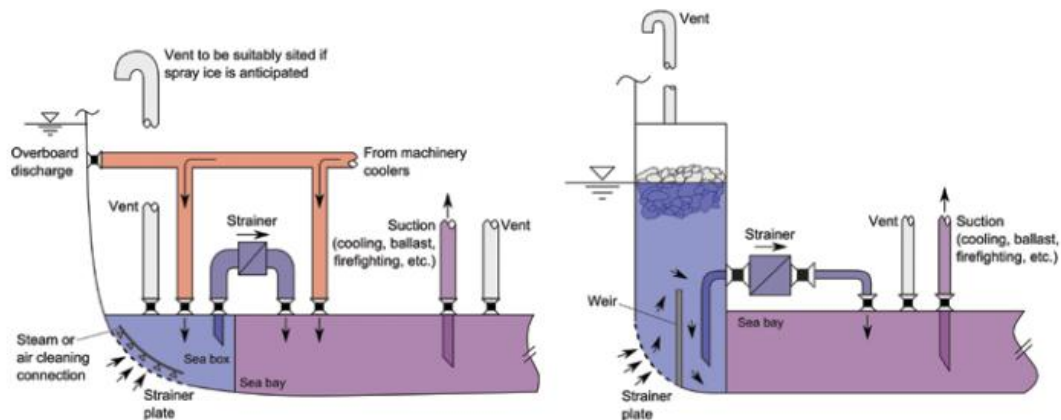
στ) Να επιτρέπεται η χρήση νερού έρματος για:

- Backflashing των sea boxes
- Την ψύξη των κινητήρων ως βραχυπρόθεσμη λύση

Δύο παραδείγματα σκιαγραφούνται στα παρακάτω σχήματα. Η αριστερή εικόνα χρησιμοποιεί την απορριπτόμενη θερμότητα από το νερό ψύξης όπως προτείνεται από τον IMO. Ενώ η δεξιά είναι ένας τύπος φράγματος που χρησιμοποιείται συνήθως σε παγοθραυστικά της Βαλτικής καθώς και σε πολλά σκάφη Polar Class. Η αναρρόφηση διαχωρίζεται από το σχάρες εισόδου από κατακόρυφο φράγμα. Οποιοσδήποτε πάγος



μπαίνει στο sea chest μπορεί να επιπλεύσει στην κορυφή και είναι απίθανο να εισαχθεί στο επίπεδο αναρρόφησης. Αυτές οι ρυθμίσεις είναι συνήθως εξοπλισμένες με ένα μέσο καθαρισμού του πάγου στην περιοχή πάνω από την ίσαλο γραμμή.



Εικόνα 10: Τύποι sea chest σε πλοία που εκτελούν πλόες σε πολικά ύδατα

## 2.12: Προστασία από την φωτιά

Τα συστήματα πυρόσβεσης απειλούνται με πολλούς τρόπους από τις πολικές συνθήκες. Η συσσώρευση πάγου μπορεί να εμποδίσει την πρόσβαση σε χειριστήρια, όπως λαβές βαλβίδων. Το νερό μπορεί να παγώσει μέσα σε εκτεθειμένες σωληνώσεις. Οι πυροσβεστήρες μπορεί να παγώσουν και να γίνουν αναποτελεσματικοί ενώ άτομα που έχουν ανατεθεί σε ομάδες πυρόσβεσης μπορεί να φορούν ογκώδη ρούχα για πολικό καιρό που μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητά τους να χρησιμοποιούν εξοπλισμό. Για όλα τα πλοία που συμμορφώνονται με τον Polar Code, οι ακόλουθοι κανονισμοί πυρασφάλειας επιβάλλονται στο Κεφάλαιο 7:

- Εκτεθειμένες βαλβίδες απομόνωσης και πίεσης/κενού που προστατεύονται από συσσώρευση πάγου
- Πυροσβεστικές αντλίες που βρίσκονται σε διαμερίσματα που διατηρούνται πάνω από το μηδέν
- Οι πυροσβεστικές στολές να αποθηκεύονται σε ζεστούς χώρους
- Ανεξάρτητη θαλάσσια αναρρόφηση για ξεχωριστά συστήματα πυρόσβεσης με βάση το νερό. Τα πλοία που προορίζονται να λειτουργούν σε χαμηλή θερμοκρασία αέρα πρέπει να συμμορφώνονται με πρόσθετες διατάξεις λαμβάνοντας υπόψη την καθορισμένη πολική θερμοκρασία υπηρεσίας (PST) του πλοίου:
- Αμφίδρομος φορητός εξοπλισμός ραδιοεπικοινωνίας που λειτουργεί στην PST
- Φορητοί πυροσβεστήρες που προστατεύονται από το πάγωμα ή λειτουργούν στην PST
- Υλικά εκτεθειμένων συστημάτων εγκεκριμένα για PST

## **2.13: Σωστικά μέσα**

### **2.13.1: Οδοί διαφυγής**

Κατά τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι οδοί διαφυγής καθώς και η πρόσβαση σε καίρια συστήματα ασφαλείας. Αρχικά, θα μπορούσε ολόκληρη η οδός διαφυγής να είναι κεκλεισμένη και προστατευμένη από το sea spray εξαλείφοντας την πιθανότητα συσσώρευσης πάγου. Άλλη μία αποτελεσματική τεχνική είναι η θέρμανση του καταστρώματος που φιλοξενεί το escape route. Εάν σχεδιαστεί σωστά, η επιφανειακή θερμοκρασία μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από την θερμοκρασία τήξης του πάγου. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να είναι ενήμεροι και να λάβουν υπόψιν για την πρόσθετη ηλεκτρική απαίτηση που απαιτείται για την ισχύ σε τέτοια συστήματα. Μια τρίτη λύση είναι ο σωστός χειρισμός και η παρακολούθηση του πλοίου για φαινόμενα συσσώρευσης πάγου. Αυτό απαιτεί ένα καλά εκπαιδευμένο και έμπειρο πλήρωμα για να αναγνωρίσει τις δυσμενείς συνθήκες και να αποφασίσει και να εκτελέσει τις απαραίτητες διαδικασίες για την αντιμετώπιση τους. Αυτές οι διαδικασίες πρέπει να είναι ξεκάθαρες στο PWOM του πλοίου και/ή στο winterization plan.

### **2.13.2: Εκκένωση**

Το σκάφος επιβίωσης πρέπει να παρέχει στο πλήρωμα ένα μέσο ασφαλούς εκκένωσης του σκάφους, λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους που υπάρχουν στις πολικές περιοχές, όπως χαμηλή θερμοκρασία αέρα, άνεμοι, χαμηλή θερμοκρασία νερού, πολλές ώρες ήλιου ή σκότους, παρουσία πάγου και φυσικής άγριας ζωής. Το σκάφος πρέπει επίσης να είναι ικανό για αποτελεσματική εκκένωση ανά πάσα στιγμή μέχρι τον μέγιστο αναμενόμενο χρόνο διάσωσης (τουλάχιστον πέντε ημέρες).

Τα βασικά συστατικά μιας ασφαλούς εκκένωση είναι η αποτελεσματική συγκέντρωση των μελών πληρώματος, η επιβίβαση στο σκάφος διαφυγής και η εγκατάλειψη πλοίου. Κατά την διαδικασία της συγκέντρωσης, το πλήρωμα θα έπρεπε να προστατεύεται από τα στοιχεία όπως το κρύο και τον άνεμο. Όταν το πλήρωμα επιβιβάζεται στο σκάφος, τα περάσματα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα για άτομα που φοράνε μεγάλα, ογκώδη ρούχα. Οι σωσίβιες λέμβοι είναι συχνά συνδεδεμένες με το σκάφος μέσω μηχανισμών απελευθέρωσης. Αυτοί οι μηχανισμοί πρέπει να είναι ελεύθεροι να δουλέψουν όταν χρειάζεται και επομένως μπορεί να απαιτήσουν, προστασία από τις επιπτώσεις της συσσώρευσης πάγου, και λίπανση με λάδι/γράσο ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες αέρα.

Ο Πολικός Κώδικας επιτρέπει μόνο τη χρήση μερικώς ή πλήρως κλειστών σωσίβιων λέμβων. Η χρήση ανοιχτών σωσίβιων λέμβων απαγορεύεται σε πολικές περιοχές.

Ατομικές συσκευές θερμικής προστασίας (είτε θερμικές προστατευτικά βοηθήματα ή στολές εμβάπτισης κατάλληλου μεγέθους) πρέπει επίσης να παρέχονται για κάθε άτομο επί του σκάφους και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η βύθιση σε πολικά νερά. Αν αναμένεται ταξίδι με παρατεταμένες ώρες σκοταδιού, οι σωσίβιες λέμβοι πρέπει επίσης να είναι εφοδιασμένες με φώτα αναζήτησης.

Πρέπει να παρέχονται κατάλληλοι πόροι επιβίωσης για την επιβίωση της ζωής στην ξηρά, στο νερό ή στον πάγο για τον μέγιστο αναμενόμενο χρόνο διάσωσης (τουλάχιστον πέντε ημέρες). Θα πρέπει να παρέχονται προσωπικά κιτ επιβίωσης καθώς και ομαδικά κιτ επιβίωσης. Τα ατομικά και τα ομαδικά κιτ επιβίωσης περιέχουν τα εξής:

<b>Personal Survival – Suggested Equipment</b>
Protective clothing (hat, gloves, socks, face and neck protection, etc.)
Skin protection cream
Thermal protective aid
Sunglasses
Whistle
Drinking mug
Penknife
Polar survival guidance
Emergency food
Carrying bag

<b>Group Survival - Suggested Equipment</b>
Shelter – tents or storm shelters or equivalent – sufficient for maximum number of persons
Thermal protective aids or similar – sufficient for maximum number of persons
Sleeping bags – sufficient for at least one between two persons
Foam sleeping mats or similar – sufficient for at least one between two persons
Shovels – at least 2
Sanitation (e.g. toilet paper)
Stove and fuel – sufficient for maximum number of persons ashore and maximum anticipated time of rescue
Emergency food – sufficient for maximum number of persons ashore and maximum anticipated time of rescue
Flashlights – one per shelter
Waterproof and windproof matches – two boxes per shelter
Whistle
Signal mirror
Water containers & water purification tablets
Spare set of personal survival equipment
Group survival equipment container (waterproof and floatable)

Πίνακας 4: Τα ατομικά και τα ομαδικά κιτ επιβίωσης με τα οποία πρέπει να είναι εξοπλισμένες οι σωσίβιες λέμβοι

Όποτε η αξιολόγηση υποδεικνύει πιθανότητα επιβίωσης στη στεριά ή στον πάγο, πρέπει να φέρεται εξοπλισμός ομαδικής επιβίωσης. Ο εξοπλισμός επιβίωσης για το 110% των επιβατών πρέπει να αποθηκευτεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στον σταθμό συγκέντρωσης ή στους σταθμούς επιβίωσης. Τα container που περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό πρέπει να μπορούν να κινούνται εύκολα πάνω στον πάγο και να επιπλέουν στο νερό.

## 2.14: Συστήματα Πλοήγησης & Επικοινωνίας

Το Κεφάλαιο 9 του Polar Code καλύπτει τις απαιτούμενες βελτιώσεις στην ασφάλεια της πλοήγησης. Το κεφάλαιο επιβάλλει κανονισμούς για να διασφαλιστεί ότι τα πλοία έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν ενημερωμένες πληροφορίες και ότι ο εξοπλισμός πλοήγησης διατηρεί τη λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων στα Πολικά ύδατα. Η απόσταση των πολικών περιοχών και η γειτνίαση με τους μαγνητικούς πόλους μπορεί να επηρεάσει τους χάρτες που παρέχονται και τα όργανα πλοήγησης που χρησιμοποιούνται μαζί τους.

Τα πολικά πλοία πρέπει να διαθέτουν μέσο λήψης και εμφάνισης των τρεχουσών συνθηκών πάγου, όπως τα ice charts. Τα πλοία πρέπει επίσης να είναι σε θέση να ανιχνεύουν τις συνθήκες γύρω τους. Πολλοί από τους κανονισμούς για τα συστήματα πλοήγησης υπόκεινται σε όρους, όπως φαίνεται στην παρακάτω λίστα:

- Περιττές συσκευές ηχούς (νέα πλοία)
- Καθαρή θέα προς τα πίσω από τη γέφυρα πλοήγησης (όλα τα πλοία)
- Μέσα για την πρόληψη της συσσώρευσης πάγου σε κεραίες εξοπλισμού πλοήγησης (πλοία που λειτουργούν σε επιρρεπείς σε συσσώρευση πάγου περιοχές)
- Μέσα προστασίας των βυθισμένων αισθητήρων από την επαφή με πάγο (όλα τα ενισχυμένα με πάγο πλοία)
- Κλειστά φτερά γέφυρας (νέα Κατηγορία A και B πλοία)
- Δύο μη μαγνητικά μέσα για τον προσδιορισμό και την εμφάνιση της κατεύθυνσης (όλα τα πλοία)
- Τουλάχιστον μία πυξίδα GNSS ή ισοδύναμη (πλοία που λειτουργούν σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, πάνω από 80 μοίρες)
- Δύο τηλεχειριζόμενα φώτα αναζήτησης στενής δέσμης (εξαιρέση για πλοία που λειτουργούν σε 24ωρο φως της ημέρας)
- Κόκκινο φως που αναβοσβήνει χειροκίνητα, ορατό από την πρύμνη (για σκάφη που λειτουργούν με συνοδεία παγοθραυστικού)

Για πλοία που λειτουργούν σε χαμηλή θερμοκρασία αέρα, επιβάλλονται πρόσθετοι κανονισμοί για τα σκάφη διάσωσης και σωσίβιες λέμβοι όπου η καθεμία πρέπει να φέρει:

- Μία συσκευή για τη μετάδοση ειδοποιήσεων κινδύνου από πλοίο σε ακτή
- Μία συσκευή για τη μετάδοση σημάτων για τοποθεσία
- Μία συσκευή για αμφίδρομη επικοινωνία επί σκηνής

Επιπλέον, όλα τα σωστικά σκάφη εκτός από τις σωσίβιες λέμβους και τις λέμβους διάσωσης (π.χ. σωσίβιες σχεδίες) πρέπει να φέρουν:

- Μία συσκευή για τη μετάδοση σημάτων για τοποθεσία,
- Μία συσκευή για αμφίδρομη επικοινωνία επί σκηνής

Ο εξοπλισμός επικοινωνίας που τροφοδοτείται από μπαταρίες πρέπει να προστατεύεται λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς της διάρκειας ζωής της μπαταρίας σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι μπαταρίες πρέπει να προστατεύονται και να είναι διαθέσιμες για λειτουργία κατά τη διάρκεια του μέγιστου αναμενόμενου χρόνου διάσωσης.

## 2.15: Voyage Planning

Ο στόχος του σχεδιασμού ταξιδιού είναι να διασφαλίσει ότι ο χειριστής, ο πλοίαρχος και το πλήρωμα παρέχονται με επαρκείς πληροφορίες για να επιτρέψουν τη διεξαγωγή των εργασιών με τη δέουσα προσοχή στην ασφάλεια του πλοίου και των επιβαινόντων και, κατά περίπτωση, στην προστασία του περιβάλλοντος. Το σχέδιο ταξιδιού λαμβάνει υπόψη τους πιθανούς κινδύνους του προβλεπόμενου ταξιδιού. Ο πλοίαρχος θα εξετάσει μια διαδρομή μέσω των πολικών υδάτων, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

- Τυχόν περιορισμοί των διαθέσιμων υδρογραφικών πληροφοριών και βοηθημάτων πλοήγησης
- Τρέχουσες πληροφορίες σχετικά με την έκταση και τον τύπο του πάγου και των παγόβουνων στην περιοχή της προβλεπόμενης διαδρομής
- Στατιστικά στοιχεία για τον πάγο και τις θερμοκρασίες παλαιότερων ετών
- Καταφύγια
- Τρέχουσες πληροφορίες και μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται όταν συναντώνται θαλάσσια θηλαστικά σχετικά με γνωστές περιοχές με πυκνότητα θαλάσσιων θηλαστικών, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών εποχικής μετανάστευσης
- Τρέχουσες πληροφορίες για σχετικά συστήματα δρομολόγησης πλοίων, συστάσεις ταχύτητας και υπηρεσίες κυκλοφορίας πλοίων που σχετίζονται με γνωστές περιοχές με πυκνότητες θαλάσσιων θηλαστικών, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών εποχικής μετανάστευσης
- Εθνικές και διεθνείς καθορισμένες προστατευόμενες περιοχές κατά μήκος της διαδρομής
- Λειτουργία σε περιοχές απομακρυσμένες από τις δυνατότητες έρευνας και διάσωσης (SAR).
- Τις διαδικασίες που απαιτούνται από το PWOM

Οι πολικές περιοχές είναι οικολογικά ευαίσθητες στα αυτόχθονα είδη και η πολιτιστική κληρονομιά των αυτοχθόνων πληθυσμών πρέπει επίσης να γίνεται σεβαστή. Από αυτή την άποψη, τα πλοία θα πρέπει επίσης να λάβουν υπόψη τα ακόλουθα:

- Σε περίπτωση που συναντηθούν θαλάσσια θηλαστικά, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τυχόν υπάρχουσες βέλτιστες πρακτικές για την ελαχιστοποίηση της περιττής ενόχλησης.
- Σχεδιασμός για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων του ταξιδιού του πλοίου όπου τα πλοία διακινούνται κοντά σε περιοχές με μεγάλη πολιτιστική κληρονομιά και πολιτιστική σημασία.

Το ικανό και καταρτισμένο προσωπικό είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να διασφαλιστεί η ασφάλεια της πλοήγησης σε συνθήκες πάγου. Ο Polar Code θεσπίζει νέες απαιτήσεις εκπαίδευσης για «πιστοποίηση πάγου». Οι πλοίαρχοι, οι αρχηγοί και οι αξιωματικοί ναυσιπλοΐας πρέπει να ολοκληρώσουν ορισμένα εκπαιδευτικά προγράμματα σπουδών ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τις αναμενόμενες συνθήκες πάγου. Το Κεφάλαιο 12 καθορίζει τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό και

επίπεδο προσωπικού πιστοποιημένου με πάγο για να βρίσκεται στα πλοία Polar. Χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα ικανότητας, Βασικό και Προχωρημένο. Ο Πολικός Κώδικας προβλέπει επίσης έναν πλοηγό πάγου για να συμπληρώσει την ομάδα πλοήγησης. Σκοπός του ice navigator είναι να προσφέρει εξειδικευμένη εμπειρία για λειτουργίες σε συνθήκες πάγου. Είναι κοινή πρακτική τόσο στην Καναδική όσο και στη Ρωσική Αρκτική να επιβαίνουν πλοηγοί πάγου ή πιλότοι πάγου. Ο Polar Code απαιτεί αυτό το «πρόσθετο προσωπικό» να είναι πιστοποιημένο STCW και να υπάρχει αρκετό εξειδικευμένο προσωπικό για να καλύψει όλες τις βάρδιες με τις ελάχιστες ώρες ανάπαυσης που πληρούνται. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει πότε απαιτείται κάθε επίπεδο ικανότητας.

Ice Conditions	Ship Type		
	Tankers	Passenger Ships	Others
Ice Free	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Open water	Basic training for master, chief mate and officers in charge of a navigational watch	Basic training for master, chief mate and officers in charge of a navigational watch	Not applicable
Other waters	Advanced training for master and chief mate. Basic training for officers in charge of a navigational watch	Advanced training for master and chief mate. Basic training for officers in charge of a navigational watch	Advanced training for master and chief mate. Basic training for officers in charge of a navigational watch

Πίνακας 5: Οι τύποι εκπαίδευσης με τους οποίους πρέπει να είναι εκπαιδευμένο το προσωπικό ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και τον τύπο του νερού στο οποίο πλέει

## 2.16: Κανονισμοί Προστασίας Περιβάλλοντος

Το Μέρος II του Πολικού Κώδικα περιλαμβάνει πρόσθετα υποχρεωτικά μέτρα πρόληψης της ρύπανσης πάνω και πέρα από τους κανονισμούς MARPOL. Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί δεν ακολουθούν το πλαίσιο προτύπων που βασίζεται σε στόχους και αντ'αυτού είναι γραμμένοι σε κανονιστική μορφή. Τέσσερα παραρτήματα MARPOL, καθένα από τα οποία ελέγχει διαφορετικές ροές αποβλήτων, τροποποιούνται από τον Polar Code:

- MARPOL Παράρτημα I – Πετρέλαιο
- MARPOL Παράρτημα II - Επιβλαβείς Υγρές Ουσίες
- MARPOL Παράρτημα IV – Λύματα
- MARPOL Παράρτημα V - Σκουπίδια

Οι επιπτώσεις των περιβαλλοντικών κανονισμών έχουν ως αποτέλεσμα την ανάγκη παροχής επαρκούς (δυναμικά αυξημένης) χωρητικότητας αποθήκευσης αποβλήτων. Οι εγκαταστάσεις υποδοχής απορριμμάτων είναι εξαιρετικά περιορισμένες στα Πολικά ύδατα, επομένως οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να γνωρίζουν πώς να συκρατούν τα απόβλητα και να τα απορρίπτουν νόμιμα εκτός των Πολικών υδάτων.

### 2.16.1: Ρύπανση από πετρέλαιο

Ο Πολικός Κώδικας επιβάλλει πλήρη απαγόρευση κάθε απόρριψης στη θάλασσα πετρελαίου ή ελαιωδών μιγμάτων από οποιοδήποτε πλοίο στα Πολικά ύδατα. Επιπλέον, τα εγχειρίδια, τα βιβλία καταγραφής πετρελαίου και το σχέδιο έκτακτης ανάγκης για τη ρύπανση από πετρέλαιο του πλοίου που απαιτείται από το Παράρτημα I της MARPOL πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη λειτουργία σε πολικά ύδατα. Τα νέα πλοία κατηγορίας A και B απαιτείται, περαιτέρω, να έχουν διαχωρισμό δεξαμενής πετρελαίου 760 mm από το εξωτερικό κέλυφος. Εξαίρεση από αυτόν τον κανονισμό έχουν οι μικρές δεξαμενές (< 20 m<sup>3</sup>) στους χώρους μηχανών.

### 2.16.2: Ρύπανση από επιβλαβείς υγρές ουσίες

Η απόρριψη οποιωνδήποτε επιβλαβών υγρών ουσιών (NLS) υπόκειται επίσης σε 100% απαγόρευση σε όλα τα Πολικά ύδατα. Παρόμοια με τους κανονισμούς για τη ρύπανση από πετρέλαιο, το Βιβλίο Καταγραφής Φορτίου του πλοίου, το Εγχειρίδιο και το σχέδιο έκτακτης ανάγκης για τη θαλάσσια ρύπανση του πλοίου που απαιτείται από το Παράρτημα II της MARPOL πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη λειτουργία σε πολικά ύδατα. Τα νέα πλοία της κατηγορίας A και B απαιτείται επίσης να έχουν 760 mm διαχωρισμό δεξαμενής NLS από το εξωτερικό κέλυφος.



### **2.16.3: Ρύπανση από λύματα**

Οι περιορισμοί απόρριψης λυμάτων στα Πολικά ύδατα είναι ελαφρώς πιο επαχθείς από τους ισχύοντες κανονισμούς του παραρτήματος IV της MARPOL. Η απόρριψη θρυμματισμένων και απολυμανθέντων λυμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 ναυτικά μίλια από οποιοδήποτε ice shelf ή fast ice και μακριά από συγκεντρώσεις πάγου μεγαλύτερες από το 1/10 της κάλυψης. Τα μη θρυμματισμένα και μη απολυμανθέντα λύματα υπόκεινται σε περαιτέρω περιορισμό, περισσότερο από 12 ναυτικά μίλια από οποιαδήποτε υφαλοκρηπίδα πάγου. Ακόμη και με εγκεκριμένα σχέδια επεξεργασίας λυμάτων, οι απορρίψεις πρέπει να διατηρούνται όσο το δυνατόν πιο μακριά από την πλησιέστερη ξηρά, υφαλοκρηπίδα πάγου ή περιοχές με συγκέντρωση πάγου μεγαλύτερη από 1/10.

### **2.16.4: Ρύπανση από σκουπίδια**

Περιορισμοί απόρριψης τροφίμων και σκουπιδιών επιβάλλονται στα πλοία που επιχειρούν σε πολικά ύδατα για να ληφθούν υπόψη οι συγκεντρώσεις πάγου με παρόμοιο τρόπο όπως οι περιορισμοί των λυμάτων. Η απόρριψη απορριμμάτων επιτρέπεται μόνο όταν είναι θρυμματισμένη (με δυνατότητα διέλευσης ανοιγμάτων 25 mm) και μακριά από συγκεντρώσεις ξηράς και πάγου μεγαλύτερες από το 1/10 της κάλυψης. Επίσης δεν επιτρέπεται καθόλου η απόρριψη πτωμάτων ζώων.

## Κεφάλαιο 3: Οι ενοποιημένες απαιτήσεις του IACS (Unified

### Requirements UR I1 & I2)

Ως μέρος της προσπάθειας του IMO για την ανάπτυξη «Κατευθυντήριων γραμμών για πλοία που λειτουργούν σε ύδατα που καλύπτονται από πάγο της Αρκτικής (2002)», η Διεθνής Ένωση Νηογνομόνων (IACS) με την υποστήριξη πολλών βασικών παράκτιων κρατών της Αρκτικής ανατέθηκε να αναπτύξει το IACS Unified Requirements Concerning Polar Class (IACS Polar Class UR). Οι Πολικές Κατηγορίες αναφέρονται στις Κατευθυντήριες Γραμμές ως οι κύριες διατάξεις κατασκευής για νέα πλοία που λειτουργούν σε πολικά ύδατα και εγκρίθηκαν επίσημα από τα μέλη του IACS το 2008. Το IACS Polar Class UR αποτελείται από τρία μέρη:

IACS Reference	ABS SVR Section	Description
UR I1	6-1-1	Definition and Application of the Polar Classes
UR I2	6-1-2	Structural Requirements
UR I3	6-1-3	Machinery Requirements

Πίνακας 6: Τα μέρη που αποτελείται ο Πολικός Κώδικας του IACS

### 3.1: Μέρος I - Ορισμός και εφαρμογή των πολικών τάξεων

Οι επτά πολικές κατηγορίες ορίζονται με βάση τις περιγραφές των ονομαστικών συνθηκών πάγου όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO Arctic σημείωσαν ότι οι δύο χαμηλότερες πολικές κατηγορίες, PC7 και PC6, ήταν κοινώς αποδεκτές ως ονομαστικές ισοδυναμίες με τους Φινλανδικούς Σουηδικούς Κανόνες Ice Class Rules (FSICR, κοινώς γνωστοί ως Κανόνες Κατηγορίας Πάγου της Βαλτικής) Κατηγορία 1A και 1A Super, αντίστοιχα. Η πρόθεση του υψηλότερου Polar Class PC1 είναι να προσφέρει τη δυνατότητα σε ένα πλοίο να λειτουργεί όλο το χρόνο σε όλα τα Πολικά ύδατα, με τη δέουσα προσοχή από το πλήρωμα.

Polar Class	Ice Description (based on WMO Sea Ice Nomenclature)
PC1	Year-round operation in all Polar waters
PC2	Year-round operation in moderate multi-year ice conditions
PC3	Year-round operation in second-year ice which may include multi-year ice inclusions.
PC4	Year-round operation in thick first-year ice which may include old ice inclusions
PC5	Year-round operation in medium first-year ice which may include old ice inclusions
PC6	Summer/autumn operation in medium first-year ice which may include old ice inclusions
PC7	Summer/autumn operation in thin first-year ice which may include old ice inclusions

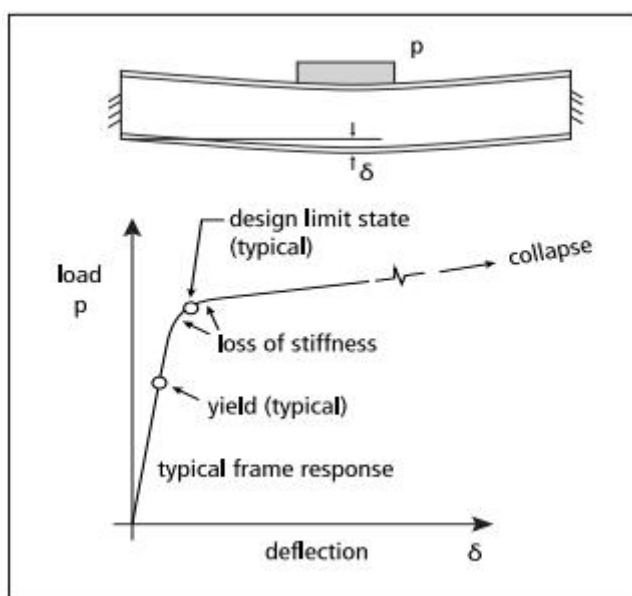
Πίνακας 7: Οι Πολικές Κατηγορίες (Polar Classes) που ορίζει ο IACS και οι περιοχές που μπορούν τα αντίστοιχα πλοία να πλεύσουν

### 3.2: Μέρος II - Κατασκευαστικές Απαιτήσεις

Το Μέρος II του IACS Requirements for Polar Class παρέχει ορισμούς και απαιτήσεις για την περιοχή της γάστρας, τα φορτία σχεδιασμού, των ελασμάτων, για την εγκάρσια και διαμήκη ενίσχυση, την προσαύξηση λόγω διάβρωσης/τριβής και την ανανέωση του χάλυβα, τις κατηγορίες του χάλυβα και τις απαιτήσεις διαμήκους αντοχής. Το φορτίο σχεδιασμού για πλοία Polar Class ακολουθεί μια προσέγγιση βασισμένη στη φυσική, σύμφωνα με την οποία τα φορτία πάγου μπορούν να συνδεθούν ορθολογικά με ένα συγκεκριμένο σενάριο σχεδιασμού. Το σενάριο σχεδίασης είναι μια στιγμιαία σύγκρουση με ένα κομμάτι πάγου. Η μορφή της εξίσωσης φορτίου προέρχεται από τη λύση ενός ενεργειακού μοντέλου σύγκρουσης στο οποίο η διαθέσιμη κινητική ενέργεια (υποθέτοντας ταχύτητα πλοίου) εξισώνεται με την ενέργεια που δαπανάται για τη θλίψη του πάγου. Το πάχος του πάγου, η αντοχή στη θλίψη του πάγου, η μορφή του εξωτερικού περιβλήματος, το μέγεθος και η ταχύτητα του πλοίου λαμβάνονται όλα υπόψη. Η αστοχία σε κάμψη του πάγου θεωρείται επίσης ως οριακή δυναμική κατάσταση κατά τη σύγκρουση. Τα αποτελέσματα του μοντέλου βρίσκονται σε στενή συμφωνία με μια ποικιλία παλαιότερων μελετών και επιχειρησιακής εμπειρίας. Οι δυνάμεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κρούσης αναπαρίστανται με τρόπους που τους επιτρέπουν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μελέτης αντοχής για μεμονωμένα κατασκευαστικά στοιχεία.

Αν και οι περισσότερες παραδοσιακές φόρμουλες κατασκευαστικών κανονισμών πλοίων βασίζονται σε κριτήρια ελαστικότητας, το IACS Polar Class UR ενσωματώνει πλαστικά κριτήρια σχεδιασμού. Η χρήση πλαστικών κριτηρίων μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη ισορροπία της κατανομής του υλικού για να αντέξει τα ακραία φορτία. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό επειδή τα ακούσια ακραία φορτία πάγου μπορεί να

υπερβαίνουν σημαντικά τις τιμές σχεδιασμού. Η χρήση πλαστικών μεθόδων θα πρέπει να παρέχει ένα σημαντικό απόθεμα αντοχής. Στον πλαστικό σχεδιασμό, υπάρχουν πολλές πιθανές οριακές καταστάσεις που κυμαίνονται από την διαρροή έως την τελική αστοχία. Το IACS Polar Class UR επέλεξε μια οριακή κατάσταση σχεδιασμού που αντιπροσωπεύει μια κατάσταση σημαντικής πλαστικής καταπόνησης, πριν από την ανάπτυξη μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια τυπική καμπύλη παραμόρφωσης για ένα ενισχυτικό που δείχνει το σημείο σχεδιασμού και την φιλοσοφία των δεδομένων κανονισμών.



Εικόνα 11: Η φιλοσοφία πίσω από την οποία κατασκευάστηκαν οι κανονισμοί

### 3.3: Μέρος III - Απαιτήσεις μηχανολογικής εγκατάστασης και συστήματος πρόωσης

Το Μέρος III των Απαιτήσεων IACS για την Polar Class παρέχει συγκεκριμένες απαιτήσεις μηχανημάτων που σχετίζονται με την αντοχή του κύριου συστήματος πρόωσης, του συστήματος πηδαλιουχίας, της έκτακτης ανάγκης και άλλων βασικών βοηθητικών συστημάτων υποστήριξης. Οι τύποι φορτίου αλληλεπίδρασης πάγου προπέλας αποτελούν τη βάση των υπολογισμών της αντοχής των στοιχείων της γραμμής πρόωσης. Τα υπολογιζόμενα φορτία είναι οι αναμενόμενες μέγιστες τιμές που εμφανίζει, για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του, ένα πλοίο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Οι τύποι φορτίου σχεδιασμού παρέχονται τόσο για ανοιχτές όσο και για έλικες ducted και περιλαμβάνουν τις μέγιστες καμπτικές δυνάμεις των πτερυγίων προς τα πίσω και προς τα εμπρός, καθώς και διάφορες ροπές που καταπονούν τα πτερύγια και τον άξονα που φέρει την έλικα. Τα πτερύγια της προπέλας θα πρέπει να σχεδιάζονται σε σχέση με δύο συνολικές οριακές καταστάσεις, δηλαδή την ακραία στατική και την κόπωση. Το ακραίο κριτήριο βασίζεται στα υπολογισμένα μέγιστα αναμενόμενα φορτία που εφαρμόζονται μέσω ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων με κριτήρια αποδοχής για τα επιτρεπτά επίπεδα τάσεων. Το κριτήριο κόπωσης του πτερυγίου της έλικας βασίζεται σε μια κατανομή φορτίου για τη διάρκεια ζωής του πλοίου και σε μια καμπύλη S-N του υλικού του πτερυγίου. Οι καμπύλες S-N είναι

χρήσιμες για τον προσδιορισμό του αριθμού των κύκλων φορτίου έως την αστοχία για ένα υλικό, αλλά δεν παρέχουν πληροφορίες για το μέγεθος της ζημιάς από κόπωση που υφίσταται το υλικό πριν από την αστοχία. Τα εξαρτήματα της γραμμής πρόωσης θα πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με την «αρχή της επιλεκτικής αντοχής», έτσι ώστε η πρώτη ζημιά να μην προκαλεί σημαντικό κίνδυνο στην ασφάλεια του πλοίου και στα άλλα εξαρτήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η έλικα θεωρείται το πιο αδύναμο εξάρτημα.

**Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με το αν ένα πλοίο μεταφοράς αργού πετρελαίου συμμορφώνεται με τις κατασκευαστικές απαιτήσεις που προβλέπει το UR I2.**

### 3.4: Περιγραφή των απαιτήσεων

#### 3.4.1: Πεδίο εφαρμογής

Οι ενοποιημένες απαιτήσεις (Unified Requirements) της Διεθνούς Ένωσης Νηογνομόνων (IACS) εφαρμόζονται σε χαλύβδινα πλοία που προορίζονται για ανεξάρτητη ναυσιπλοΐα σε ύδατα με παρουσία πάγου. Οι απαιτήσεις που θα περιγραφούν παρακάτω απευθύνονται σε πλοία που έχουν συμφωνηθεί για ναυπήγηση την και μετά την 1η Ιουλίου του 2017. Ως «ημερομηνία σύμβασης για ναυπήγηση» νοείται η ημερομηνία κατά την οποία υπογράφεται η σύμβαση ναυπήγησης του πλοίου μεταξύ του μελλοντικού ιδιοκτήτη και του ναυπηγού.

Τα πλοία που συμμορφώνονται με τα UR I2 και UR I3 μπορούν να αντιστοιχιστούν με κάποια πολική κατηγορία (Polar Class) στον πίνακα που περιγράφηκε παραπάνω. Εάν η γάστρα και η μηχανολογική εγκατάσταση συμμορφώνονται με διαφορετική Πολική Κατηγορία τότε θα αποδοθεί και στην γάστρα αλλά και στην μηχανολογική εγκατάσταση η μικρότερη των δύο.

Στα πλοία στα οποία έχει αποδοθεί κάποια Πολική Κατηγορία και συμμορφώνονται με τις σχετικές απαιτήσεις των UR I2 και UR I3 μπορεί να δοθεί η πρόσθετη ιδιότητα του «παγοθραυστικού». Ο τίτλος του παγοθραυστικού απονέμεται σε κάθε πλοίο που έχει επιχειρησιακό προφίλ που περιλαμβάνει λειτουργίες συνοδείας ή διαχείρισης πάγου, με ισχύ και διαστάσεις που του επιτρέπουν να αναλαμβάνει επιθετικές επιχειρήσεις σε ύδατα καλυμμένα με πάγο.

#### 3.4.2: Upper και Lower Ice Waterlines

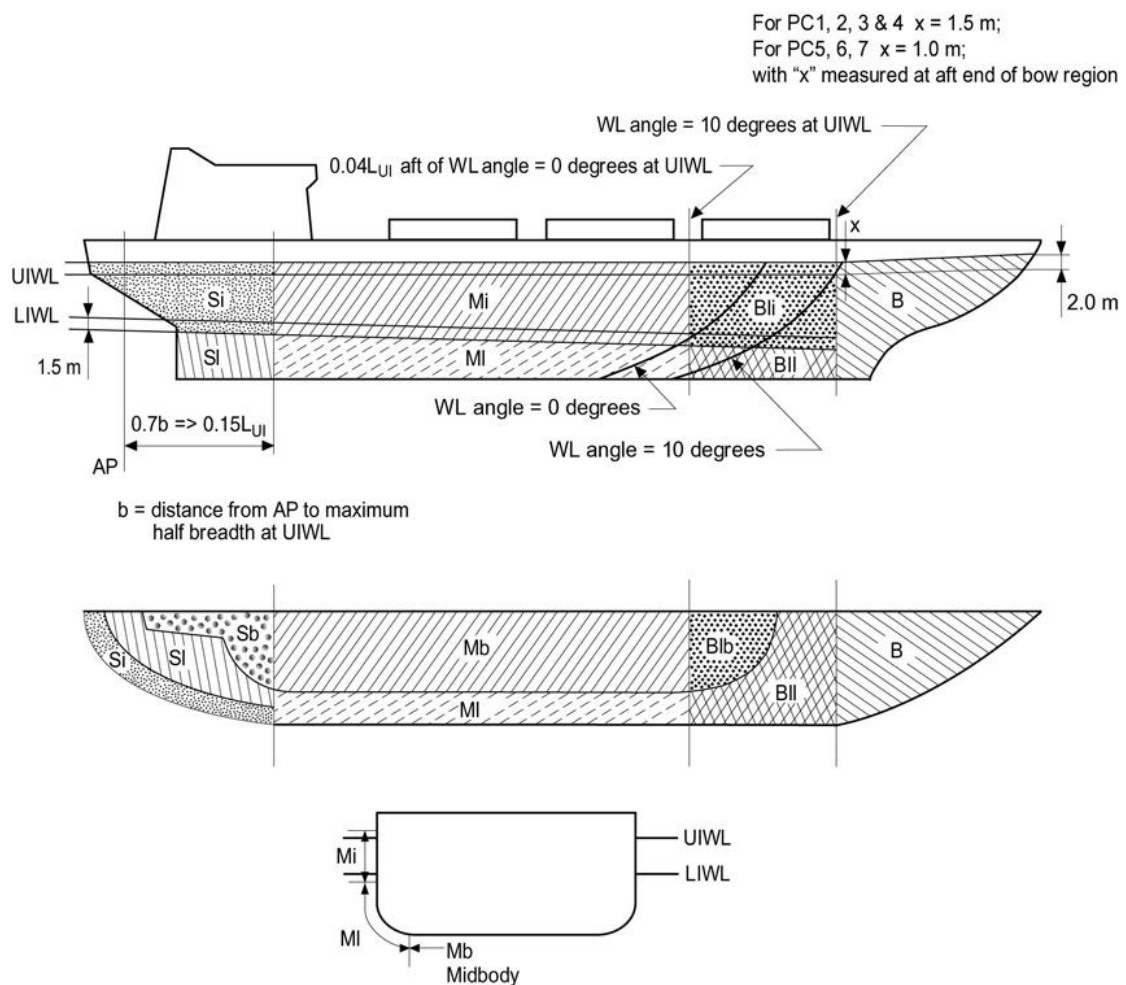
Η ανώτερη και η κατώτερη ίσαλος γραμμή πάγου (Upper and Lower Ice Waterlines - UIWL - LIWL) θα πρέπει να περιγράφονται στο Πιστοποιητικό Κλάσης. Η UIWL ορίζεται από το μέγιστο βύθισμα στην πρύμνη, την πλώρη και το μέσον του πλοίου. Η LIWL αντίστοιχα ορίζεται από τα ελάχιστα βυθίσματα στα σημεία αυτά.

Το μήκος  $L_{UI}$ , σε m, μετράται οριζόντια από το σημείο τομής της ανώτερης ισάλου γραμμής πάγου (UIWL) με την πλώρη έως το rudder post στην πρύμνη ή το κέντρο του rudder stock εάν δεν υπάρχει rudder post. Το μήκος  $L_{UI}$  δεν πρέπει να είναι μικρότερο του 96% και μεγαλύτερο του 97% του μέγιστου μήκους της Upper Ice Waterline.

Το εκτόπισμα του πλοίου  $D_{UI}$ , σε kt, είναι εκείνο που αντιστοιχεί στην UIWL.

### 3.4.3: Υποδιαίρεση της γάστρας σε ζώνες

Η γάστρα ενός πλοίου Πολικής Κατηγορίας διαιρείται σε μικρότερες περιοχές, με διαφορετικές απαιτήσεις αντοχής η κάθε μία αφού το μέγεθος του φορτίου κάτω από το οποίο καταπονείται η κάθε περιοχή αυξομειώνεται. Στην οριζόντια διεύθυνση διαιρείται σε πλώρη (Bow), ενδιάμεση πλώρη (Bow Intermediate), μεσαίο σώμα (Midbody) και πρύμνη (Stern). Οι παραπάνω περιοχές διαιρούνται με την σειρά τους κατακόρυφα σε: πυθμένα (Bottom), κατώτερη (Lower), και περιοχή ζώνης πάγου (Ice Belt Region) όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 12: Ζώνες μελέτης πλοίου που του έχει απονεμηθεί Πολική Κατηγορία

Εισάγονται παράλληλα κάποιοι περιορισμοί όσον αφορά την οριοθέτηση των περιοχών:

- Το κατακόρυφο όριο μεταξύ των ζωνών Bow και Bow Intermediate να βρίσκεται πίσω από το σημείο τομής της πλώρης με την Baseline.
- Το πίσω κατακόρυφο όριο της ζώνης Bow δεν πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη του 45% του  $L_{UI}$  από το σημείο τομής της πλώρης με την Baseline.

- Το όριο μεταξύ της περιοχής του πυθμένα και της κατώτερης περιοχής πρέπει να λαμβάνεται στο σημείο όπου η γάστρα έχει εγκάρσια κλίση  $7^\circ$  από την οριζόντια.
- Εάν ένα πλοίο προορίζεται να πλέει προς τα πίσω (astern) σε περιοχές πάγου, το πρυμναίο τμήμα του πλοίου πρέπει να σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας τις απαιτήσεις περιοχής των ζωνών Bow και Bow Intermediate.

### 3.4.4: Σχεδιαστικό σενάριο για τον υπολογισμό της αντοχής

Μια στιγμιαία πρόσκρουση πάγου είναι το σχεδιαστικό σενάριο για τον υπολογισμό της αντοχής που απαιτείται για την αντίσταση έναντι τέτοιων φορτίων. Η σχεδιαστική καταπόνηση χαρακτηρίζεται από μία μέση πίεση  $P_{avg}$  ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ένα ορθογώνιο ύψους  $b$  και πλάτους  $w$  (παράμετροι καταπόνησης).

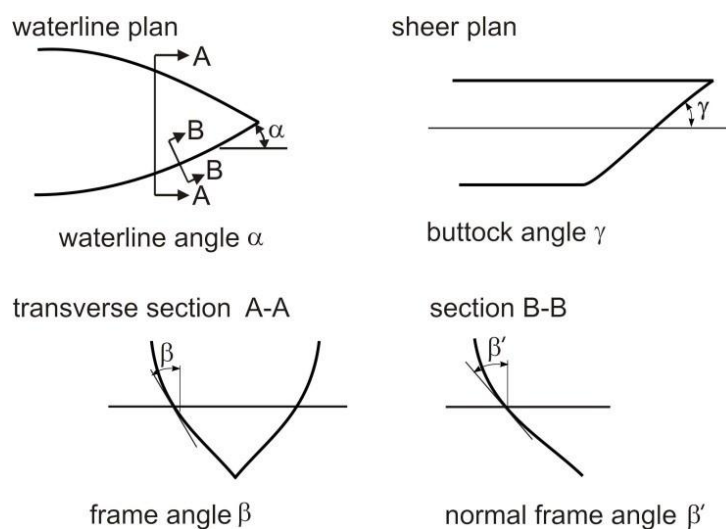
Στην περιοχή του Bow για όλα τα πλοία που ανήκουν σε οποιαδήποτε κατηγορία και ταυτόχρονα στην περιοχή ζώνης πάγου (Ice Belt Region) του Bow Intermediate για τα πλοία κατηγορίας PC6 και PC7 οι παράμετροι καταπόνησης λόγω πάγου είναι συναρτήσει της μορφολογίας της πλώρης.

Για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών  $P_{avg}$ ,  $b$  και  $w$  είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του φορτίου πάγου (ice load characteristics):

- ο συντελεστής μορφής  $fa_i$
- η συνολική στιγμιαία δύναμη πρόσκρουσης  $F_i$
- το φορτίο γραμμής  $Q_i$
- και η πίεση  $P_i$

Οι τύποι που δίνουν τις σχεδιαστικές καταπονήσεις πάγου είναι διαφορετικοί για κάθε πολική κατηγορία ενώ ταυτόχρονα διαφέρουν εάν παραδείγματος χάρη:

- η πλώρη είναι βολβοειδής
- η περιοχή της πλώρης έχει κάθετες πλευρές
- η γωνία που σχηματίζει η πλώρη με την UIWL είναι μικρότερη των 80 μοιρών (γωνία  $\gamma$ )
- η κανονική γωνία του νομέα είναι μεγαλύτερη των 10 μοιρών (γωνία  $\beta'$ )



Εικόνα 13: Οι γωνίες της γάστρας που λαμβάνονται υπόψιν στους κανονισμούς



Η περιοχή του Bow κατά το μήκος της ισάλου διαιρείται σε 4 μικρότερες υποπεριοχές ίσου μήκους (sub-regions i).

Οι σχεδιαστικές φορτίσεις πάγου στην περιοχή της πλώρης υπολογίζονται σύμφωνα με:

- Συντελεστής μορφής,  $f_{a_i}$   
 $f_{a_i} = \alpha_i / 30$
- Δύναμη,  $F_i$   
 $F_i = f_{a_i} * CF_{CV} * D_{UI}^{0,47}$  [MN]
- Φορτίο γραμμής,  $Q_i$   
 $Q_i = F_i^{0,22} * CF_{QV} * [MN/m]$
- Πίεση,  $P_i$   
 $P_i = F_i^{0,56} * CF_{PV}$  [MPa]

όπου  $i$  = υποπεριοχή που μελετάται

$\alpha$  = γωνία ισάλου [deg]

$D_{UI}$  = εκτόπισμα στην UIWL, όχι μικρότερο από 5 [kt]

$CF_{CV}$  = Crushing failure Class Factor

$CF_{QV}$  = Flexural failure Class Factor

$CF_{PV}$  = Load patch dimensions Class Factor

Οι συντελεστές  $CF_{CV}$ ,  $CF_{QV}$ ,  $CF_{PV}$  λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες:

Polar Class	Crushing failure Class Factor ( $CF_{CV}$ )	Line load Class Factor ( $CF_{QV}$ )	Pressure Class Factor ( $CF_{PV}$ )
PC6	3.43	2.82	0.65
PC7	2.60	2.33	0.65

Πίνακας 8: Οι συντελεστές των υποπεριοχών για κάθε Πολική Κατηγορία

Σε περιοχές εκτός της πλώρης οι σχεδιαστικές φορτίσεις πάγου υπολογίζονται σύμφωνα με:

- Δύναμη,  $F_{NonBow}$ :  
 $F_{NonBow} = 0.36 * CF_C * DF$  [MN]
- Φορτίο γραμμής,  $Q_{NonBow}$ :  
 $Q_{NonBow} = 0.639 * F_{NonBow}^{0,61} * CF_D$  [MN/m]

όπου  $CF_C$  = Crushing failure Class Factor

$DF$  = ship displacement factor

=  $D_{UI}^{0,64}$  αν  $D_{UI} \leq CF_{DIS}$

=  $CF_{DIS}^{0,64} + 0,10 * (D_{UI} - CF_{DIS})$  αν  $D_{UI} > CF_{DIS}$

$D_{UI}$  = εκτόπισμα στην UIWL, όχι μικρότερο από 10 [kt]

$CF_{DIS}$  = Displacement Class Factor

$CF_D$  = Load patch dimensions Class Factor

Οι παραπάνω συντελεστές λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Polar Class	Crushing failure Class Factor (CF <sub>c</sub> )	Flexural failure Class Factor (CF <sub>f</sub> )	Load patch dimensions Class Factor (CF <sub>d</sub> )	Displacement Class Factor (CF <sub>dis</sub> )	Longitudinal strength Class Factor (CF <sub>L</sub> )
PC1	17.69	68.60	2.01	250	7.46
PC2	9.89	46.80	1.75	210	5.46
PC3	6.06	21.17	1.53	180	4.17
PC4	4.50	13.48	1.42	130	3.15
PC5	3.10	9.00	1.31	70	2.50
PC6	2.40	5.49	1.17	40	2.37
PC7	1.80	4.06	1.11	22	1.81

Πίνακας 9: Συντελεστές που χρησιμοποιούνται στους τύπους ανάλογα με την Πολική Κατηγορία

Το ύψος  $b$  και το πλάτος  $w$  του ορθογωνίου που θεωρείται ότι δέχεται την πίεση  $P$  για την περιοχή του Bow και την ζώνη περιοχής πάγου του Bow Intermediate μόνο για τα PC6 και PC7 υπολογίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους.

$$w_{Bow} = F_{Bow} / Q_{Bow} \text{ [m]}$$

$$b_{Bow} = Q_{Bow} / P_{Bow} \text{ [m]}$$

όπου  $F_{Bow}$  = η μέγιστη δύναμη  $F_i$  στην περιοχή του Bow σε [MN]

$Q_{Bow}$  = το μέγιστο φορτίο γραμμής  $Q_i$  στην περιοχή του Bow σε [MN/m]

$P_{Bow}$  = η μέγιστη πίεση  $P_i$  στην περιοχή του Bow σε [MPa]

Σε περιοχές εκτός των παραπάνω, το ύψος  $b$  και το πλάτος  $w$  του ορθογωνίου υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους.

$$w_{NonBow} = F_{NonBow} / Q_{NonBow} \text{ [m]}$$

$$b_{NonBow} = w_{NonBow} / 3,6 \text{ [m]}$$

όπου  $F_{NonBow}$  και  $Q_{NonBow}$  όπως υπολογίσθηκαν προηγουμένως.

Η μέση πίεση που δέχεται το ορθογώνιο με ύψος  $b$  και πλάτος  $w$  υπολογίζεται ως:

$$P_{avg} = F / (b \cdot w) \text{ [MPa]}$$

όπου  $F = F_{Bow}$  or  $F_{NonBow}$  ανάλογα με την περιοχή της γάστρας που εξετάζεται σε [MN]

$b = b_{Bow}$  or  $b_{NonBow}$  ανάλογα με την περιοχή της γάστρας που εξετάζεται σε [m]

$w = w_{Bow}$  or  $w_{NonBow}$  ανάλογα με την περιοχή της γάστρας που εξετάζεται σε [m]

Παρ'ολ'αυτά, μέσα στο ορθογώνιο που εξετάζεται μπορεί να συναντήσουμε περιοχές υψηλότερης συγκεντρωμένης πίεσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας πίνακας σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνεται ο συντελεστής Peak Pressure για την αποτίμηση της συγκεντρωμένης πίεσης σε περιοχές όπου η γάστρα είναι ενισχυμένη με τοπικά ενισχυτικά. Ο πίνακας φαίνεται παρακάτω:

Structural member		Peak Pressure Factor (PPF <sub>i</sub> )
Plating	Transversely-framed	$PPF_p = (1.8 - s) \geq 1.2$
	Longitudinally-framed	$PPF_p = (2.2 - 1.2 \cdot s) \geq 1.5$
Frames in transverse framing systems	With load distributing stringers	$PPF_t = (1.6 - s) \geq 1.0$
	With no load distributing stringers	$PPF_t = (1.8 - s) \geq 1.2$
Frames in bottom structures		$PPF_s = 1.0$
Load carrying stringers		$PPF_s = 1.0$ , if $S_w \geq 0.5 \cdot w$
Side longitudinals		$PPF_s = 2.0 - 2.0 \cdot S_w / w$ ,
Web frames		if $S_w < (0.5 \cdot w)$
where: s = frame or longitudinal spacing [m] S <sub>w</sub> = web frame spacing [m] w = ice load patch width [m]		

Πίνακας 10: Peak Pressure Factor ανάλογα με κατασκευαστικό στοιχείο που μελετάται

Για να συνδέσουμε το μέγεθος του φορτίου που αναμένεται να καταπονήσει την γάστρα στην κάθε περιοχή της, εισάγονται οι συντελεστές επιφάνειας γάστρας (Area Factors -AF). Στην περίπτωση που ένα ενισχυτικό τέμνει δύο περιοχές με διαφορετικούς συντελεστές επιφάνειας, στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί ο μεγαλύτερος. Ανάλογα με την περιοχή που είμαστε στο πλοίο ο συντελεστής λαμβάνει διαφορετικές τιμές οι οποίες φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Εάν στο πλοίο έχει αποδοθεί η ιδιότητα του παγοθραυστικού, ο Area Factor λαμβάνει διαφορετικές τιμές.

Hull area		Area	Polar Class						
			PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Bow (B)	All	B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Bow Intermediate (BI)	Icebelt	BI <sub>i</sub>	0.90	0.85	0.85	0.80	0.80	1.00*	1.00*
	Lower	BI <sub>l</sub>	0.70	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50
	Bottom	BI <sub>b</sub>	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
Midbody (M)	Icebelt	M <sub>i</sub>	0.70	0.65	0.55	0.55	0.50	0.45	0.45
	Lower	M <sub>l</sub>	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25
	Bottom	M <sub>b</sub>	0.30	0.30	0.25	**	**	**	**
Stern (S)	Icebelt	S <sub>i</sub>	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50	0.40	0.35
	Lower	S <sub>l</sub>	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25
	Bottom	S <sub>b</sub>	0.35	0.30	0.30	0.25	0.15	**	**

Πίνακας 11: Συντελεστής επιφάνειας γάστρας AF συναρτήσει της ζώνης και της Πολικής Κατηγορίας

Hull area		Area	Polar Class						
			PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Bow (B)	All	B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Bow Intermediate (BI)	Icebelt	BI <sub>i</sub>	0.90	0.85	0.85	0.85	0.85	1.00	1.00
	Lower	BI <sub>l</sub>	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	Bottom	BI <sub>b</sub>	0.55	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Midbody (M)	Icebelt	M <sub>i</sub>	0.70	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	Lower	M <sub>l</sub>	0.50	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	Bottom	M <sub>b</sub>	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Stern (S)	Icebelt	S <sub>i</sub>	0.95	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	Lower	S <sub>l</sub>	0.55	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	Bottom	S <sub>b</sub>	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Πίνακας 12: AF για παγοθραυστικά

### 3.4.5: Ελάσματα εξωτερικής μεταλλικής κατασκευής

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος ελάσματος δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$t = t_{\text{net}} + t_s \text{ [mm]}$$

όπου  $t_{\text{net}}$  = το πάχος του ελάσματος ικανό να αντέξει τα φορτία που θα περιγραφούν αμέσως παρακάτω

$t_s$  = προσαύξηση λόγω διάβρωσης και τριβής η οποία εκτιμάται και εκείνη παρακάτω

Το πάχος  $t_{\text{net}}$  εξαρτάται από τον τύπο με τον οποίο έχει ενισχυθεί το έλασμα, δηλαδή, εγκάρσια ή διαμήκη ενίσχυση.

Σε περίπτωση που το έλασμα είναι εγκάρσια ενισχυμένο δηλαδή η γωνία των ενισχυτικών είναι μεγαλύτερη ή ίση από τις 70 μοίρες ( $\Omega \geq 70$ ) ως προς την ίσαλο για ένα έλασμα στο side shell ο τύπος υπολογισμού πάχους  $t_{\text{net}}$  είναι:

$$t_{\text{net}} = 500 * s * ((AF * PPF_p * P_{\text{avg}}) / \sigma_y)^{0,5} / (1 + s / (2 * b)) \text{ [mm]}$$

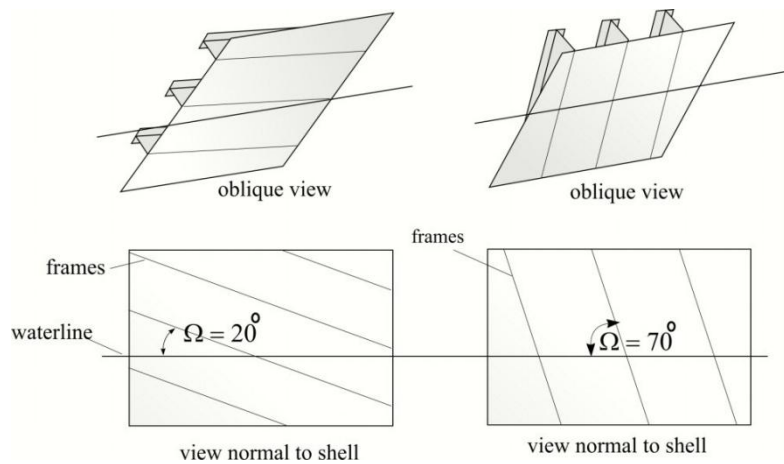
Σε περίπτωση που το έλασμα έχει διαμήκη ενισχυτικά δηλαδή η γωνία των ενισχυτικών είναι μικρότερη ή ίση από τις 20 μοίρες ( $\Omega \leq 20$ ) ως προς την ίσαλο για ένα έλασμα στο side shell και το ύψος  $b$  είναι μεγαλύτερο ή ίσο από την ισαπόσταση των ενισχυτικών ( $b \geq s$ ) τότε ο τύπος υπολογισμού πάχους  $t_{\text{net}}$  είναι:

$$t_{\text{net}} = 500 * s * ((AF * PPF_p * P_{\text{avg}}) / \sigma_y)^{0,5} / (1 + s / (2 * l)) \text{ [mm]}$$

Ενώ σε περίπτωση που το έλασμα έχει διαμήκη ενισχυτικά δηλαδή η γωνία των ενισχυτικών είναι μικρότερη ή ίση από τις 20 μοίρες ( $\Omega \leq 20$ ) ως προς την ίσαλο για ένα έλασμα στο side shell και το ύψος  $b$  είναι μικρότερο από την ισαπόσταση των ενισχυτικών ( $b < s$ ) τότε ο τύπος υπολογισμού πάχους  $t_{\text{net}}$  είναι:

$$t_{\text{net}} = 500 * s * ((AF * PPF_p * P_{\text{avg}}) / \sigma_y)^{0,5} * (2 * b/s - (b/s)^2)^{0,5} / (1 + s / (2 * l)) \text{ [mm]}$$

Στην περίπτωση που η γωνία των ενισχυτικών του ελάσματος είναι μεταξύ των μοιρών 70 και 20 θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή.



Εικόνα 14: Η γωνία της κατεύθυνσης του ενισχυτικού με την ίσαλο

όπου  $\Omega$  = η γωνία της κατεύθυνσης του ενισχυτικού με την ίσαλο, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα

$s$  = η ισαπόσταση των ενισχυτικών του ελάσματος [m]

$AF$  = συντελεστής επιφάνειας γάστρας

$PPF_p$  = συντελεστής Peak Pressure

$P_{avg}$  = μέση πίεση

$\sigma_y$  = ελάχιστη ανώτερη τάση διαρροής του υλικού [N/mm<sup>2</sup>]

$b$  = το ύψος του ορθογώνιου φορτίου σχεδιασμού σε [m], όπου το  $b$  δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερο από  $(1 - s/4)$  στην περίπτωση εγκάρσια ενισχυμένου ελάσματος

$l$  = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού αλλά, όχι μειωμένο για τυχόν τοποθετημένα μπρακέτα, σε [m]. Όταν υπάρχει stringer πάνω στο οποίο “ξεκουράζονται” τα ενισχυτικά το μήκος  $l$  δεν πρέπει να παρθεί μεγαλύτερο από το μήκος του stringer έως το κοντινότερο νομέα

### 3.4.6: Υπολογισμός πλαστικής ροπής αντίστασης και επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικών

Στην συνέχεια γίνεται περιγραφή των απαιτήσεων με τις οποίες πρέπει να συμμορφώνονται τα διαμήκη και εγκάρσια τοπικά ενισχυτικά καθώς και οι ενισχυμένοι νομείς και τα load carrying stringers.

Η αντοχή του ενισχυτικού εξαρτάται από την σταθερότητα που του προσδίδεται στις στηρίξεις του. Σταθερότητα μπορεί να θεωρηθεί στην περίπτωση που το ενισχυτικό διατρέχει ένα τμήμα υποστήριξης ή στην περίπτωση που είναι κολλημένο με ένα τέτοιο τμήμα μέσω μπρακέτου. Αλλιώς θεωρείται απλή στήριξη.

Το ανυποστήρικτο μήκος ενός ενισχυτικού πρέπει να υπολογίζεται με βάση το μήκος του. Εάν έχουν τοποθετηθεί μπρακέτα το ανυποστήρικτο μήκος θα πρέπει να μειωθεί σύμφωνα με την κοινή πρακτική που ορίζει ο εκάστοτε Νηογνώμονας.

Η πραγματική καθαρή επιφάνεια διάτμησης (actual net effective shear area) ενός ενισχυτικού δίνεται από τον τύπο:

$$A_w = h * t_w * \sin\phi_w / 100 \text{ [cm}^2\text{]}$$

όπου  $h$  = το ύψος του ενισχυτικού [mm]

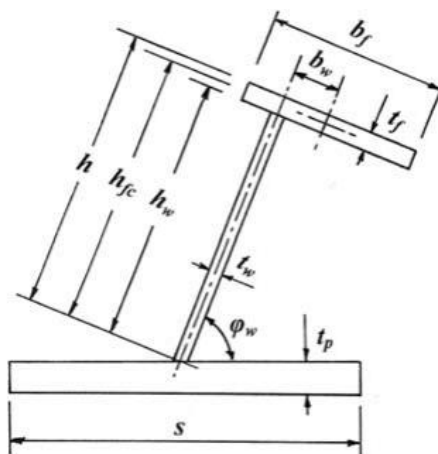
$t_{wn}$  = net web thickness [mm]

$$= t_w - t_c$$

$t_w$  = as built web thickness [mm]

$t_c$  = μείωση πάχους λόγω διάβρωσης που πρέπει να αφαιρεθεί από τον κορμό και την φλάντζα του ενισχυτικού (όπως ορίζει ο εκάστοτε νηογνώμονας αλλά όχι λιγότερο από το πάχος  $t_s$  που θα περιγραφεί παρακάτω)

$\phi_w$  = η γωνία που σχηματίζει ο κορμός του ενισχυτικού με το έλασμα το οποίο ενισχύει (φαίνεται παρακάτω)



Εικόνα 15: Διαστάσεις ενισχυτικού

Όταν το εμβαδόν της διατομής της φλάντζας είναι μεγαλύτερο από το εμβαδόν της διατομής του κορμού τότε η πραγματική καθαρή πλαστική ροπή αντίστασης (actual net effective plastic section modulus) του ενισχυτικού είναι:

$$Z_p = A_{pn} * t_{pn}/20 + \frac{h_w^2 * t_{wn} * \sin \varphi_w}{2000} + A_{fn} * (h_{fc} * \sin \varphi_w - b_w * \cos \varphi_w)/10 \text{ [cm}^3\text{]}$$

όπου  $A_{pn}$  = το καθαρό εμβαδόν διατομής του κορμού [cm<sup>2</sup>]

$t_{pn}$  = το καθαρό πάχος του ελάσματος [mm] (συμμορφωμένο με το πάχος  $t_{net}$  που περιγράφηκε παραπάνω)

$h_w$  = το ύψος του κορμού [mm]

$A_{fn}$  = καθαρό εμβαδόν διατομής της φλάντζας [cm<sup>2</sup>]

$h_{fc}$  = το ύψος του ενισχυτικού έως το κέντρο του εμβαδού της φλάντζας [mm]

$b_w$  = η απόσταση του κέντρου του εμβαδού του κορμού με το κέντρο του εμβαδού της φλάντζας [mm], ουσιαστικά η εκκεντρότητα του ενισχυτικού

Όταν το εμβαδόν της διατομής της φλάντζας είναι μικρότερο από το εμβαδόν της διατομής του κορμού τότε ο πλαστικός ουδέτερος άξονας του ενισχυτικού είναι τοποθετημένος κατά  $z_{na}$  πάνω από το ενισχυμένο έλασμα:

$$z_{na} = (100 * A_{fn} + h_w * t_{wn} - 1000 * t_{pn} * s)/(2 * t_{wn}) \text{ [mm]}$$

Ενώ η πραγματική καθαρή πλαστική ροπή αντίστασης (actual net effective plastic section modulus) του ενισχυτικού είναι:

$$Z_p = t_{pn} * s * (z_{na} + t_{pn}/2) * \sin \varphi_w +$$

$$\left( \frac{((h_w - z_{na})^2 + z_{na}^2) * t_{wn} * \sin \varphi_w}{2000} + A_{fn} * ((h_{fc} - z_{na}) * \sin \varphi_w - b_w * \cos \varphi_w)/10 \right) \text{ [cm}^3\text{]}$$

Στην περίπτωση που έχουμε λοξή ενίσχυση,  $70 > \Omega > 20$ , τότε απαιτείται η χρήση γραμμικής παρεμβολής.

### 3.4.7: Έλεγχος συμμόρφωσης δευτερευόντων εγκάρσιων ενισχυτικών και τοπικών ενισχυτικών στον πυθμένα

Τα τοπικά ενισχυτικά στον πυθμένα καθώς και τα εγκάρσια ενισχυτικά του side shell (νομείς) θα πρέπει να διαστασιολογηθούν έτσι ώστε η συνδυαστική καταπόνηση της κάμψης και της διάτμησης να μην ξεπερνάει το όριο της πλαστικής αντοχής του ενισχυτικού. Στην κατασκευή του πυθμένα το ύψος του patch load (b) θα πρέπει να είναι παράλληλο με την κατεύθυνση της ενίσχυσης.

Για την επιβεβαίωση της συμμόρφωσης, το ενισχυτικό θα εξετασθεί αν αφενός έχει την επιθυμητή επιφάνεια διάτμησης και αν αφετέρου ο συνδυασμός της ροπής αντίστασης φλάντζας/ενισχυτικού είναι ο επιθυμητός.

Ως προς το πρώτο κριτήριο θα πρέπει:

$$A_w \geq A_t, \text{ όπου}$$

$$A_t = 100^2 * 0,5 * LL * s * (AF * PPF * P_{avg}) / (0,577 * \sigma_y) \text{ [cm}^2\text{]}$$

όπου LL = το μήκος καταπόνησης του ενισχυτικού = το μικρότερο μεταξύ των α και b [m]

α = το ανυποστήρικτο μήκος [m]

b = το ύψος του load patch [m]

s = η ισαπόσταση των ενισχυτικών [m]

AF = συντελεστής επιφάνειας γάστρας, από πίνακα

PPF = Peak Pressure Factor, από πίνακα

$P_{avg}$  = μέση πίεση όπως υπολογίστηκε προηγουμένως [MPa]

$\sigma_y$  = η ελάχιστη ανώτερη τάση διαρροής του υλικού [N/mm<sup>2</sup>]

Ως προς το δεύτερο κριτήριο θα πρέπει:

$$Z_{pt} = 100^3 * LL * Y * s * (AF * PPF * P_{avg}) * a * A1 / (4 * \sigma_y) \text{ [cm}^3\text{]}$$

Όπου  $Z_{pt}$  είναι η μεγαλύτερη από τις δύο ροπές αντίστασης που υπολογίζονται από δύο διαφορετικά σενάρια

- 1) Φορτίο λόγω πάγου που εφαρμόζεται στο μέσο του ενισχυτικού
- 2) Φορτίο λόγω πάγου που εφαρμόζεται κοντά σε στήριξη

Η παράμετρος A1 αντικατοπτρίζει αυτά τα δύο σενάρια.

$$\text{όπου } Y = 1 - 0,5 * (LL / a)$$

A1 = το μέγιστο μεταξύ των

$$A_{1A} = 1 / (1 + j/2 + k_w * j/2 * [(1 - a_1^2)^{0,5} - 1])$$

$$A_{1B} = (1 - 1 / (2 * a_1 * Y)) / (0,275 + 1,44 * k_z^{0,7})$$

j = 1 για ενισχυτικό με μία απλή στήριξη

j = 2 για ενισχυτικό χωρίς απλές στηρίξεις

$$a_1 = A_t / A_w$$



$$k_w = 1 / (1 + 2 * A_{fn} / A_w)$$

$$k_z = z_p / Z_p \text{ γενικά}$$

$$= 0 \text{ εάν υπάρχει end bracket}$$

$$z_p = \text{το άθροισμα των ροπών αντίστασης της φλάντζας και του κορμού [cm}^3]$$

$$= (b_f * t_{fn}^2 / 4 + b_{eff} * t_{pn}^2 / 4) / 1000$$

$b_f$  = το πλάτος της φλάντζας

$$t_{fn} = \text{net flange thickness [mm]}$$

$$= t_f - t_c$$

$t_f$  = as-built flange thickness [mm]

$t_{pn}$  = το καθαρό πάχος του ελάσματος [mm] (συμμορφωμένο με το πάχος  $t_{net}$  που περιγράφηκε παραπάνω)

$$b_{eff} = \text{το αποτελεσματικό πλάτος του ελάσματος της φλάντζας [mm] = } 500 * s$$

### 3.4.8: Έλεγχος συμμόρφωσης δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών στο side shell

Όσον αφορά τώρα τα διαμήκη ενισχυτικά του side shell (side longitudinals) θα πρέπει να διαστασιολογηθούν έτσι ώστε η συνδυαστική καταπόνηση της κάμψης και της διάτμησης να μην ξεπερνάει το όριο της πλαστικής αντοχής του ενισχυτικού.

Όπως και προηγουμένως τα ενισχυτικά θα εξετασθούν με βάση δύο κριτήρια, την επιφάνεια διάτμησης και την ροπή αντίστασης.

Ως προς το πρώτο κριτήριο θα πρέπει  $A_w \geq A_L$ , όπου:

$$A_L = 100^2 * (AF * PPF_s * P_{avg}) * 0,5 * b_1 * a / (0,577 * \sigma_y) \text{ [cm}^2]$$

$$\text{όπου } b_1 = k_o * b_2 \text{ [m]}$$

$$k_o = 1 - 0,3 / b'$$

$$b' = b / s$$

$$b_2 = b * (1 - 0,25 * b') \text{ [m], εάν } b' < 2$$

$$= s \text{ [m], εάν } b' \geq 2$$

$a$  = ανυποστήρικτο μήκος διαμήκους ενισχυτικού

Ενώ ως προς το δεύτερο κριτήριο θα πρέπει  $Z_p \geq Z_{pL}$ , όπου:

$$Z_{pL} = 100^3 * (AF * PPF_s * P_{avg}) * b_1 * a^2 * A_4 / (8 * \sigma_y) \text{ [cm}^2]$$

$$\text{όπου } A_4 = 1 / (2 + k_{wl} * [(1 - a_4^2)^{0,5} - 1])$$

$$a_4 = A_L / A_w$$

$$K_{wl} = 1 / (1 + 2 * A_{fn} / A_w)$$

### 3.4.9: Ενισχυμένοι νομείς και Stringers

Οι ενισχυμένοι νομείς και τα stringers διαστασιολογούνται με τέτοιο τρόπο ώστε η συνδυαστική φόρτιση της διάτμησης και της κάμψης να μην ξεπερνούν τα όρια που έχει καθορίσει ο Νηογνώμονας. Στην περίπτωση που οι ενισχυμένοι νομείς και τα stringers αποτελούν μέρος συστήματος grillage, οι ισαποστάσεις δηλαδή των web μεταξύ τους αλλά και των stringers είναι ίσες, η μελέτη αντοχής θα πρέπει να εκτελεσθεί με απευθείας αριθμητικούς υπολογισμούς. Η ανάλυση μπορεί να είναι είτε γραμμική είτε μη γραμμική. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ασχοληθούμε με τέτοιες μεθόδους ανάλυσης.

Παρ'ολ'αυτά, για την αποφυγή του τοπικού λυγισμού των παραπάνω ενισχυτικών ο λόγος ύψους το web ( $h_w$ ) προς το καθαρό πάχος του ( $t_{wn}$ ) θα πρέπει:

$$\text{Για flat bar:} \quad h_w / t_{wn} \leq 282 / (\sigma_y)^{0,5}$$

$$\text{Για bulb, tee και γωνιές:} \quad h_w / t_{wn} \leq 805 / (\sigma_y)^{0,5}$$

Όπου  $h_w$  = το ύψος του web

$t_{wn}$  = το καθαρό πάχος του web

Τα ενισχυτικά που δεν μπορούν για πρακτικούς λόγους να ικανοποιήσουν τους παραπάνω περιορισμούς θα πρέπει να έχουν τα web τους ειδικά ενισχυμένα. Το ελάχιστο πάχος του web περιγράφεται παρακάτω:

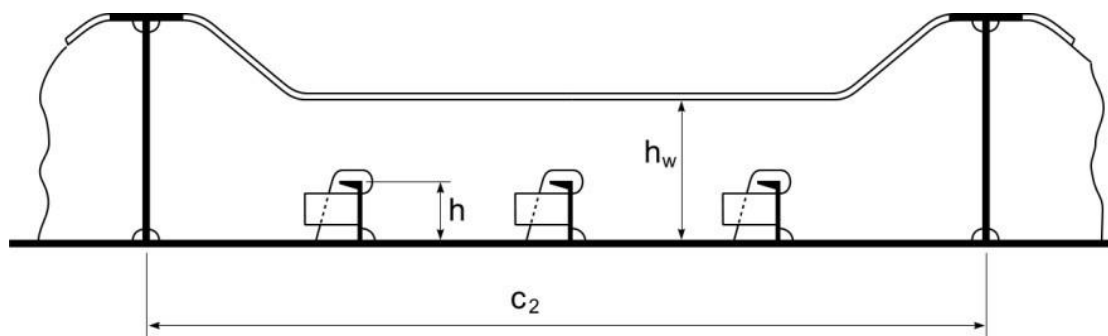
$$t_{wn} = 2,63 * 10^{-3} * c_1 * (\sigma_y / 5,34 + 4 * (c_1 / c_2)^2)^{0,5} \text{ [mm]}$$

όπου  $c_1 = h_w - 0,8 * h$  [mm]

$h_w$  = το ύψος του web του stringer ή του ενισχυμένου νομέα [mm]

$h$  = το ύψος του δευτερεύοντος ενισχυτικού που διαπερνά το web [mm]

$c_2$  = η απόσταση των ενισχυτικών που στηρίζουν το web και είναι κάθετα στο υπό εξεταζόμενο ενισχυτικό [mm], όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω



Εικόνα 16: Παράδειγμα μελέτης web frame/stringer που φαίνονται οι διαστάσεις

Ενώ θα πρέπει ταυτόχρονα να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$t_{wn} \geq 0,35 * t_{pn} * (\sigma_y / 235)^{0,5}$$

όπου  $t_{pn}$  = το καθαρό πάχος του ελάσματος [mm]

Επιπρόσθετα, για να αποφευχθεί ο τοπικός λυγισμός της φλάντζας των συγκολλημένων προφίλ, πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα:

i) Το πλάτος της φλάντζας  $b_f$  θα πρέπει να είναι πέντε (5) φορές μεγαλύτερο από το καθαρό πάχος του web.

ii) Για το πλάτος της φλάντζας  $b_f$  θα πρέπει να ισχύει:

$$b_f / t_{fn} \leq 155 / (\sigma_y)^{0,5}$$

όπου  $t_{fn}$  = το καθαρό πάχος της φλάντζας [mm]

### 3.4.10: Προσαύξηση πάχους ελασμάτων εξαιτίας τριβής και διάβρωσης

Συνιστάται η αποτελεσματική προστασία από τη διάβρωση και την τριβή που προκαλείται από τον πάγο για όλες τις εξωτερικές επιφάνειες της γάστρας για τα πλοία Πολικής Κατηγορίας.

Η ελάχιστη τιμή προσαύξησης πάχους όλων των εσωτερικών κατασκευών σε ενισχυμένες ενάντια στον πάγο περιοχές, συμπεριλαμβανομένων ενισχυμένων νομέων και stringers είναι ίση με  $t_s = 1,0$  mm.

Παρακάτω φαίνεται η προσαύξηση των εξωτερικών ελασμάτων της γάστρας συναρτήσει της Πολικής Κατηγορίας και της περιοχής του πλοίου. Οι τιμές είναι διαφορετικές εάν υπάρχει αποτελεσματική προστασία των ελασμάτων.

Hull area	$t_s$ [mm]					
	With effective protection			Without effective protection		
	PC1 - PC3	PC4 & PC5	PC6 & PC7	PC1 - PC3	PC4 & PC5	PC6 & PC7
Bow; Bow Intermediate Icebelt	3.5	2.5	2.0	7.0	5.0	4.0
Bow Intermediate Lower; Midbody & Stern Icebelt	2.5	2.0	2.0	5.0	4.0	3.0
Midbody & Stern Lower; Bottom	2.0	2.0	2.0	4.0	3.0	2.5

Πίνακας 13: Πίνακας παχών προσαύξησης εξωτερικών ελασμάτων συναρτήσει της Πολικής Κατηγορίας και της περιοχής του πλοίου

Η αντικατάσταση των ελασμάτων πραγματοποιείται όταν το gauged thickness γίνει μικρότερο από:  $t_{net} + 0,5$  mm

### 3.4.11: Επιλογή υλικών

Η επιλογή των κατηγοριών των υλικών (Material Class) που χρησιμοποιούνται για την γάστρα και των κατασκευαστικών στοιχείων του πλοίου γίνεται σύμφωνα με τους δύο παρακάτω πίνακες.

Structural members	Material class
Shell plating within the bow and bow intermediate icebelt hull areas (B, B <sub>ii</sub> )	II
All weather and sea exposed SECONDARY and PRIMARY, as defined in Table 1 of UR S6.1, structural members outside 0.4 L <sub>UL</sub> amidships	I
Plating materials for stem and stem frames, rudder horn, rudder, propeller nozzle, shaft brackets, ice skeg, ice knife and other appendages subject to ice impact loads	II
All inboard framing members attached to the weather and sea-exposed plating, including any contiguous inboard member within 600 mm of the plating	I
Weather-exposed plating and attached framing in cargo holds of ships which by nature of their trade have their cargo hold hatches open during cold weather operations	I
All weather and sea exposed SPECIAL, as defined in Table 1 of UR S6.1, structural members within 0.2 L <sub>UL</sub> from FP	II

Πίνακας 14: Κατηγορίες υλικών κατασκευαστικών στοιχείων συναρτήσει της θέσης τους

### 3.4.12: Ποιότητα χάλυβα

Οι ποιότητες χάλυβα των ελασμάτων και των ενισχυτικών επιλέγονται με βάση την θέση τους επάνω στο πλοίο. Για ελάσματα και ενισχυτικά 30 εκατοστά κάτω από από την κατώτερη ίσαλο γραμμή πάγου (LIWL) η εκλογή του grade του χάλυβα πραγματοποιείται με βάση τον παρακάτω πίνακα, που ισχύει για όλα τα πλοία, ανεξαρτήτως πολιτικής κατηγορίας.

Class	I		II		III	
	MS	HT	MS	HT	MS	HT
Thickness, in mm						
t ≤ 15	A	AH	A	AH	A	AH
15 < t ≤ 20	A	AH	A	AH	B	AH
20 < t ≤ 25	A	AH	B	AH	D	DH
25 < t ≤ 30	A	AH	D	DH	D	DH
30 < t ≤ 35	B	AH	D	DH	E	EH
35 < t ≤ 40	B	AH	D	DH	E	EH
40 < t ≤ 50	D	DH	E	EH	E	EH

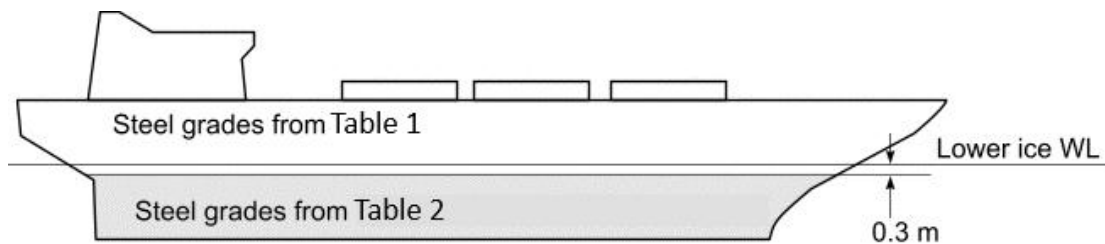
Πίνακας 15: Πίνακας που δείχνει την ποιότητα του χάλυβα ανάλογα με την κατηγορία του υλικού και το πάχος του στοιχείου από UR S6

Για ελάσματα και ενισχυτικά, όμως, πάνω από αυτό το όριο για την εκλογή της ποιότητας του χάλυβα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω πίνακας.

Thickness, t [mm]	Material class I				Material class II				Material class III					
	PC1-5		PC6&7		PC1-5		PC6&7		PC1-3		PC4&5		PC6&7	
	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT
$t \leq 10$	B	AH	B	AH	B	AH	B	AH	E	EH	E	EH	B	AH
$10 < t \leq 15$	B	AH	B	AH	D	DH	B	AH	E	EH	E	EH	D	DH
$15 < t \leq 20$	D	DH	B	AH	D	DH	B	AH	E	EH	E	EH	D	DH
$20 < t \leq 25$	D	DH	B	AH	D	DH	B	AH	E	EH	E	EH	D	DH
$25 < t \leq 30$	D	DH	B	AH	E	EH <sup>2)</sup>	D	DH	E	EH	E	EH	E	EH
$30 < t \leq 35$	D	DH	B	AH	E	EH	D	DH	E	EH	E	EH	E	EH
$35 < t \leq 40$	D	DH	D	DH	E	EH	D	DH	∅	FH	E	EH	E	EH
$40 < t \leq 45$	E	EH	D	DH	E	EH	D	DH	∅	FH	E	EH	E	EH
$45 < t \leq 50$	E	EH	D	DH	E	EH	D	DH	∅	FH	∅	FH	E	EH

∅ Not applicable

Πίνακας 16: Πίνακας που δείχνει την ποιότητα του χάλυβα ανάλογα με την κατηγορία του υλικού και το πάχος του στοιχείου από UR I2



Εικόνα 17: Ζώνες πλοίου στις οποίες ισχύουν οι δύο παραπάνω πίνακες

### 3.4.13: Διαμήκης αντοχή

Ένας εμβολισμός της πλώρης είναι το σχεδιαστικό σενάριο για την αξιολόγηση της διαμήκης αντοχή του πλοίου. Ο σκόπιμος εμβολισμός δεν θεωρείται σχεδιαστικό σενάριο για πλοία με κάθετη πλώρη ή/και βολβό. Συνεπώς οι κανονισμοί που θα ακολουθήσουν δεν θα πρέπει τηρούνται από πλοία γωνία πλώρας μεγαλύτερη των 80 μοιρών ( $\gamma_{stem} > 80deg$ ). Παρ'ολ'αυτά θα περιγραφούν ούτως ή άλλως.

Τα φορτία εξαιτίας του πάγου θα πρέπει να συνδυάζονται μόνο με τα φορτία του still water. Οι συνδυασμένες τάσεις πρέπει να συγκρίνονται με τις επιτρεπόμενες τάσεις κάμψης και διάτμησης σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του πλοίου. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να ελεγχθεί εάν υπάρχει επαρκής αντοχή έναντι τοπικού λυγισμού.

Η σχεδιαστική κάθετη δύναμη λόγω πάγου (Desing Vertical Ice Force) στην πλώρη υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_{IB} = \text{minimum} (F_{IB,1}, F_{IB,2}) \text{ [MN]}$$

$$F_{IB,1} = 0,534 * K_I^{0,15} * \sin^{0,2}(\gamma_{stem}) * (D_{UI} * K_h)^{0,5} * CF_L \text{ [MN]}$$

$$F_{IB,2} = 1,20 * CF_F \text{ [MN]}$$

όπου  $K_I = \text{παράμετρος πλώρης} = K_f / K_h$

A) Στην περίπτωση αμβλείας πλώρης

$$K_f = (2 * C * B_{UI}^{1-e_b} / (1 + e_b))^{0,9} * \tan(\gamma_{stem})^{-0,9*(1+e_b)}$$

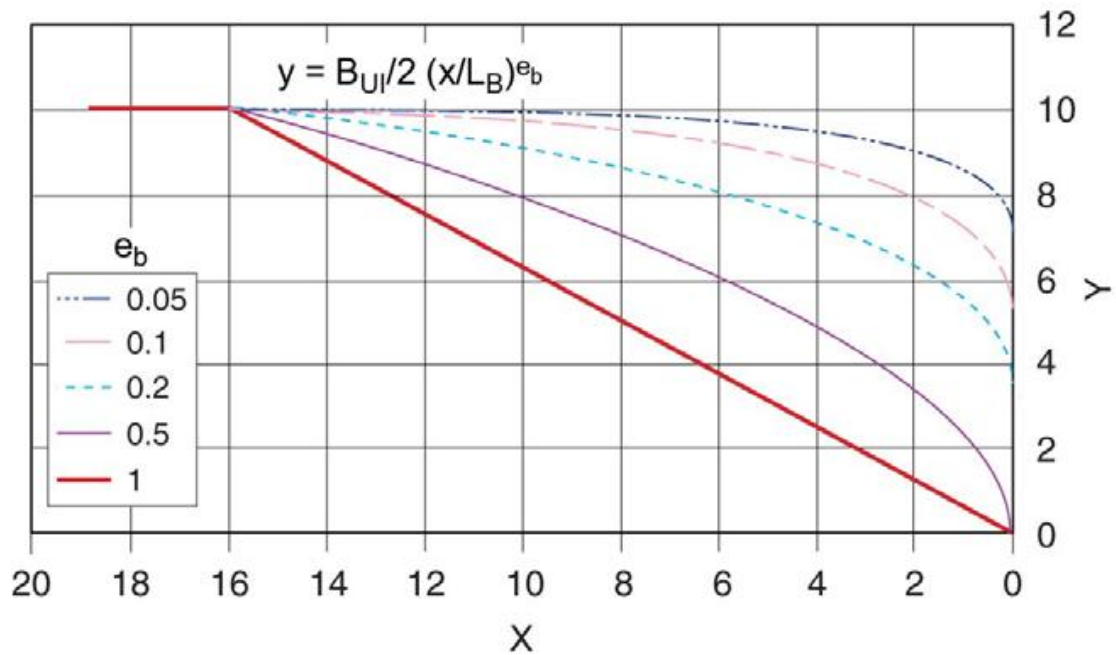
B) Στην περίπτωση σφηνοειδούς πλώρης με ( $\alpha_{stem} < 80deg$ ),  $e_b = 1$ , τότε η παραπάνω σχέση απλοποιείται ως εξής:

$$K_f = (\tan(\alpha_{stem}) / \tan^2(\gamma_{stem}))^{0,9}$$

$$K_h = 0,01 * A_{wp} \text{ [MN/m]}$$

$CF_L = \text{Longitudinal Strength Class Factor}$

$e_b = \text{εκθέτης μορφής πλώρης που περιγράφει καλύτερα την ίσαλο, το παρακάτω σχήμα περιγράφει τις τιμές που κυμαίνεται:}$



Εικόνα 18: Συντελεστής eb συναρτήσει της μορφής της πλώρης

$\gamma_{stem}$  = η γωνία που σχηματίζει η πλώρη με την UIWL [deg]

$\alpha_{stem}$  = η γωνία που σχηματίζει η εφαπτομένη της ισάλου με την UIWL [deg]

$C = 1 / (2 * (L_B / B_{UI})^{eb})$

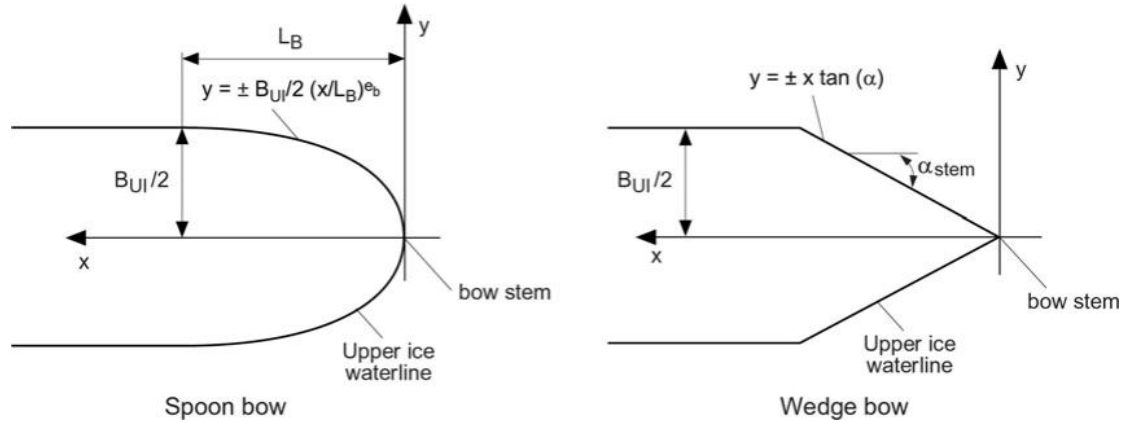
$B_{UI}$  = πλάτος του πλοίου που αντιστοιχεί στην UIWL [m]

$L_B$  = μήκος πλώρης [m], όπως φαίνεται παρακάτω

$A_{wp}$  = εμβαδόν ισάλου που αντιστοιχεί στην UIWL [m<sup>2</sup>]

$D_{UI}$  = εκτόπισμα στην UIWL, όχι μικρότερο από 10 [kt]

$CF_F$  = Flexural Failure Class Factor



Εικόνα 19: Δύο διαφορετικές μορφές πλώρης (Spoon και Wedge)

Η σχεδιαστική κάθετη δύναμη διάτμησης λόγω πάγου (Design Vertical Ice Shear Force) υπολογίζεται, αντίστοιχα από τον παρακάτω τύπο:

$$F_I = C_f * F_{IB} \text{ [MN]}$$

όπου  $C_f$  = ο συντελεστής διαμήκους κατανομής που πρέπει να λαμβάνεται ως εξής:

A) Θετική διατμητική δύναμη

$C_f = 0,0$  μεταξύ του aft end του  $L_{UI}$  και  $0,6L_{UI}$  από το aft

$C_f = 1,0$  μεταξύ του  $0,9L_{UI}$  από το aft έως το forward end του  $L_{UI}$

B) Αρνητική διατμητική δύναμη

$C_f = 0,0$  στο aft end του  $L_{UI}$

$C_f = -0,5$  μεταξύ του  $0,2L_{UI}$  και  $0,6L_{UI}$  από το aft

$C_f = 0,0$  μεταξύ του  $0,8L_{UI}$  από το aft έως το forward end του  $L_{UI}$

Για ενδιάμεσες τιμές θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή.

Η εφαρμοζόμενη κατακόρυφη διατμητική τάση,  $\tau_a$ , πρέπει να προσδιοριστεί κατά μήκος της δοκού του πλοίου με παρόμοιο τρόπο όπως στο UR S11.5.4.2, αντικαθιστώντας την σχεδιαστική κατακόρυφη δύναμη διάτμησης λόγω κύματος με τη σχεδιαστική κατακόρυφη δύναμη διάτμησης λόγω πάγου.

$$\tau_a = \frac{0,5 * |F_s + F_w| S}{\tau I} 10^2 [\text{N/mm}]$$

όπου  $I =$  η ροπή αδράνειας της τομής που μελετάται ως προς τον οριζόντιο ουδέτερο άξονα [ $\text{cm}^4$ ]

$S =$  η πρώτη ροπή ως προς τον ουδέτερο άξονα, της επιφάνειας των ενισχυτικών που συνεισφέρουν στην διαμήκη αντοχή μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου στο οποίο προσδιορίζεται η διατμητική τάση και του κατακόρυφου άκρου των ενισχυτικών που συνεισφέρουν στην διαμήκη αντοχή, που λαμβάνεται στην υπό εξέταση τομή [ $\text{cm}^3$ ]

$\tau =$  επιτρεπόμενη διατμητική τάση =  $110/k$  [ $\text{N/mm}^2$ ]

$k = 1,0$  για κοινό ναυπηγικό χάλυβα

$< 1,0$  για χάλυβα υψηλής αντοχής

Η σχεδιαστική κατακόρυφη ροπή κάμψης λόγω πάγου,  $M_I$ , κατά μήκος της δοκού του πλοίου πρέπει να ληφθεί ως:

$$M_I = 0,1 * C_m * L_{UI} * \sin^{-0,2}(\gamma_{stem}) * F_{IB} [\text{MNm}]$$

όπου  $C_m =$  ο συντελεστής διαμήκους κατανομής που πρέπει να λαμβάνεται ως εξής:

$C_m = 0,0$  στο aft end του  $L_{UI}$

$C_m = 1,0$  μεταξύ του  $0,5L_{UI}$  και  $0,7L_{UI}$  από το aft

$C_m = 0,3$  στο  $0,95L_{UI}$  του aft

$C_m = 0,0$  στο forward end του  $L_{UI}$

Για ενδιάμεσες τιμές θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή.

Η εφαρμοζόμενη κατακόρυφη τάση λόγω κάμψης,  $\sigma_a$ , πρέπει να προσδιορίζεται κατά μήκος της δοκού του πλοίου με παρόμοιο τρόπο όπως στο UR S11.5.4.1, αντικαθιστώντας την σχεδιαστική κατακόρυφη ροπή κάμψης λόγω πάγου με τη σχεδιαστική κατακόρυφη ροπή κάμψης λόγω κύματος. Η ροπή κάμψης του πλοίου σε ακίνητο νερό (still water bending moment) πρέπει να λαμβάνεται ως η επιτρεπτή ροπή κάμψης σε ακίνητο νερό σε κατάσταση sagging.

Οι θλιπτικές τάσεις δίνονται από τον ακόλουθο τύπο:



$$\sigma_a = \frac{M_s + M_w}{I_n} y * 10^5 = \text{minimum } \frac{30}{k} [\text{N/mm}^2]$$

όπου  $M_s$  = still water bending moment [kNm]

$M_w$  = wave bending moment [kNm]

$I_n$  = ροπή αδράνειας [cm<sup>4</sup>] του hull girder

$y$  = κατακόρυφη απόσταση [m] από τον ουδέτερο άξονα έως το σημείο που εξετάζεται

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας που περιέχει τα όρια όσον αφορά την διαμήκη αντοχή του πλοίου:

Failure mode	Applied stress	Permissible stress when $\sigma_y / \sigma_u \leq 0.7$	Permissible stress when $\sigma_y / \sigma_u > 0.7$
Tension	$\sigma_a$	$\eta \cdot \sigma_y$	$\eta \cdot 0.41 (\sigma_u + \sigma_y)$
Shear	$\tau_a$	$\eta \cdot \sigma_y / (3)^{0.5}$	$\eta \cdot 0.41 (\sigma_u + \sigma_y) / (3)^{0.5}$
Buckling	$\sigma_a$	$\sigma_c$ for plating and for web plating of stiffeners $\sigma_c / 1.1$ for stiffeners	
	$\tau_a$	$\tau_c$	

Πίνακας 17: Επιτρεπτά όρια λυγισμού, κάμψης και διάτμησης με τα οποία πρέπει να συμμορφώνεται το πλοίο

όπου  $\sigma_a$  = εφαρμοζόμενη κατακόρυφη τάση λόγω κάμψης [N/mm<sup>2</sup>]

$\tau_a$  = εφαρμοζόμενη κατακόρυφη διατμητική τάση [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_y$  = η ελάχιστη ανώτερη τάση διαρροής του υλικού [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_u$  = η μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_c$  = κρίσιμη τάση λυγισμού σε θλίψη [N/mm<sup>2</sup>]

$\tau_c$  = κρίσιμη τάση λυγισμού σε διάτμηση [N/mm<sup>2</sup>]

$\eta = 0,8$

$\eta = 0,6$  για πλοία που τους έχει αποδοθεί ο τίτλος του παγοθραυστικού

#### 3.4.14: Συγκολλήσεις

Όλες οι συγκολλήσεις σε περιοχές ενισχυμένες κατά τον πάγο (ice-strengthened areas) θα πρέπει να είναι διπλές συνεχείς.

Ενώ η συνέχεια της κατασκευαστικής αντοχής πρέπει να διασφαλίζεται σε όλες τις κατασκευαστικές συνδέσεις.

## Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του υπό μελέτη πλοίου

Το πλοίο που πρόκειται να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα Crude Oil Tanker μήκους 274,0 μέτρων. Έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς του Αμερικάνικου Νηογνώμονα (ABS) και του έχει απονεμηθεί η κατηγορία ICE CLASS IC σύμφωνα με τους κανονισμούς του Φινλανδικού-Σουηδικού Νηογνώμονα (Finnish-Swedish Ice Class Rules).

Το συγκεκριμένο Tanker κατασκευάστηκε πρόσφατα στις 7 Ιουλίου του 2023 στα ναυπηγεία της NEW TIMES SHIPBUILDING CO., LTD με έδρα την πόλη Jingjiang, στην Κίνα.

Το δεδομένο Tanker διαθέτει έξι (6 αμπάρια) για την μεταφορά μαζούτ, προσφέροντας συνολική μεταφορική ικανότητα που αγγίζει τους 159.000 τόνους DWT.

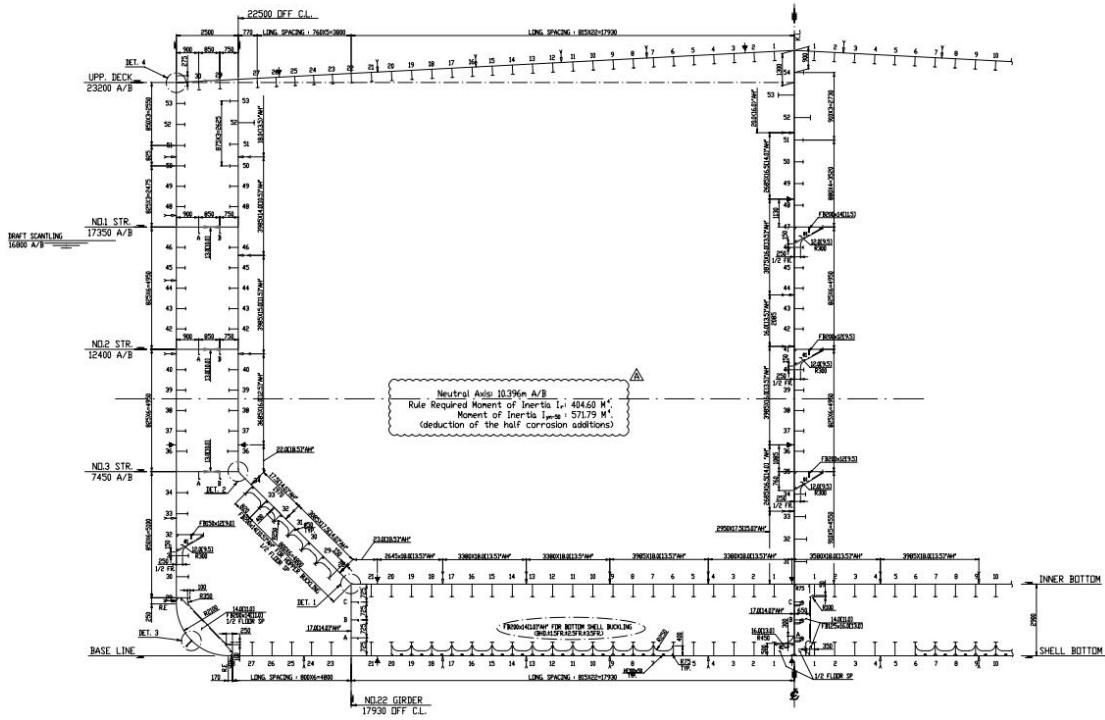
Παρακάτω παρατίθενται οι κύριες διαστάσεις (Principal Particulars) του πλοίου:

Ολικό μήκος (LOA)	274,00 m
Μήκος μεταξύ καθέτων (LBP)	268,80 m
Πλάτος (B)	50,00 m
Κοίλο (D)	23,20 m
Βύθισμα σχεδίασης (T <sub>D</sub> )	16,10 m
Βύθισμα αντοχής (T <sub>SC</sub> )	16,80 m
C <sub>B</sub> στο T <sub>SC</sub>	0,8124
C <sub>b</sub> στο T <sub>D</sub>	0,8078
DWT στο T <sub>D</sub>	148.800 t
DWT στο T <sub>SC</sub>	158.000 t
Υπηρεσιακή ταχύτητα (V)	13,90 kn

Πίνακας 18: Οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

Παρακάτω παρατίθενται διάφορα σχέδια του πλοίου για την καλύτερη κατανόηση.

ORDINARY SECTION

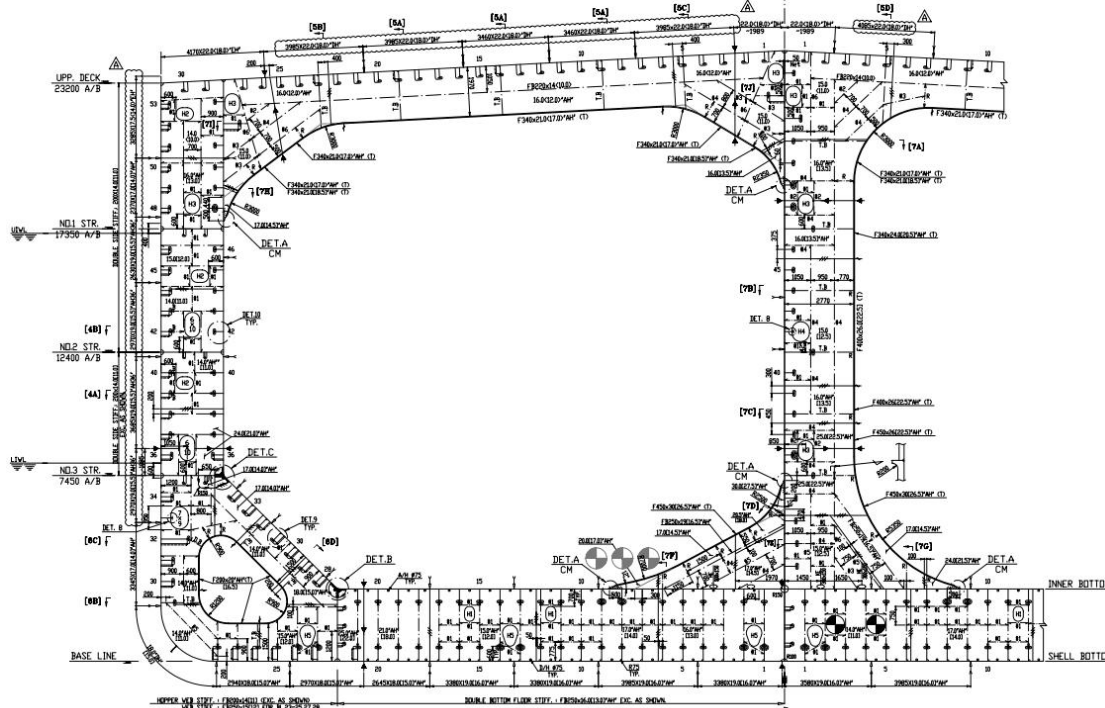


Εικόνα 20: Σχέδιο τομής απλού νομέα

TYPICAL WEB SECTION

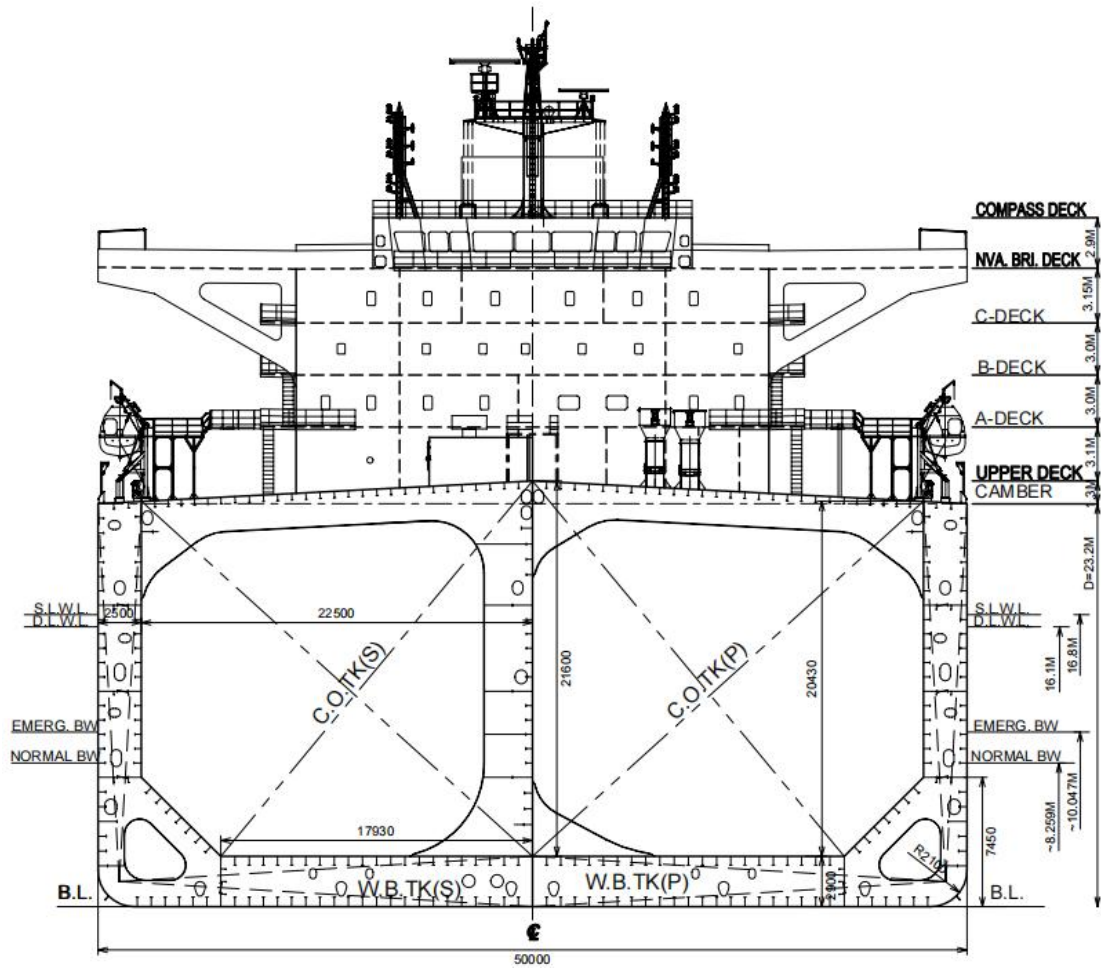
FLOOR & TRANSV. WEB SPACING : 4800 MM

MARK \* \* \* : MEANS NO SCALLOP

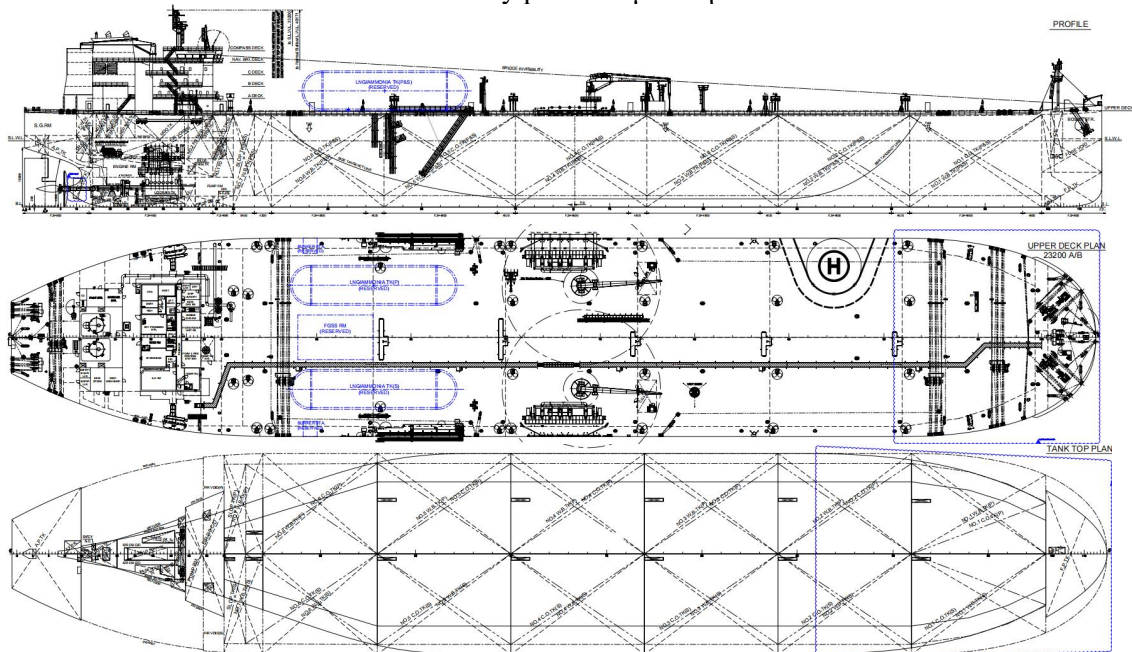


Εικόνα 21: Σχέδιο τομής ενισχυμένου νομέα

# MIDSHIP



Εικόνα 22: Body plan υπό μελέτη πλοίου



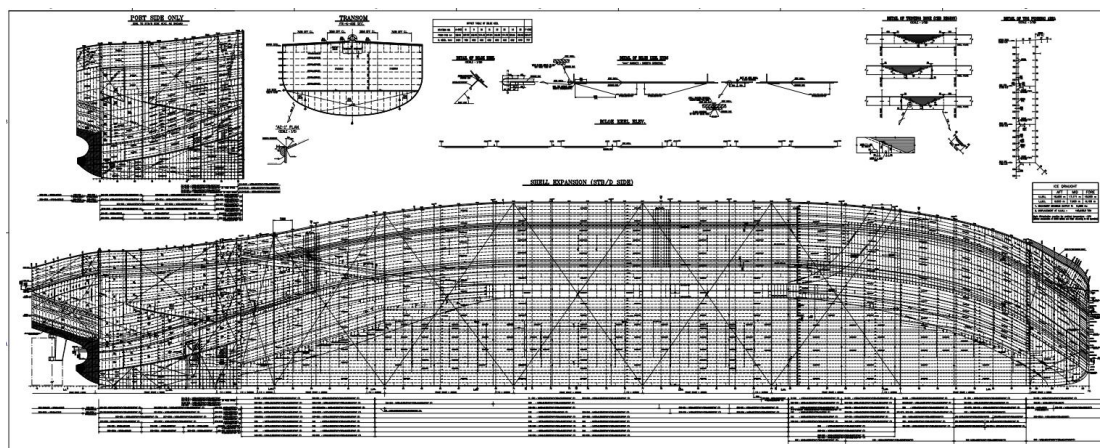
Εικόνα 23: General Arrangement υπό μελέτη πλοίου

## Κεφάλαιο 5: Έλεγχος συμμόρφωσης των ελασμάτων και

### των ενισχυτικών με τις απαιτήσεις του Κώδικα

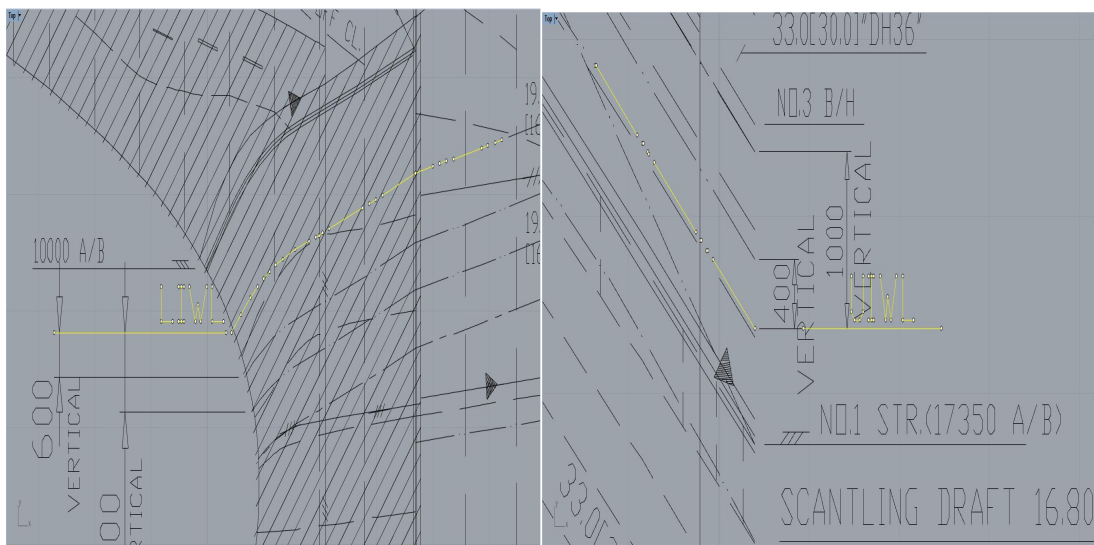
#### 5.1: Υποδιαίρεση του πλοίου σε ζώνες

Όπως περιγράφηκε παραπάνω τα πάχη των ελασμάτων και τα μεγέθη των ενισχυτικών του πλοίου είναι άμεσα συνδεδεμένα με το ποια περιοχή του πλοίου ενισχύουν. Τα ελάσματα στην πλώρη και στην περιοχή της ζώνης πάγου (Ice Belt Region) πρέπει να ικανοποιούν αυστηρότερους κανονισμούς, αφού το σχεδιαστικό σενάριο σύμφωνα με το οποίο διαστασιολογούνται είναι η πρόσκρουση με τον πάγο. Πρωτεύον μέλημα είναι η οριοθέτηση αυτών των περιοχών στο πλοίο που μας ενδιαφέρει. Η οριοθέτηση των περιοχών θα γίνει στο σχέδιο του SHELL EXPANSION διότι θα βοηθήσει στην αναγνώριση του μικρότερου ελάσματος και ενισχυτικού στην κάθε περιοχή που μελετάται. Το SHELL EXPANSION του δεδομένου πλοίου φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 24: Shell Expansion υπό μελέτη πλοίου

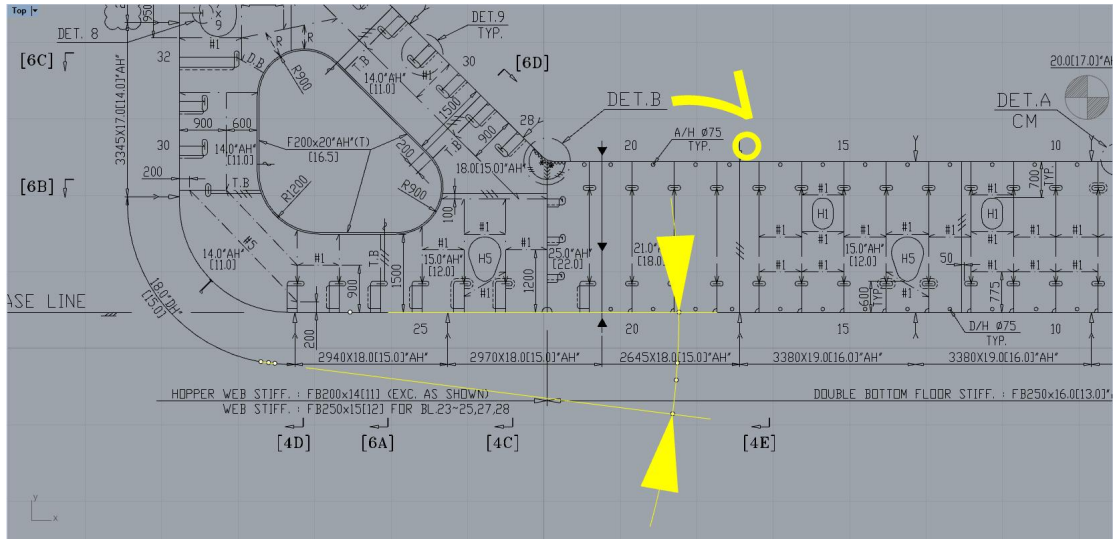
Το παραπάνω PDF αρχείο θα εισαχθεί στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Rhinoceros ώστε να αποτυπωθούν οι ζώνες που περιγράφει ο Πολικός Κώδικας. Επάνω στο σχέδιο φαίνονται και η ανώτερη και η κατώτερη ισάλος γραμμή πάγου.



Εικόνα 25: Αποτυπώματα UIWL και LIWL στο Shell Expansion

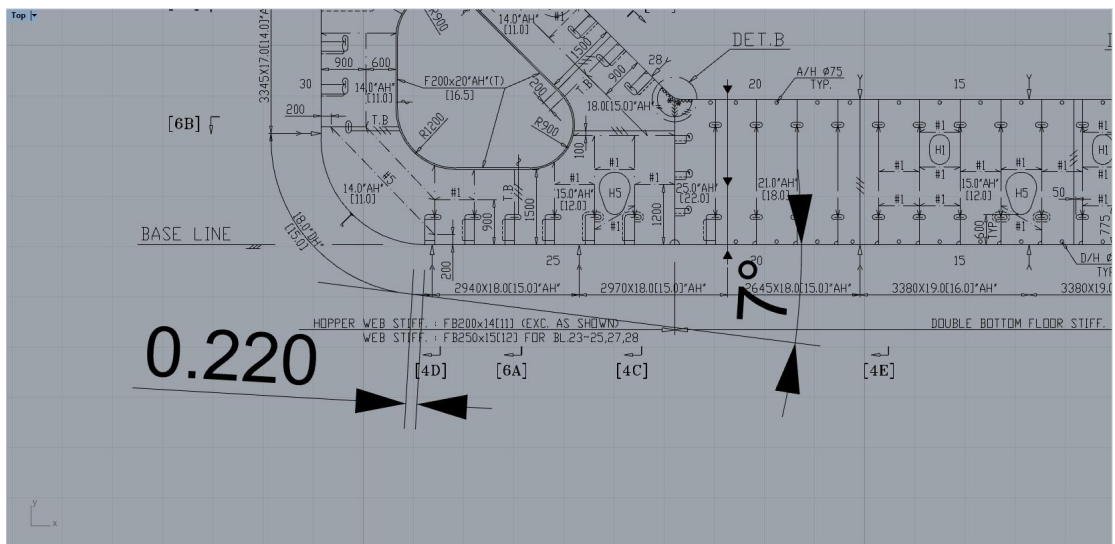
Σύμφωνα με τον Πολικό Κώδικα το πλοίο διαιρείται σε τέσσερις περιοχές κατά το διάμηκες και σε τρεις κατά τη κατακόρυφο. Η περιοχή Stern εκτείνεται από το ακροπρυμναίο σημείο έως ότου η UIWL γίνει παράλληλη για πρώτη φορά με την Center Line του πλοίου. Η περιοχή Midbody αποτελεί συνέχεια του Stern και τερματίζει 4% πρύμνηθεν του  $L_{UI}$  στο σημείο όπου η UIWL γίνει και πάλι παράλληλη με την Center Line του πλοίου. Ακολουθεί η περιοχή Bow Intermediate που αποτελεί συνέχεια του Midbody και τερματίζει στο σημείο όπου η κλίση της UIWL γίνει 10 μοίρες ως προς την Center Line για πρώτη φορά. Τέλος ακολουθεί η ζώνη Bow που αποτελεί συνέχεια της Bow Intermediate και τερματίζει στο ακροπρωαίο σημείο του πλοίου.

Ως προς την κατακόρυφο έχουμε τρεις ζώνες, την Ice Belt Region, την Lower, και το Bottom. Η Ice Belt Region οριοθετείται μεταξύ της ανώτερης και κατώτερης ισάλου γραμμής πάγου προσαυξημένη κατά 1,5 m κατώτερα από την LIWL και 1,0 για PC5,6,7 ή PC1,2,3,4 για 1,5 ανώτερα από την UIWL. Οι περιοχές Lower και Bottom διαφοροποιούνται μεταξύ τους μέσω ενός ορίου. Το όριο μεταξύ της περιοχής του πυθμένα και της κατώτερης περιοχής πρέπει να λαμβάνεται στο σημείο όπου η γάστρα έχει εγκάρσια κλίση  $7^\circ$  από την οριζόντια. Μετατοπίζοντας το αποτύπωμα που ήδη υπάρχει στο σχέδιο του Shell Expansion, των ισάλων, στα επιθυμητά όρια που ορίζει ο κανονισμός θα βρεθεί η περιοχή Ice Belt. Τώρα όσον αφορά το όριο μεταξύ της περιοχής του πυθμένα και της κατώτερης, θα βρεθεί περιστρέφοντας το Midship Section έως ότου το έλασμα Bilge αποκτήσει γωνία 7 μοίρες με την οριζόντιο, όπως φαίνεται παρακάτω.



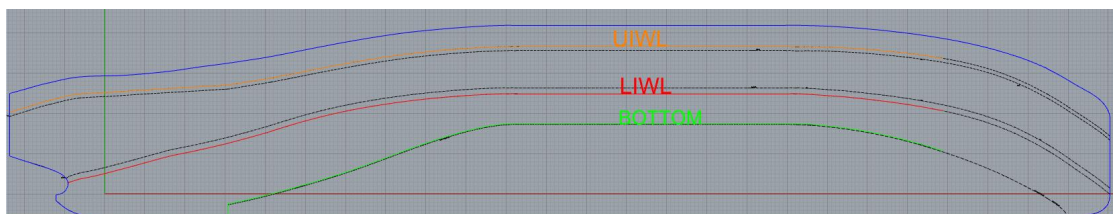
Εικόνα 26: Εύρεση ορίου μεταξύ περιοχών Lower και Bottom

Η μικρή αυτή διαφορά θα αποτυπωθεί ως εξής στο Shell Expansion. Θα γίνει μετατόπιση του Flat of Bottom προς τα επάνω όσο και το μήκος του ελάσματος μέχρι το σημείο που λαμβάνει η γάστρα 7 μοίρες. Το μήκος αυτό φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 27: Εύρεση ορίου μεταξύ περιοχών Lower και Bottom

Μετατοπίζοντας τα UIWL, LIWL, και Flat of Bottom κατά 1m, 1,5m και 0,220m αντίστοιχα θα βρεθούν τα όρια που ορίζουν οι κανονισμοί.



Εικόνα 28: Αποτυπώματα UIWL, LIWL και Bottom στο Shell Expansion

Για την εύρεση των περιοχών στο Rhinoceros θα πρέπει να υπολογισθεί πρώτα το μήκος  $L_{UI}$ . Το μήκος  $L_{UI}$ , σε m, μετράται οριζόντια από το σημείο τομής της

ανώτερης ισάλου γραμμής πάγου (UIWL) με την πλώρη έως το rudder post στην πρύμνη ή το κέντρο του rudder stock εάν δεν υπάρχει rudder post. Το μήκος  $L_{UI}$  δεν πρέπει να είναι μικρότερο του 96% και μεγαλύτερο του 97% του μέγιστου μήκους της Upper Ice Waterline.

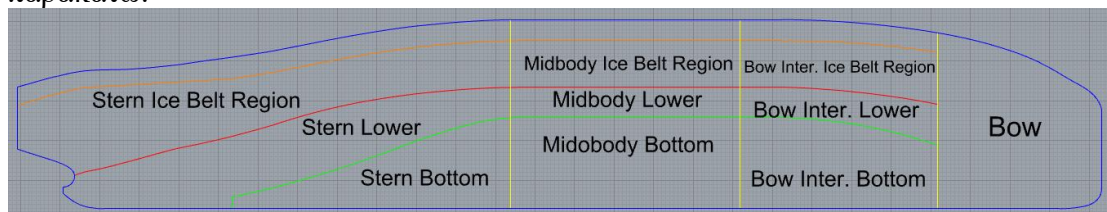
Το μήκος από το after end του rudder post έως το σημείο τομής της ισάλου με το stem βρέθηκε ίσο με:

$$L_{UI} = 268,000 \text{ m}$$

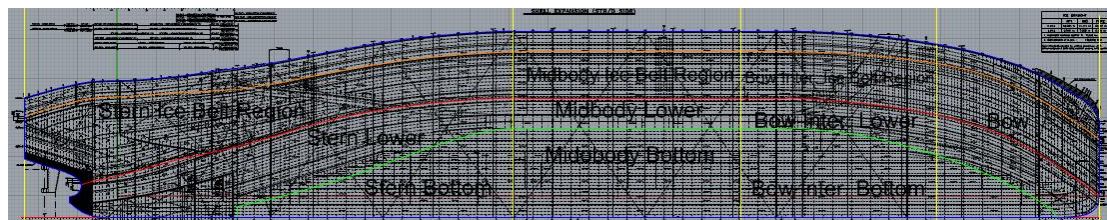
Όμως το μέγιστο μήκος της UIWL ( $L_{OA}$ ) είναι ίσο με 274,000 m και  $L_{UI} / L_{OA} = 268,00 / 274,00 = 0,978$  μη επιτρεπτό. Συνεπώς θα πάρουμε την οριακή τιμή του 97% του  $L_{OA}$  που είναι ίση με:

$$L_{UI} = 97 * L_{OA} / 100 = 97 * 274 / 100 = 265,780 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο στάδιο περιγραφής των κανονισμών, οι περιοχές που πρέπει να χωρισθεί το δεδομένο πλοίο φαίνονται παρακάτω:

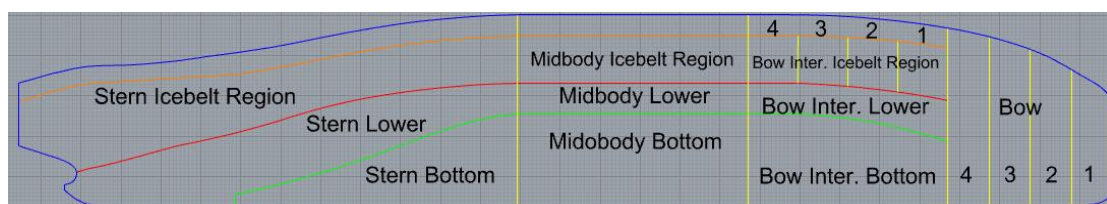


Εικόνα 29: Οι απαραίτητες ζώνες που χωρίστηκε το υπό μελέτη πλοίο για την εφαρμογή των κανονισμών του Κώδικα



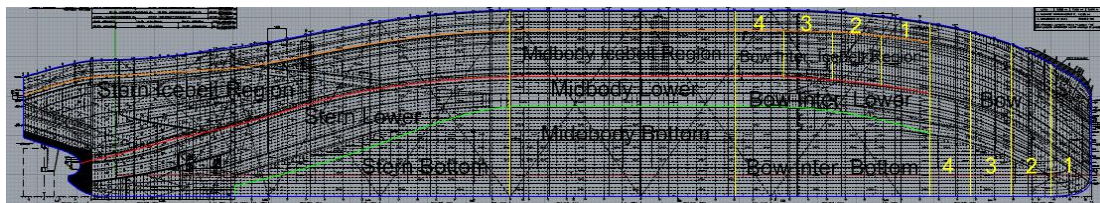
Εικόνα 30: Οι απαραίτητες ζώνες που χωρίστηκε το υπό μελέτη πλοίο για την εφαρμογή των κανονισμών του Κώδικα στο Shell Expansion

Για πλοία κατηγορίας PC1,2,3,4,5 η περιοχή του Bow χωρίζεται σε τέσσερις μικρότερες περιοχές ίσου μήκους. Για πλοία κατηγορίας PC6,7 αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και στην περιοχή του Bow Intermediate Icebelt Region. Αυτό γίνεται διότι τα χαρακτηριστικά των φορτίσεων (load characteristics) είναι άμεσα συνδεδεμένα με την μορφολογία της πλώρης. Έτσι τελικά θα έχουμε τις εξής ζώνες:



Εικόνα 31: Οι απαραίτητες ζώνες που χωρίστηκε το υπό μελέτη πλοίο για την εφαρμογή των κανονισμών του Κώδικα μαζί με τις υποπεριοχές





Εικόνα 32: Οι απαραίτητες ζώνες που χωρίστηκε το υπό μελέτη πλοίο για την εφαρμογή των κανονισμών του Κώδικα μαζί με τις υποπεριοχές στο Shell Expansion

Αφού το πλοίο χωρίστηκε σε ζώνες τώρα θα πρέπει να υπολογισθούν τα χαρακτηριστικά φόρτισης της κάθε ζώνης τα οποία είναι η δύναμη  $F_i$ , το φορτίο γραμμής  $Q_i$ , και η μέση πίεση  $P_{avg}$ . Για την περιοχή του Bow και του Bow Intermediate Icebelt Region οι οποίες έχουν χωρισθεί επιπρόσθετα σε μικρότερες, θα βρεθεί η μέγιστη μεταξύ των τεσσάρων υποπεριοχών και θα ληφθούν εκείνα σαν χαρακτηριστικά της μεγάλης περιοχής. Για το υπόλοιπο πλοίο λαμβάνεται μόνο ένα σετ χαρακτηριστικών που αναφέρεται σαν NonBow Region.

Η γωνία του stem του πλοίου ως προς την UIWL είναι ίση με 90 μοίρες συνεπώς τα ελάσματα μπορούν να πιστοποιηθούν μόνο για τις κλάσεις PC6 και PC7. Για να αποφανθεί το ποια κατηγορία Polar Class αντιστοιχεί στο δεδομένο πλοίο, θα εργασθούμε ως εξής. Σε κάθε περιοχή που χωρίστηκε το πλοίο και φάνηκε παραπάνω, θα επιλεγεί το μικρότερο έλασμα (σε πάχος) που έχει χρησιμοποιηθεί. Το μικρότερο έλασμα θα υποδείξει και την Πολική Κατηγορία του πλοίου. Το ίδιο σκεπτικό θα εφαρμοσθεί και για τον έλεγχο των ενισχυτικών του εξωτερικού περιβλήματος.

Για τον υπολογισμό των μεγεθών θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Για ευκολία θα χρησιμοποιηθεί υπολογιστικό φύλλο Excel.

**5.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των χαρακτηριστικών των φορτίων λόγω πάγου στην κάθε περιοχή του πλοίου μέσω του Excel**

<b>Bow</b>					
<b>load characteristics</b>	1st sub-region	2nd sub-region	3rd sub-region	4th sub-region	Total (Max)
ai	34,330	28,220	21,800	12,650	
fai	1,144	0,941	0,727	0,422	
Fi [MN]	46,330	38,085	29,420	17,072	46,330
Qi [MN/m]	6,558	6,281	5,934	5,264	6,558
Pi [MPa]	5,569	4,990	4,319	3,184	5,569
<b>w [m]</b>					<b>7,065</b>
<b>b [m]</b>					<b>1,177</b>
<b>P<sub>avg</sub> [MPa]</b>					<b>5,569</b>
CF <sub>cv</sub>	3,430				
CF <sub>qv</sub>	2,820				
CF <sub>pv</sub>	0,650				
Dui [kt]	190,939				

Πίνακας 19: Design Ice Loads στην περιοχή της πλώρης για PC6

<b>Bow Intermediate Icebelt Region</b>					
<b>load characteristics</b>	1st sub-region	2nd sub-region	3rd sub-region	4th sub-region	Total (Max)
ai	7,070	4,610	1,610	0	
fai	0,236	0,154	0,054	0	
Fi [MN]	9,541	6,221	2,173	0	9,541
Qi [MN/m]	4,632	4,216	3,345	0	4,632
Pi [MPa]	2,299	1,809	1,004	0	2,299
<b>w [m]</b>					<b>2,060</b>
<b>b [m]</b>					<b>2,015</b>
<b>P<sub>avg</sub> [MPa]</b>					<b>2,299</b>
CF <sub>cv</sub>	3,430				
CF <sub>qv</sub>	2,820				
CF <sub>pv</sub>	0,650				
Dui [kt]	190,939				

Πίνακας 20: Design Ice Loads στην περιοχή Bow Intermediate Ice Belt Region για PC6

load characteristics	Non-Bow Area
F [MN]	22,200
Q [MN/m]	4,954
<b>w [m]</b>	<b>4,481</b>
<b>b [m]</b>	<b>1,245</b>
<b>P<sub>avg</sub></b>	<b>3,980</b>
CF <sub>c</sub>	2,400
CF <sub>d</sub>	1,170
CF <sub>DIS</sub>	40,000
DF	25,694

Πίνακας 21: Design Ice Loads σε όλο το υπόλοιπο πλοίο για PC6

Bow					
load characteristics	1st sub-region	2nd sub-region	3rd sub-region	4th sub-region	Total(Max)
ai	34,330	28,220	21,800	12,650	
fai	1,144	0,941	0,727	0,422	
Fi [MN]	35,119	28,869	22,301	12,941	35,119
Qi [MN/m]	6,170	5,909	5,583	4,953	6,170
Pi [MPa]	4,769	4,273	3,698	2,727	4,769
<b>w [m]</b>					<b>5,692</b>
<b>b [m]</b>					<b>1,294</b>
<b>P<sub>avg</sub> [MPa]</b>					<b>4,769</b>
CF <sub>cv</sub>	2,600				
CF <sub>qv</sub>	2,820				
CF <sub>pv</sub>	0,650				
D <sub>ui</sub> [kt]	190,939				

Πίνακας 22: Design Ice Loads στην περιοχή της πλώρης για PC7

Bow Intermediate Icebelt Region					
load characteristics	1st sub-region	2nd sub-region	3rd sub-region	4th sub-region	Total(Max)
ai	7,070	4,610	1,610	0	
fai	0,236	0,154	0,054	0	
Fi [MN]	7,233	4,716	1,647	0	7,233
Qi [MN/m]	4,358	3,967	3,147	0	4,358
Pi [MPa]	1,968	1,549	0,860	0	1,968
<b>w [m]</b>					<b>1,660</b>
<b>b [m]</b>					<b>2,214</b>
<b>P<sub>avg</sub> [MPa]</b>					<b>1,968</b>
CF <sub>cv</sub>	2,600				
CF <sub>qv</sub>	2,820				
CF <sub>pv</sub>	0,650				
D <sub>ui</sub> [kt]	190,939				

Πίνακας 23: Design Ice Loads στην περιοχή Bow Intermediate Ice Belt Region για PC7

load characteristics	Non-Bow Area
F [MN]	15,632
Q [MN/m]	3,795
<b>w [m]</b>	<b>4,120</b>
<b>b [m]</b>	<b>1,144</b>
<b>P<sub>avg</sub></b>	<b>3,316</b>
CF <sub>C</sub>	1,800
CF <sub>D</sub>	1,110
CF <sub>Dis</sub>	22,000
DF	24,124

Πίνακας 24: Design Ice Loads σε όλο το υπόλοιπο πλοίο για PC7

### 5.3: Έλεγχος συμμόρφωσης ελασμάτων εξωτερικής μεταλλικής κατασκευής

Τα ελάσματα που επιλέχθηκαν φαίνονται παρακάτω σαν μέρος του Shell Expansion και φαίνονται με μοβ χρώμα.



Εικόνα 33: Ελάσματα που επιλέχθηκαν για εκλογή Πολικής Κατηγορίας

Το ελάχιστο πάχος των ελασμάτων θα δοθεί από τον τύπο που περιγράφηκε παραπάνω, όπως ορίζει ο κανονισμός. Και αφού όλα τα ελάσματα είναι ενισχυμένα κατά το διάμηκες τότε ισχύει:

$$t_{net} = 500 * s * ((AF * PPF_p * P_{avg}) / \sigma_y)^{0.5} / (1 + s / (2 * l)) \text{ [mm]}$$

Αφού βρεθεί το  $t_{net}$  θα γίνει η προσαύξηση του  $t_s$ . Σύμφωνα με τον αντίστοιχο πίνακα παραπάνω.

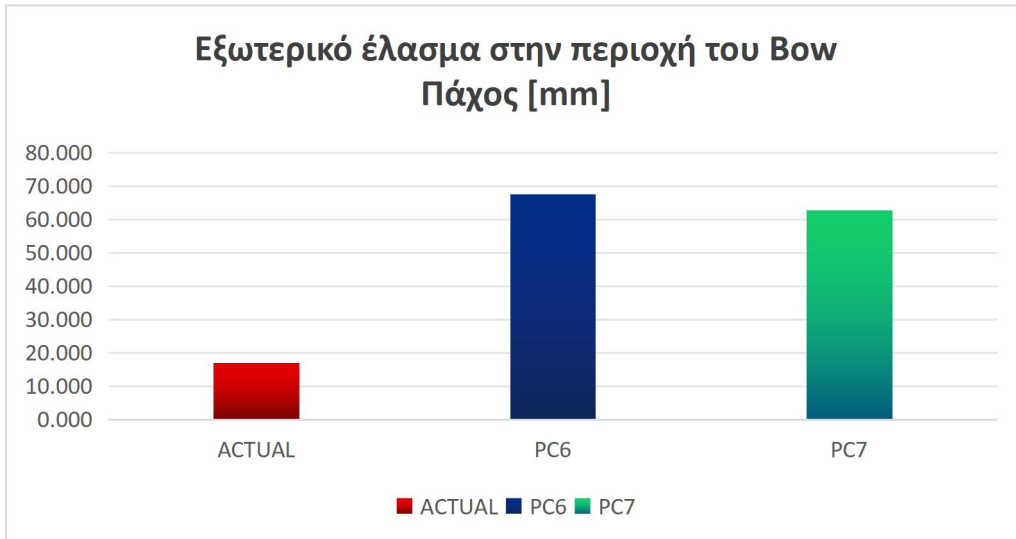
Διαστασιολόγηση ελασμάτων για PC6										
Πάχος	Bow	Bow Inter. Icebelt	Bow Inter. Lower	Bow Inter. Bottom	Midbody Icebelt	Midbody Lower	Midbody Bottom	Stern Icebelt	Stern Lower	Stern Bottom
$t_{net}$ [mm]	63,582	39,743	39,957	28,322	35,079	26,875	-	33,073	26,875	-
$t_s$ [mm]	4,000	4,000	3,000	2,500	3,000	2,500	-	3,000	2,500	-
$t_{reg}$	67,582	43,743	42,957	30,822	38,079	29,375	-	36,073	29,375	-
$t_{act}$	17,000	17,000	17,000	18,000	17,000	17,000	-	17,000	17,000	-

Πίνακας 25: Διαφορές παχών ελασμάτων για PC6

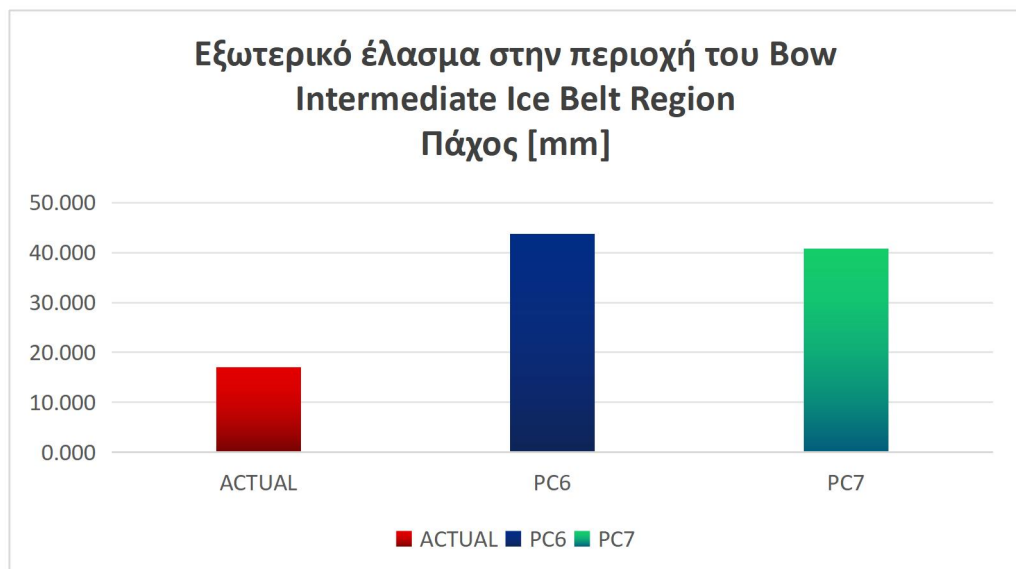
Διαστασιολόγηση ελασμάτων για PC7										
Πάχος	Bow	Bow Inter. Icebelt	Bow Inter. Lower	Bow Inter. Bottom	Midbody Icebelt	Midbody Lower	Midbody Bottom	Stern Icebelt	Stern Lower	Stern Bottom
$t_{net}$ [mm]	58,836	36,776	34,776	23,600	32,021	24,531	-	28,240	24,531	-
$t_s$ [mm]	4,000	4,000	3,000	2,500	3,000	2,500	-	3,000	2,500	-
$t_{reg}$	62,836	40,776	37,776	26,100	35,021	27,031	-	31,240	27,031	-
$t_{act}$	17,000	17,000	17,000	18,000	17,000	17,000	-	17,000	17,000	-

Πίνακας 26: Διαφορές παχών ελασμάτων για PC7

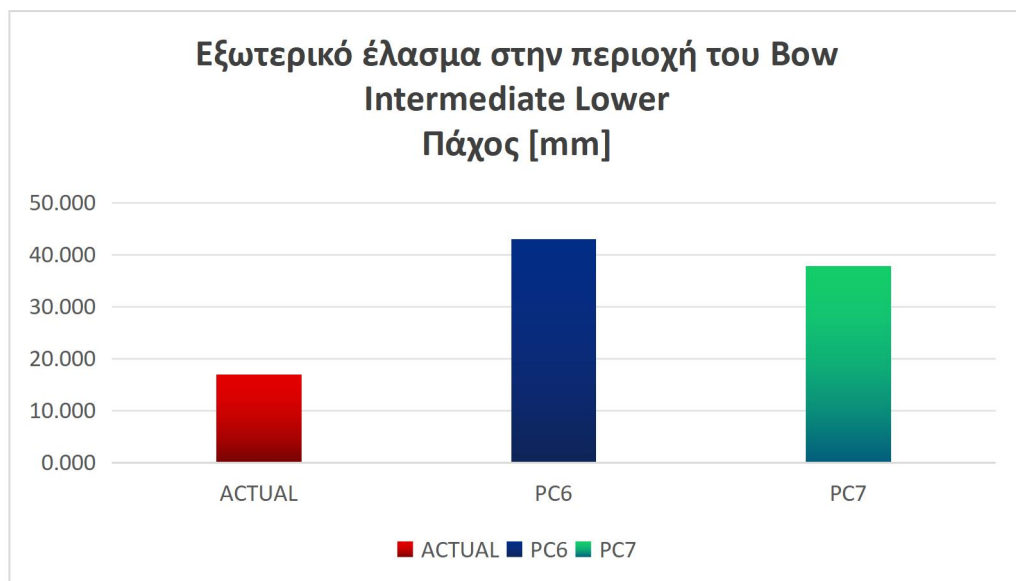
Με πράσινο φαίνεται το ελάχιστο πάχος με το οποίο πρέπει να συμμορφώνεται το έλασμα για την κάθε περιοχή που χωρίστηκε το πλοίο για τις δύο πολικές κατηγορίες PC6 και PC7. Με κόκκινο φαίνεται το τρέχον πάχος του ελασματος στην αντίστοιχη περιοχή. Παρατηρούμε ότι η διαφορά στα πάχη είναι μεγάλη. Συμπεραίνουμε ότι το πλοίο δεν συμμορφώνεται με καμία Πολική Κατηγορία που περιέχει ο Πολικός Κώδικας. Παρακάτω ακολουθούν ραβδογράμματα που απεικονίζουν τα επιθυμητά πάχη που ορίζουν οι κανονισμοί καθώς και τα πραγματικά.



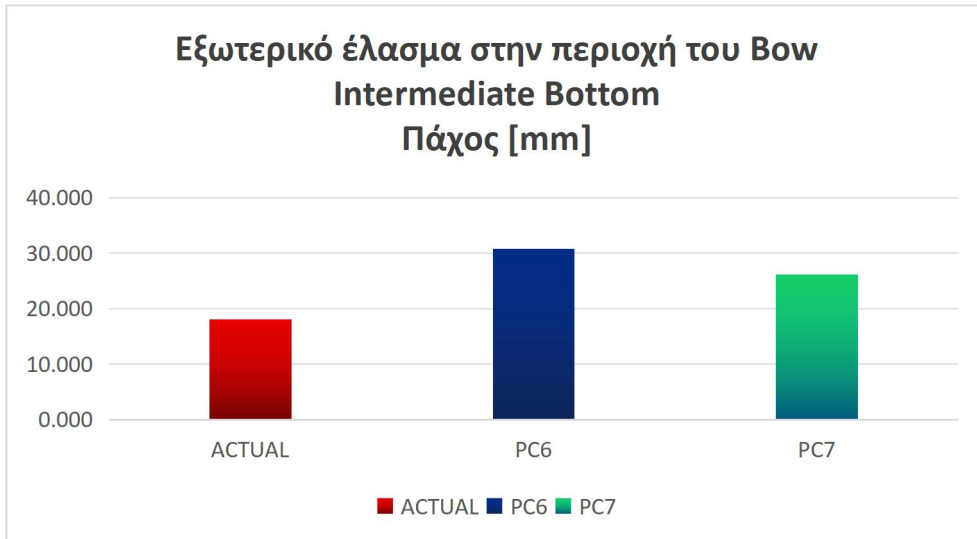
Εικόνα 34: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



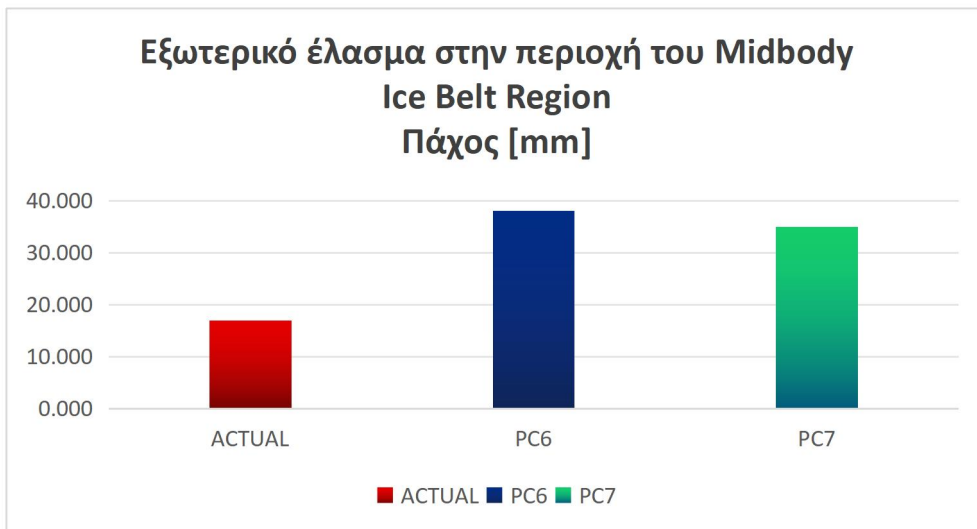
Εικόνα 35: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



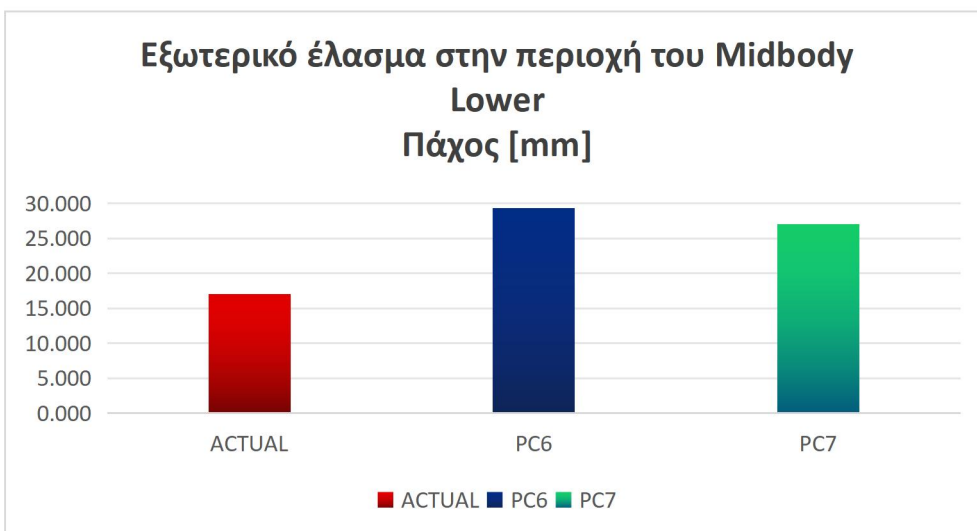
Εικόνα 36: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



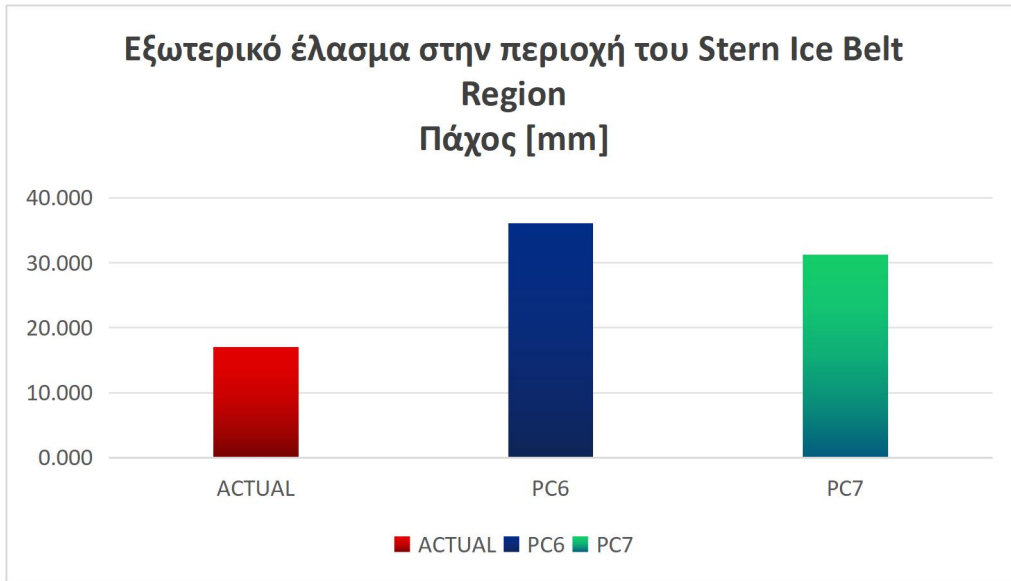
Εικόνα 37: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



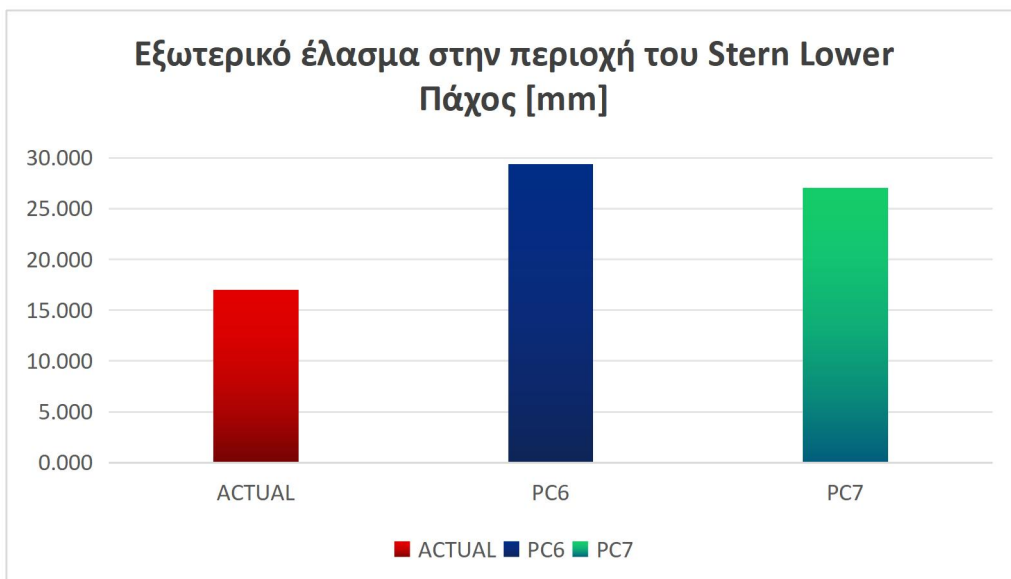
Εικόνα 38: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



Εικόνα 39: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



Εικόνα 40: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



Εικόνα 41: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστου πάχους ελάσματος για PC6 και PC7



#### 5.4: Έλεγχος συμμόρφωσης τοπικών ενισχυτικών (απλοί νομείς στο side shell και τοπικά ενισχυτικά στον πυθμένα)

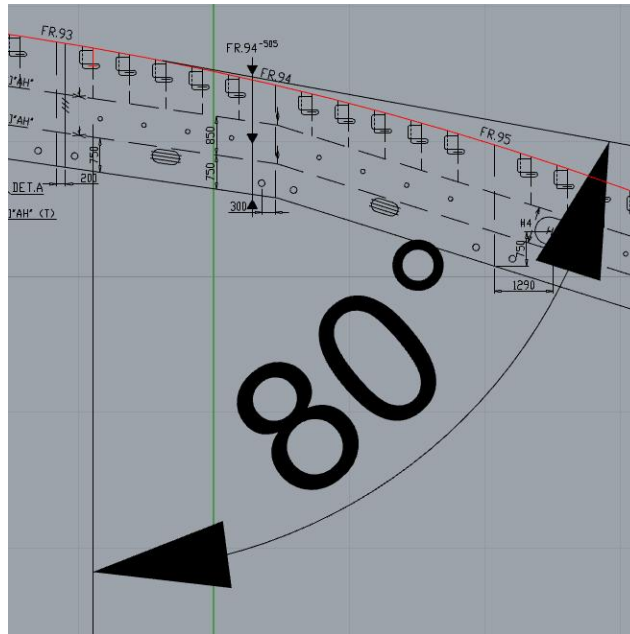
Με το ίδιο σκεπτικό, θα επιλεγθούν τα μικρότερα ενισχυτικά σε κάθε περιοχή.

Ενισχυμένες με απλούς νομείς είναι μόνο οι περιοχές του Bow και του Bow Intermediate Ice Belt Region ενώ ο πυθμένας καθ'όλο το μήκος του είναι ενισχυμένος μόνο με διαμήκη ενισχυτικά. Εισάγοντας τα δεδομένα για το κάθε ενισχυτικό θα εξάγουμε αρχικά τα όρια πάνω από τα οποία θα πρέπει το δεδομένο ενισχυτικό να συμμορφώνεται. Θα καταλήξουμε τελικά σε δύο ανισώσεις, η μία θα αφορά την πραγματική καθαρή επιφάνεια διάτμησης (actual net effective shear area) ενώ η δεύτερη θα αφορά την πραγματική καθαρή πλαστική ροπή αντίστασης (actual net effective plastic section modulus) του ενισχυτικού. Οι ανισώσεις που θα πρέπει να ισχύουν είναι οι εξής:

- $A_w \geq A_t$
- $Z_p \geq Z_{pt}$

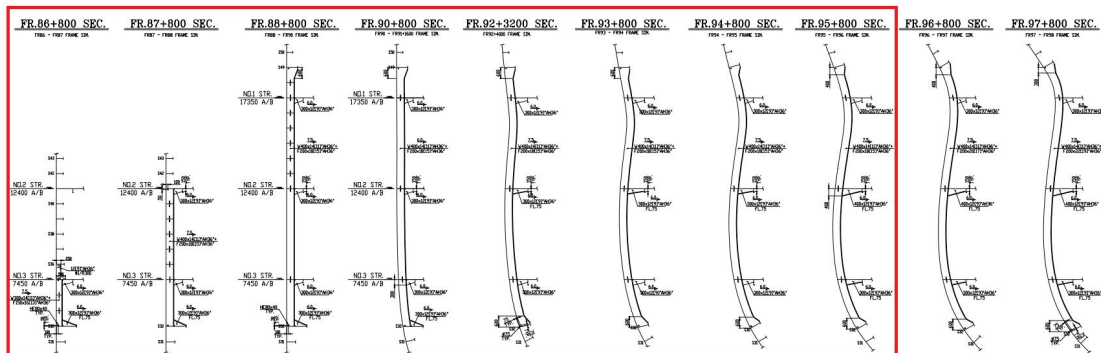
Το αριστερό μέλος των ανισώσεων προκύπτει καθαρά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ενισχυτικού, ενώ στο δεξί μέλος λαμβάνεται υπόψιν η περιοχή και τα Load Characteristics της κάθε περιοχής, μεγέθη που υπολογίστηκαν και προηγουμένως για τον υπολογισμό του πάχους των ελασμάτων.

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως νομείς που ενισχύουν το Side Shell υπάρχουν μόνο στο Bow και στο Bow Intermediate Ice Belt Region. Και στις δύο περιοχές τα μικρότερα ενισχυτικά που συναντούνται (από άποψη ύψος και πάχος κορμού και φλάντζας), είναι εκείνο πρύμνηθεν του ενισχυμένου νομέα 96. Αυτού του είδους τα ενισχυτικά καταλαμβάνουν και τις δύο περιοχές που συζητήθηκαν. Πρόκειται για ενισχυτικό τύπου T με χαρακτηριστικά κορμού W400x14 και χαρακτηριστικά φλάντζας F200x18. Τα ενισχυτικά αυτά δεν είναι συγκολλημένα κάθετα στο εξωτερικό έλασμα αλλά παρουσιάζουν γωνία, η οποία φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 42: Γωνία φω του ενισχυτικού ως προς το έλασμα που συγκολλάται

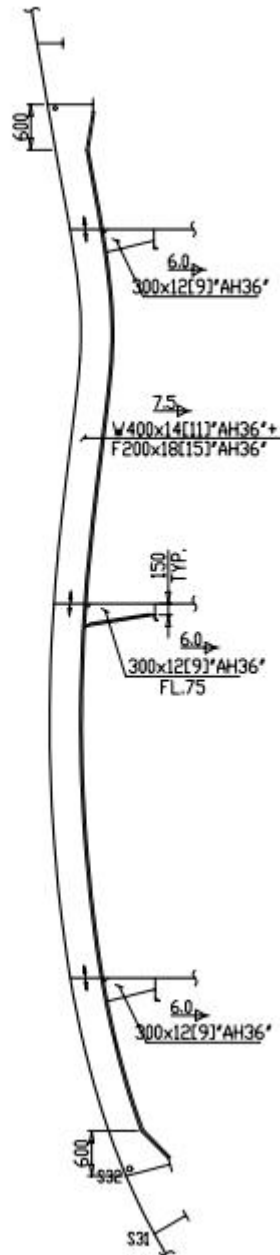
VERTICAL FRAME (FOR ICE BELT ZONE)  
FR86 ~ FR98 FRAME



Εικόνα 43: Σειτ δευτερευόντων εγκάρσιων ενισχυτικών που πρόκειται να μελετηθούν

## FR.93+800 SEC.

FR93 - FR94 FRAME SIM.

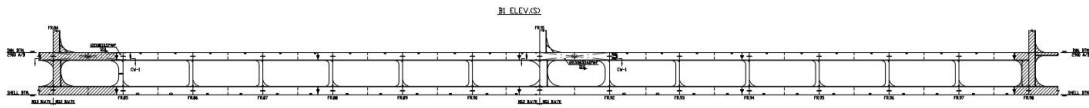


Εικόνα 44: Υπό μελέτη νομέας

Στον πυθμένα δεν υπάρχουν εγκάρσια τοπικά ενισχυτικά, αλλά μόνο διαμήκη, οι διαστάσεις των οποίων αλλάζουν κατά μήκος του πλοίου. Αφού μιλάμε για την περιοχή μόνο του Bottom θα επικεντρωθούμε στις εξής τέσσερις περιοχές όπου στην κάθε μία περιγράφεται και το μικρότερο ενισχυτικό που εντοπίστηκε μέσω του Shell Expansion:

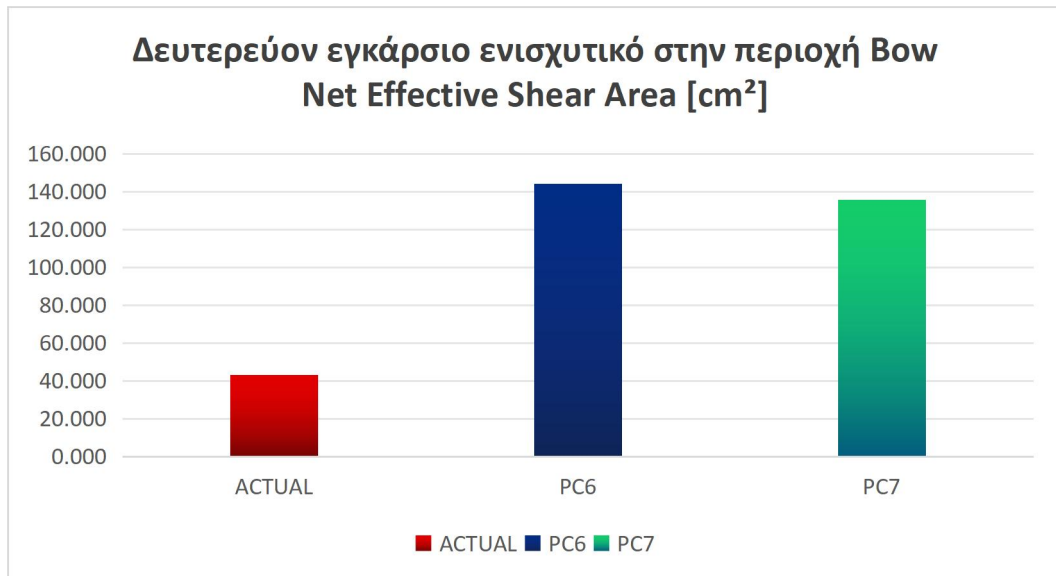
- Stern Bottom → B1: W550x12 + F150x25 (T)
- Midbody Bottom → B1: W550x12 + F150x25 (T)
- Bow Intermediate Bottom → B1: W550x12 + F150x25 (T)
- Bow Bottom → B1: W450x17 + F150x16 (T)

Παρ'ολ'αυτά, οι περιοχές του Stern Bottom και του Midbody Bottom δεν απαιτούν ενισχυμένες προδιαγραφές ενισχυτικών εξαιτίας φορτίων λόγω πάγου. Για τον λόγο αυτό θα ελεγχθούν μόνο τα διαμήκη ενισχυτικά του πυθμένα στις περιοχές του Bow Intermediate και του Bow.

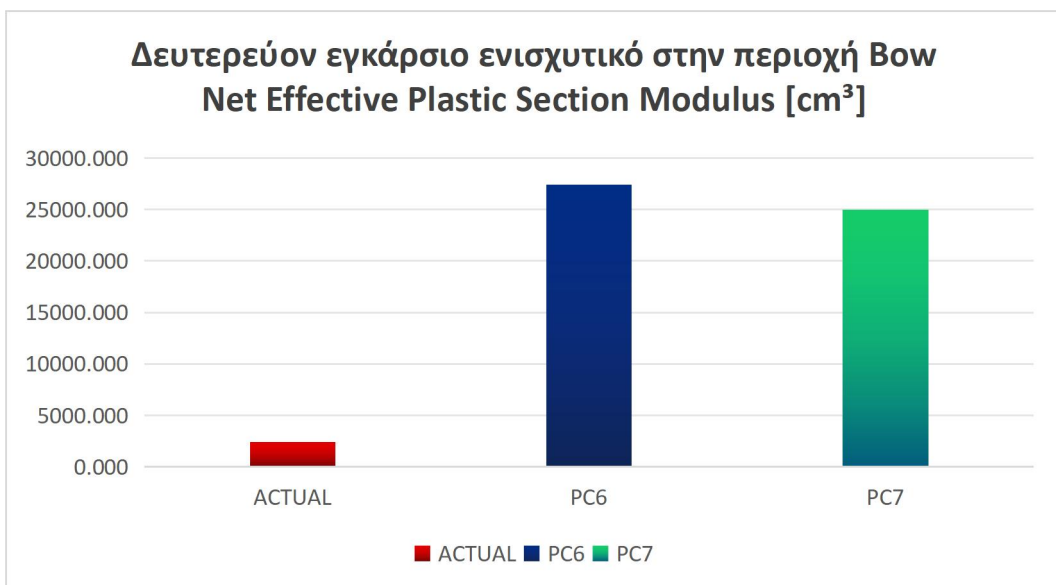


Εικόνα 45: Υπό μελέτη διάμηκες ενισχυτικό πυθμένα

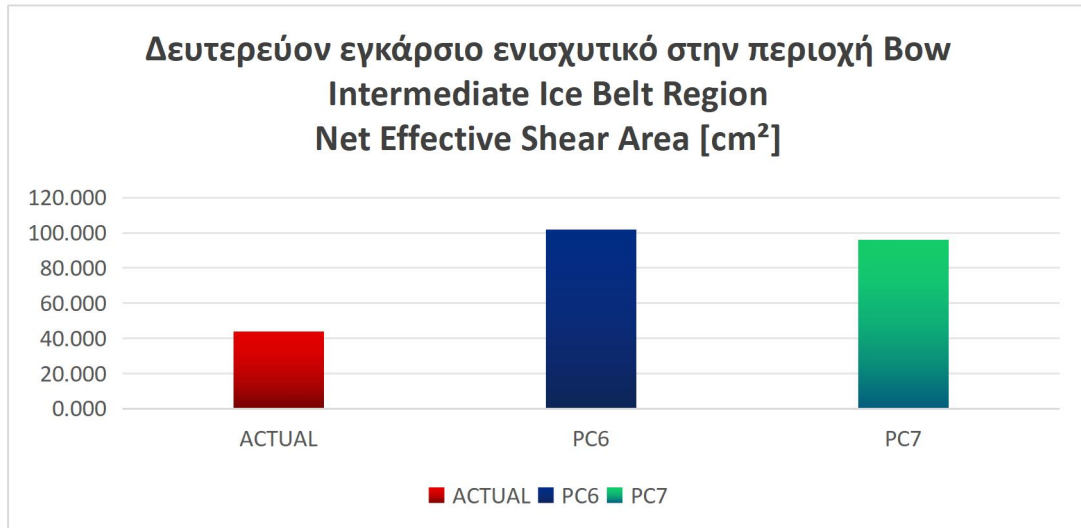
Παρακάτω παρατίθενται τα ραβδόγραμματα που μαρτυρούν την συμμόρφωση ή μη των ενισχυτικών με τα όρια που ορίζει ο Κώδικας.



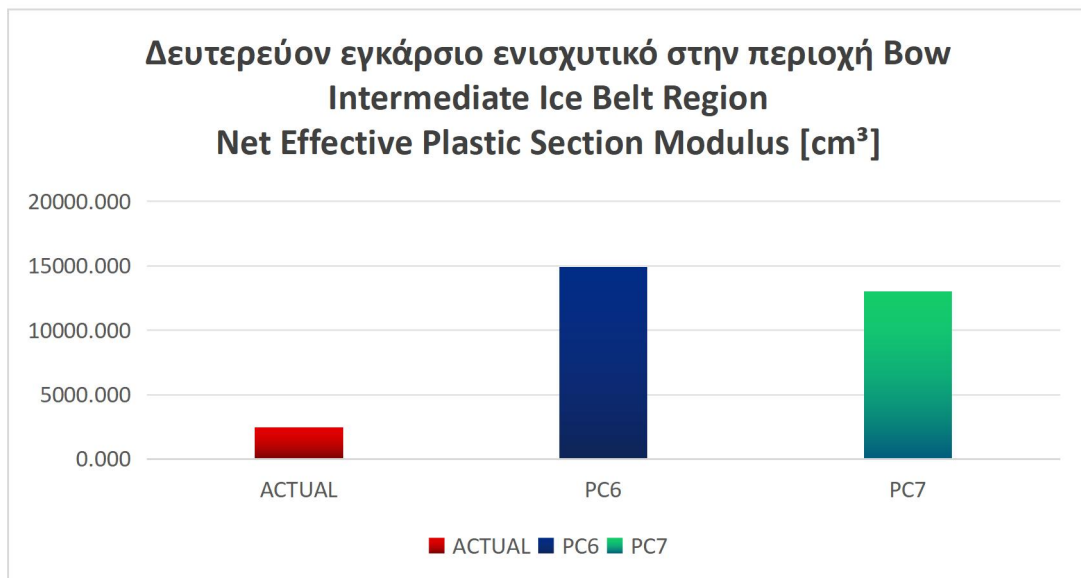
Εικόνα 46: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



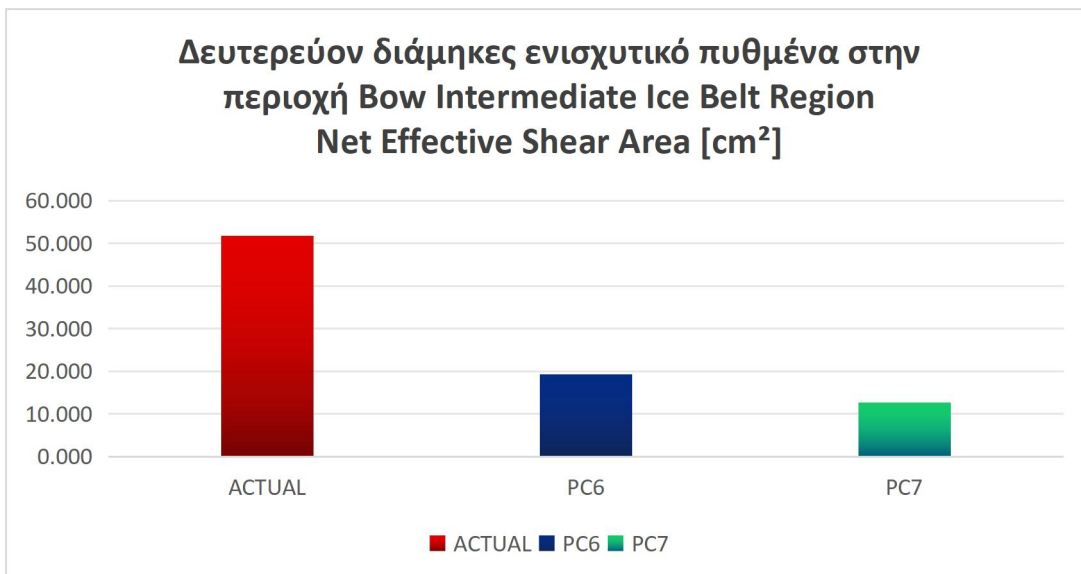
Εικόνα 47: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



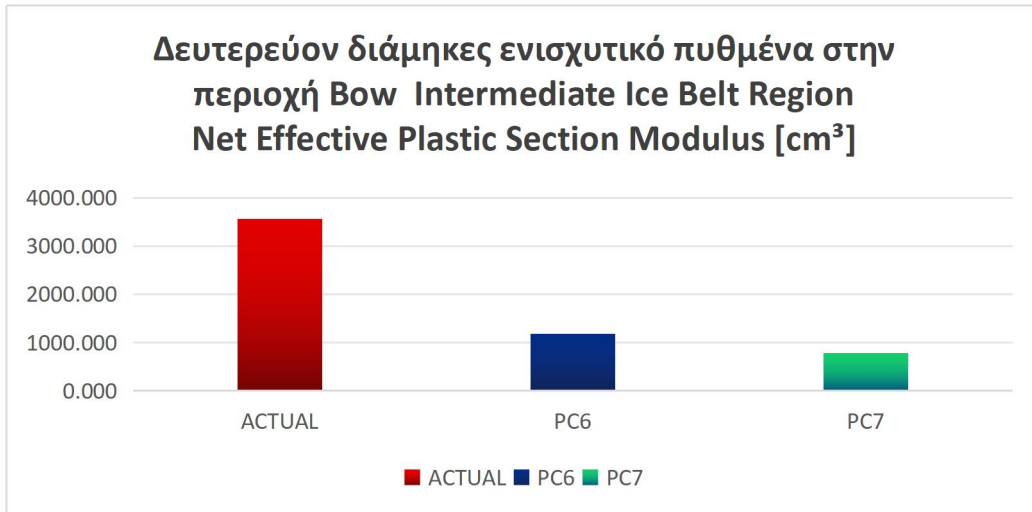
Εικόνα 48: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



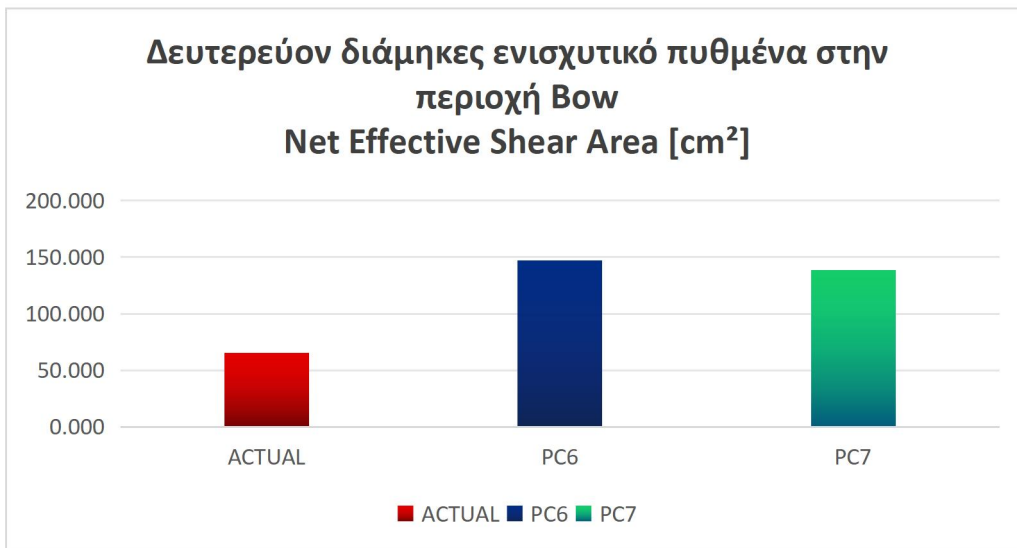
Εικόνα 49: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



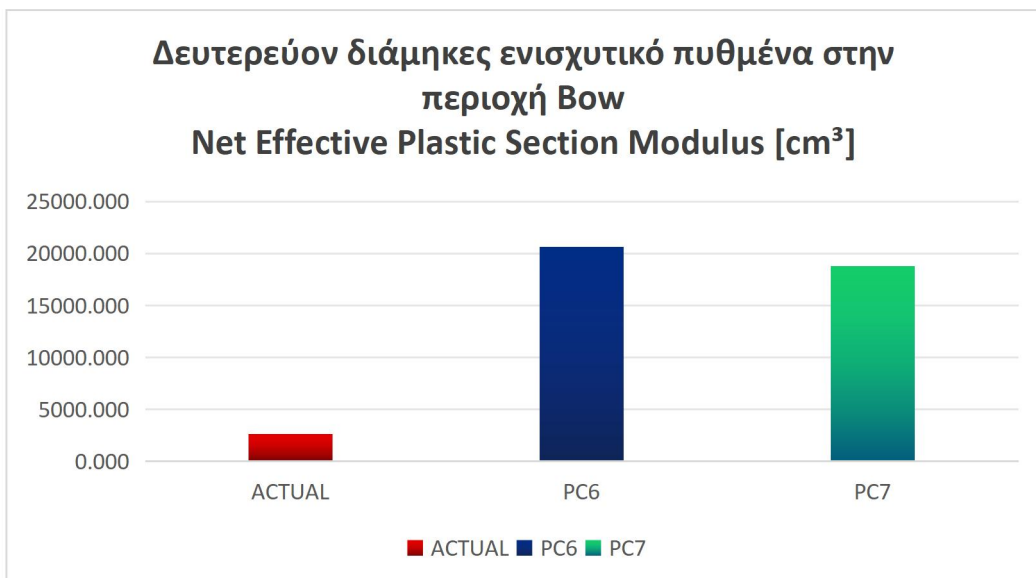
Εικόνα 50: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



Εικόνα 51: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



Εικόνα 52: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



Εικόνα 53: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού

Ενώ οι πίνακες μέσω των οποίων υπολογίσθηκαν τα επιθυμητά και τα πραγματικά μεγέθη της πλαστικής ροπής αντίστασης και της επιφάνειας διάτμησης φαίνονται παρακάτω:

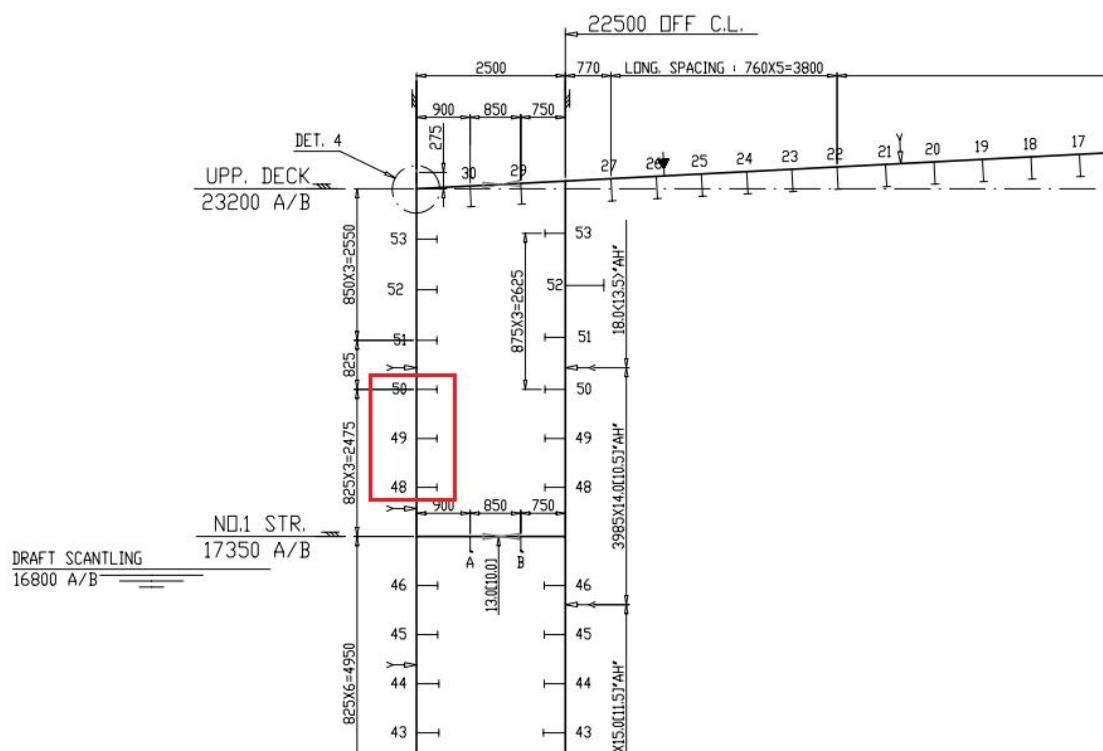
Δευτερεύοντα εγκάρσια ενισχυτικά side shell (νομείς)			Δευτερεύοντα ενισχυτικά πυθμένα	
Μεγέθη	Bow fr. 93+	Bow Inter. fr 88+	Bow Inter. B1	Bow B1
h [mm]	418,000	418,000	575,000	466,000
tw [mm]	14,000	14,000	12,000	17,000
tc [mm]	3,500	3,500	3,000	3,000
tw <sub>n</sub> [mm]	10,500	10,500	9,000	14,000
φ <sub>w</sub> [deg]	80,000	90,000	90,000	90,000
φ <sub>w</sub> [rad]	1,396	1,571	1,571	1,571
<b>A<sub>w</sub> [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>43,223</b>	<b>43,890</b>	<b>51,750</b>	<b>65,240</b>
A <sub>fn</sub> [cm <sup>2</sup> ]	36,000	36,000	37,500	24,000
h <sub>w</sub> [mm]	400,000	400,000	550,000	450,000
t <sub>pn</sub> [mm]	30,500	30,500	19,000	22,000
s [m]	0,800	0,800	0,815	0,815
z <sub>na</sub> [mm]	-	-	-	-
h <sub>fc</sub> [mm]	409,000	409,000	562,500	458,000
b <sub>w</sub> [mm]	0,000	0,000	0,000	0,000
A <sub>pn</sub> [cm <sup>2</sup> ]	92,000	92,000	103,500	100,500
<b>Z<sub>p</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>2417,569</b>	<b>2452,700</b>	<b>3568,950</b>	<b>2627,250</b>
a [m]	4,800	4,800	4,800	4,800
b [m]	1,177	2,015	1,245	1,177
LL [m]	1,177	2,015	1,245	1,177
AF	1,000	1,000	0,300	1,000
PPF <sub>t</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000
P <sub>avg</sub> [MPa]	5,569	2,299	2,299	5,569
σ <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	315,000	315,000	315,000	315,000
<b>A<sub>t</sub> [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>144,316</b>	<b>101,938</b>	<b>19,246</b>	<b>147,022</b>
Y	0,877	0,790	0,870	0,877
A <sub>1A</sub>	0,615	0,617	0,507	0,702
A <sub>1B</sub>	1,564	1,335	-1,545	1,156
A <sub>1</sub>	1,564	1,335	0,507	1,156
j	2,000	2,000	2,000	2,000
a <sub>1</sub>	1,000	1,000	0,372	1,000
k <sub>w</sub>	0,375	0,379	0,408	0,576
k <sub>z</sub>	0,000	0,000	0,015	0,021
z <sub>p</sub> [cm <sup>3</sup> ]	103,538	103,538	54,927	55,645
b <sub>f</sub> [mm]	200,000	200,000	150,000	150,000
t <sub>f</sub> [mm]	18,000	18,000	25,000	16,000
t <sub>fn</sub> [mm]	14,500	14,500	22,000	13,000
b <sub>eff</sub> [mm]	400,000	400,000	407,500	407,500
<b>Z<sub>pt</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>27422,779</b>	<b>14891,941</b>	<b>1177,055</b>	<b>20655,567</b>

Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά μεγέθη και αποτελέσματα απλών νομέων που υπολογίσθηκαν στο Excel

## 5.5: Έλεγχος διαμήκων δευτερευόντων τοπικών ενισχυτικών στο Side Shell.

SIDE SHELL	29	W550x11.5[8.5]*AH' + F150x24.0[21.0]*AH' (T)
	30~31	W485x11.5[8.5]*AH' + F150x22.0[19.0]*AH' (T)
	32(PMA)	W1100x12.0[9.0] + F150x14.0[11.0] (T)
	33~34	W450x11.5[8.5]*AH' + F130x21.0[18.0]*AH' (T)
	36	W425x11.5[8.5]*AH' + F130x19.0[16.0]*AH' (T)
	37~38	W375x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	39~40	W375x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	42~43	W375x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	44	W375x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	45	W355x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	46	W355x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	48~50	W340x11.5[8.5]*AH' + F125x20.0[17.0]*AH' (T)
	51~53	W340x12.0[8.0]*AH' + F125x20.0[16.0]*AH' (T)

Πίνακας 28: Υπό μελέτη διαμήκη δευτερεύοντα ενισχυτικά



Εικόνα 54: Υπό μελέτη διαμήκη δευτερεύοντα ενισχυτικά όπως φαίνονται στην μέση τομή

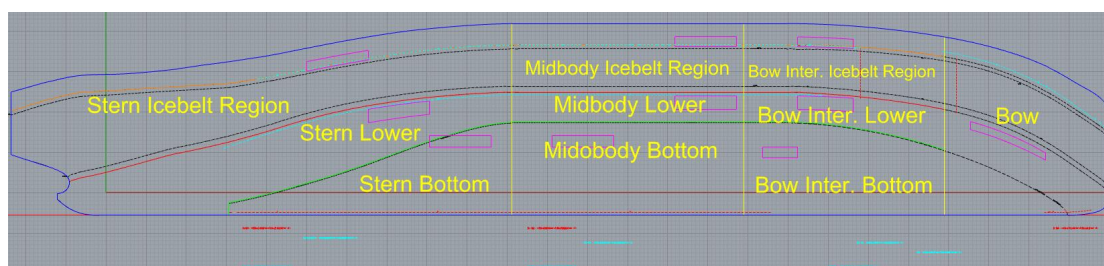
Όπως φαίνεται παραπάνω, τα ενισχυτικά νούμερο 48, 49 και 50 έχουν τις μικρότερες διαστάσεις κορμού και φλάντζας οπότε βάση της τεχνικής που χρησιμοποιήσαμε και προηγουμένως (έλεγχος του μικρότερου ενισχυτικού) θα αποτελέσουν το αντικείμενο μελέτης στο δεδομένο στάδιο της εργασίας. Παρ'όλ'αυτά, οι διαστάσεις των ενισχυτικών αυτών αλλάζουν κατά το μήκος του πλοίου. Οι διαστάσεις που θα εισάγουμε για την κάθε περιοχή που χωρίστηκε το πλοίο στο Excel θα βρεθούν από το σχέδιο του Shell Expansion. Side Longitudinals υπάρχουν, όμως, και στην περιοχή



Ice Belt αλλά και στην περιοχή Lower. Συμπερασματικά, το μικρότερο διάμηκες δευτερεύον ενισχυτικό (και διαστάσεις) της κάθε περιοχής φαίνεται παρακάτω:

- Bow → S50: W340x11,5 + F125x20 (T)
- Bow Intermediate Ice Belt Region → S48: W340x11,5 + F125x20 (T)
- Bow Intermediate Lower → S33: W450x12 + F130x25 (T)
- Midbody Ice Belt Region → S48: W340x11,5 + F125x20 (T)
- Midbody Lower → S33: W450x11,5 + F130x21 (T)
- Stern Ice Belt Region → S48: W340x11,5 + F125x20 (T)
- Stern Lower → S33: W450x12 + F130x22 (T)

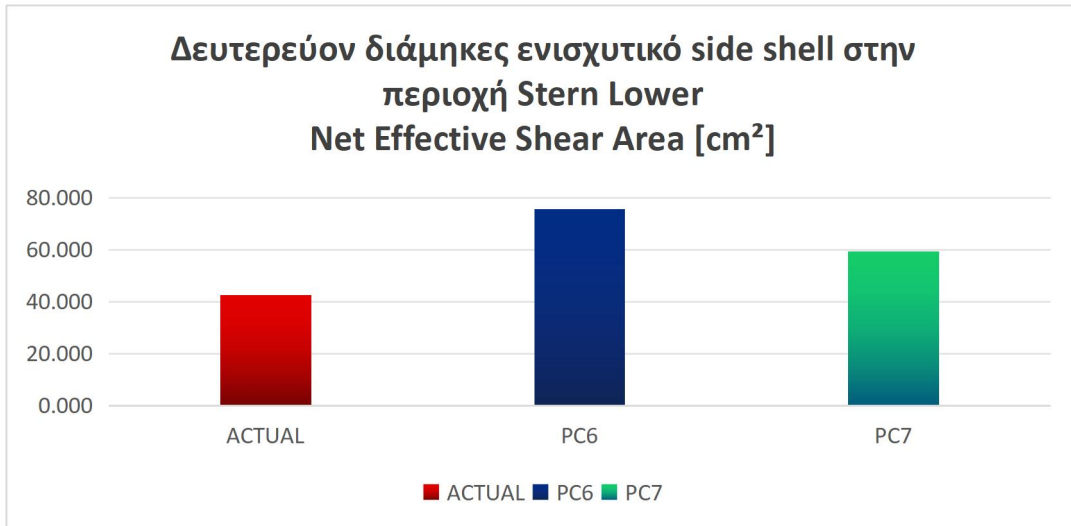
Παρακάτω παρατίθενται το σχέδιο του Shell Expansion χωρισμένο στις περιοχές που ορίζει ο Πολικός Κώδικας. Σε κάθε περιοχή φαίνονται τα υπό μελέτη δευτερεύοντα ενισχυτικά καθώς και τα ελάσματα.



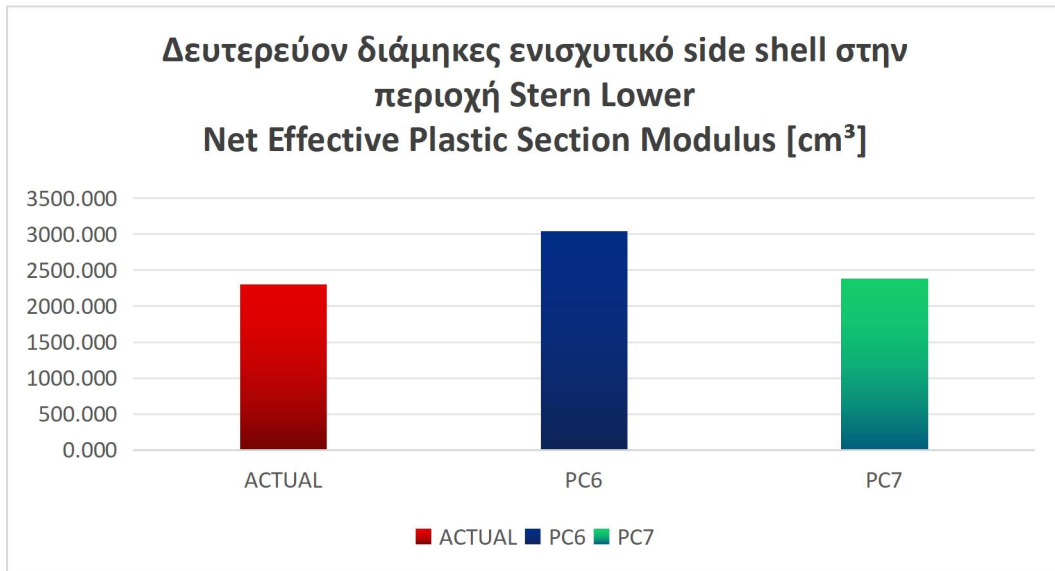
Εικόνα 55: Υπό μελέτη δευτερεύοντα ενισχυτικά όπως φαίνονται στο σχέδιο του Shell Expansion

Με μοβ φαίνονται τα ελάσματα, με κυανή τα δευτερεύοντα διαμήκη ενισχυτικά του side shell, ενώ με κόκκινο φαίνονται τα δευτερεύοντα διαμήκη ενισχυτικά του πυθμένα και οι νομείς.

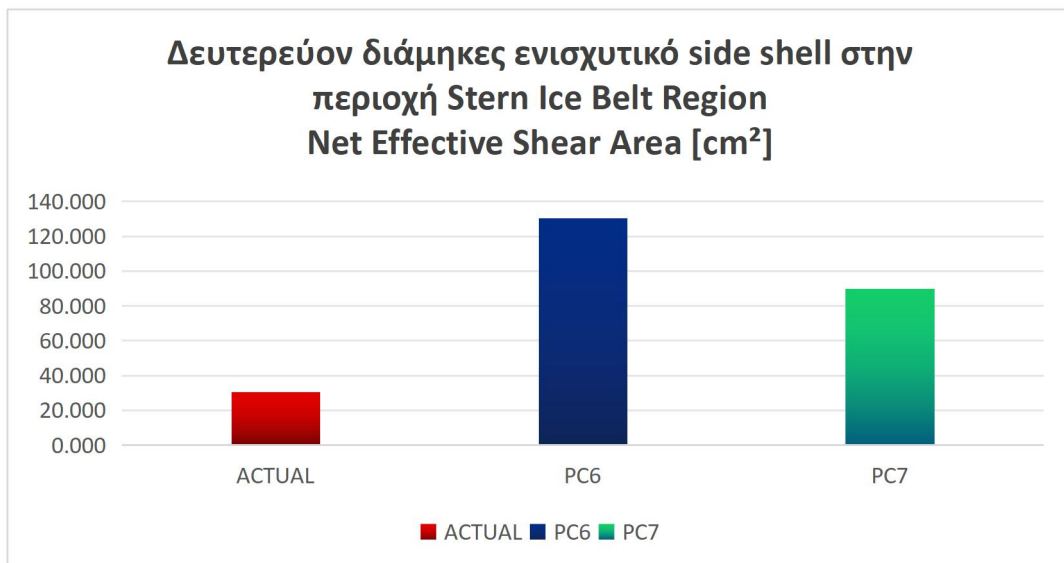
Μέσω του Excel θα πραγματοποιηθούν όλοι οι υπολογισμοί της επιφάνειας διάτμησης και της πλαστικής ροπής αντίστασης, της επιτρεπόμενης και της πραγματικής και θα εξεταστεί εάν τα ενισχυτικά συμμορφώνονται έστω με τις Πολικές Κατηγορίες PC6 και PC7. Τα αποτελέσματα θα αποτυπωθούν παρακάτω με την μορφή ραβδογραμμάτων.



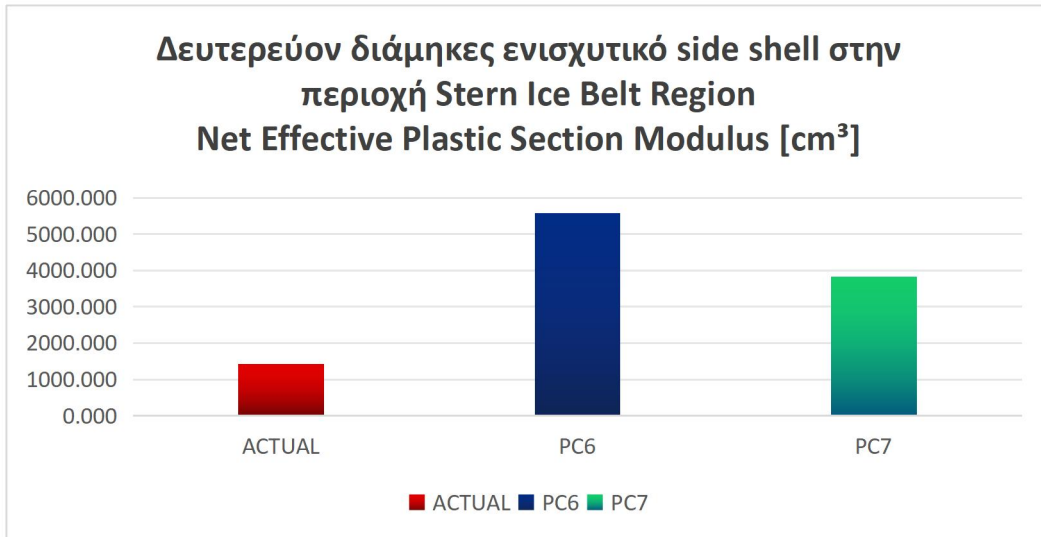
Εικόνα 56: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



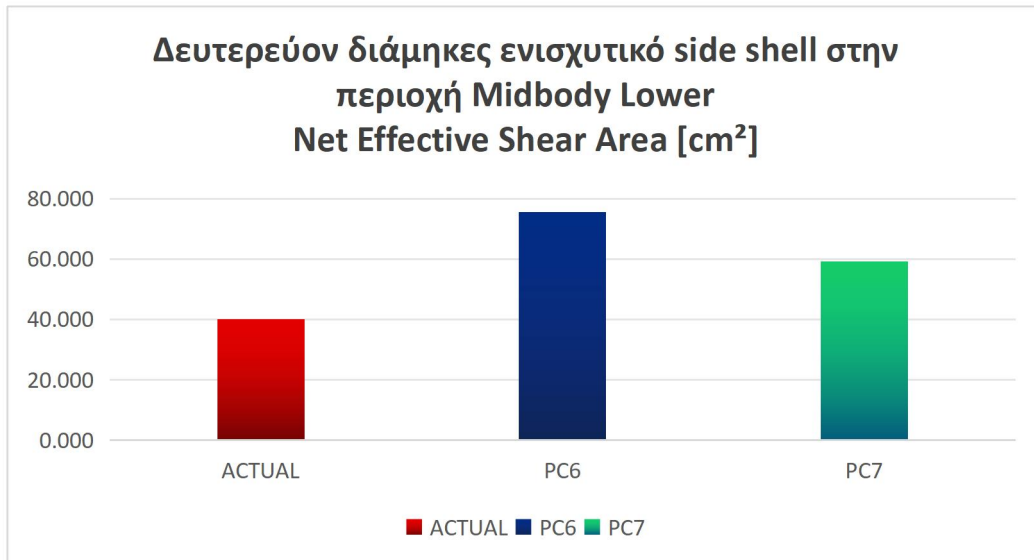
Εικόνα 57: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



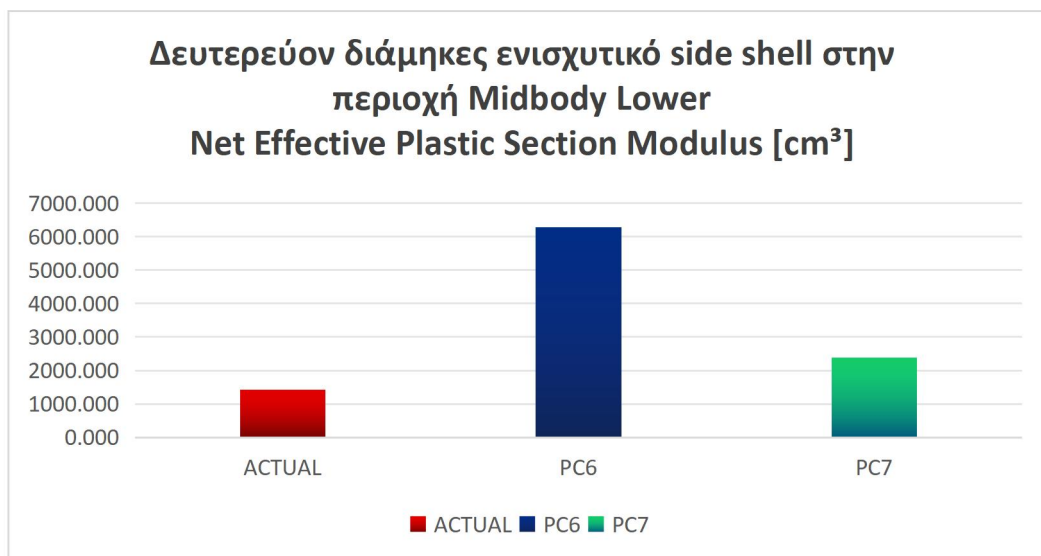
Εικόνα 58: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



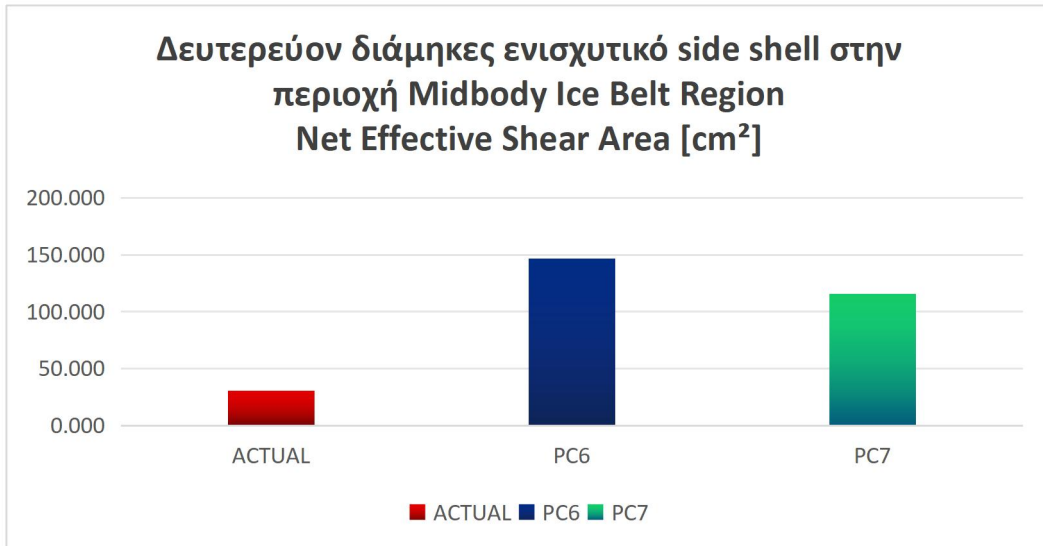
Εικόνα 59: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



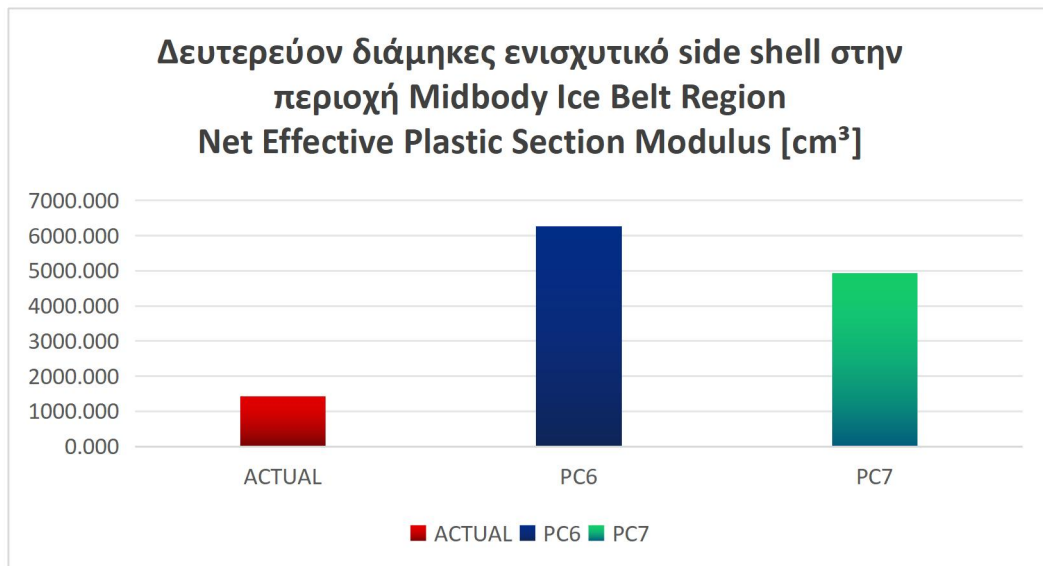
Εικόνα 60: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



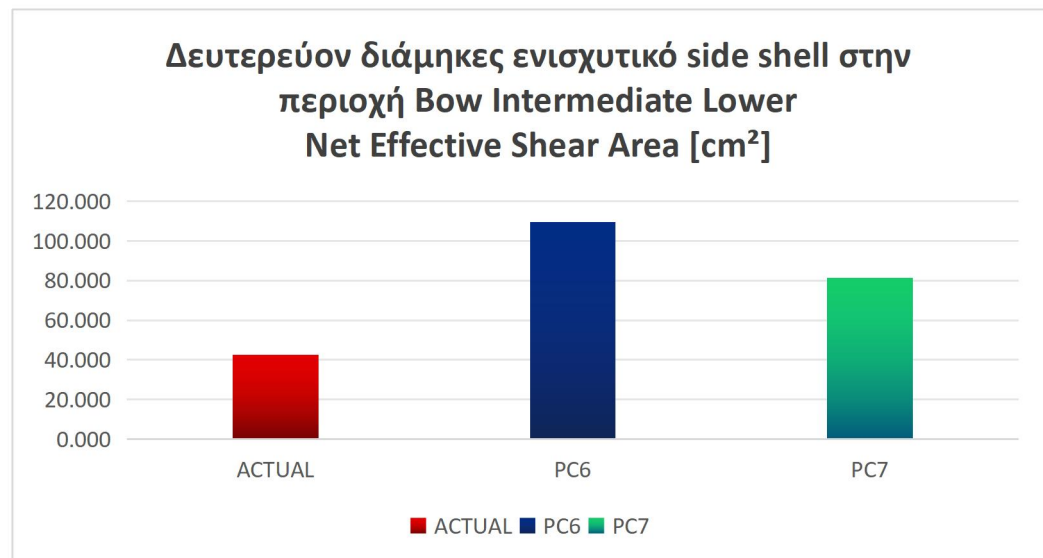
Εικόνα 61: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



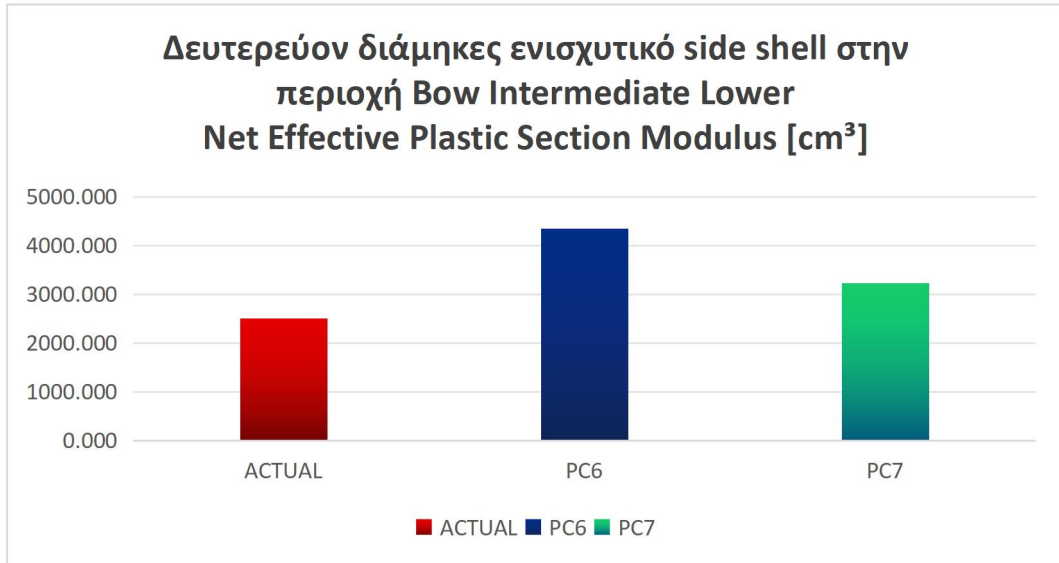
Εικόνα 62: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



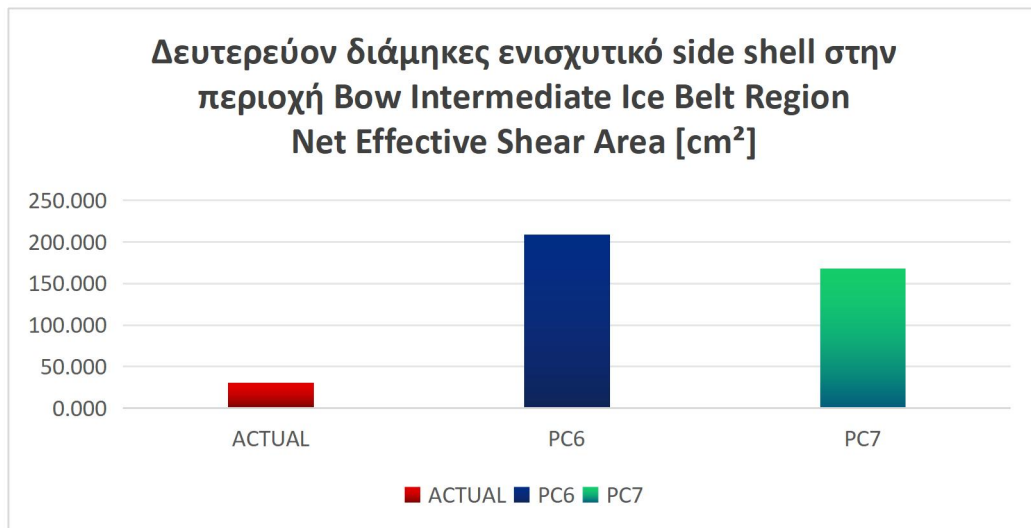
Εικόνα 63: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



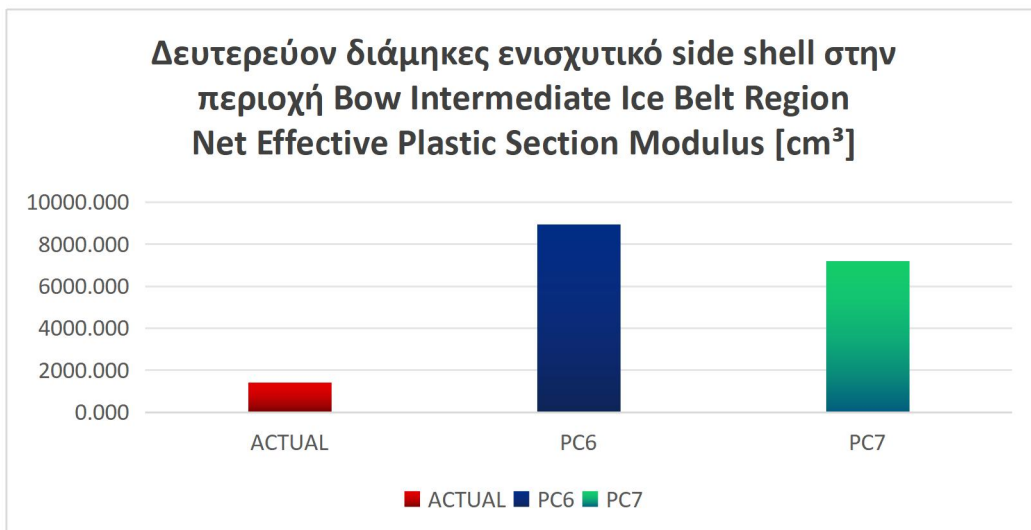
Εικόνα 64: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



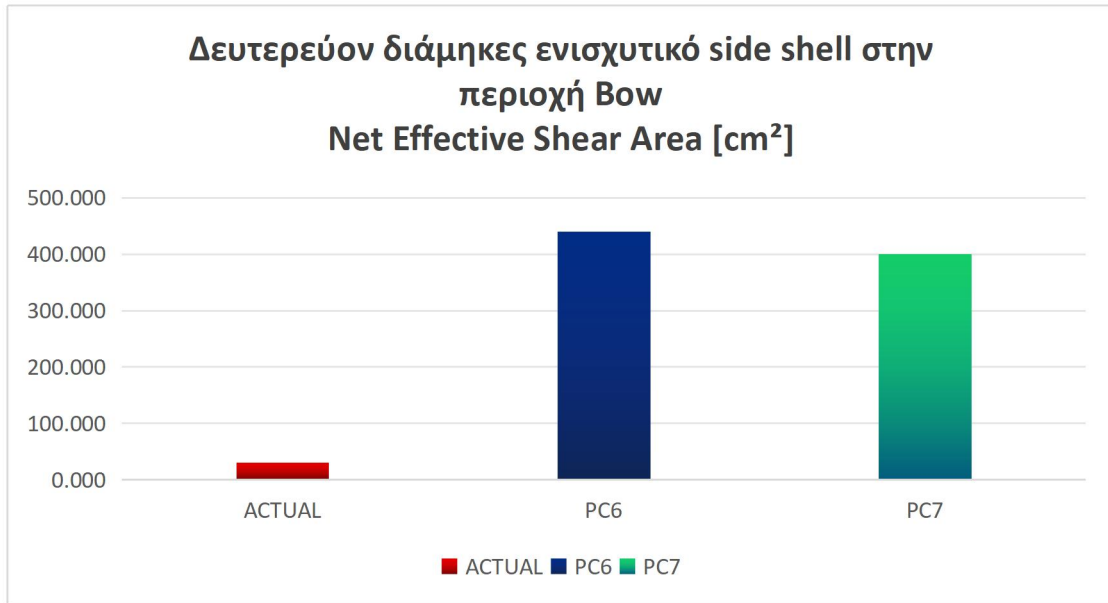
Εικόνα 65: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



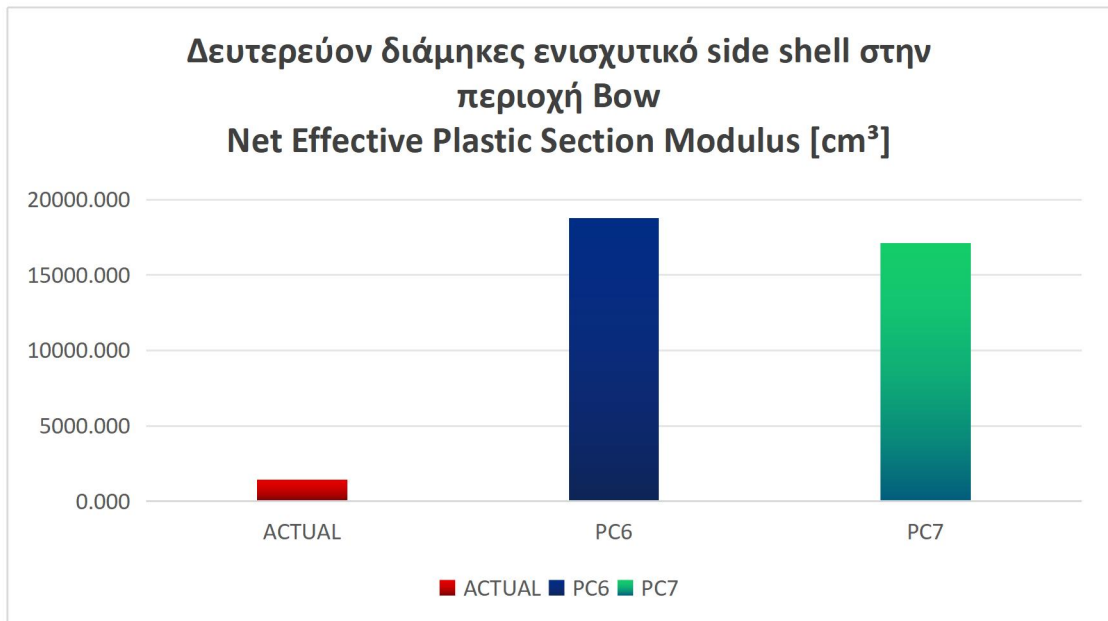
Εικόνα 66: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφάνειας διάτμησης ενισχυτικού



Εικόνα 67: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού



Εικόνα 68: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης επιφανείας διάτμησης ενισχυτικού



Εικόνα 69: Ραβδόγραμμα απεικόνισης ελάχιστης πλαστικής ροπής αντίστασης ενισχυτικού

Ενώ οι πίνακες μέσω των οποίων υπολογίσθηκαν τα επιθυμητά και τα πραγματικά μεγέθη της πλαστικής ροπής αντίστασης και της επιφανείας διάτμησης των δευτερευόντων διαμήκων ενισχυτικών της πλευρικής γάστρας φαίνονται παρακάτω:

Δευτερεύοντα διαμήκη ενισχυτικά side shell (side longitudinals)							
Μεγέθη	Stern Lower S33	Stern Ice Belt S48	Midbody Lower S33	Midbody Ice Belt S48	Bow Inter. Lower S33	Bow Inter. Ice Belt S48	Bow S50
h [mm]	472,000	360,000	471,000	360,000	475,000	360,000	360,000
t <sub>w</sub> [mm]	12,000	11,500	11,500	11,500	12,000	11,500	11,500
t <sub>c</sub> [mm]	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
t <sub>wn</sub> [mm]	9,000	8,500	8,500	8,500	9,000	8,500	8,500
φ <sub>w</sub> [deg]	90,000	90,000	90,000	90,000	90,000	90,000	90,000
φ <sub>w</sub> [rad]	1,571	1,571	1,571	1,571	1,571	1,571	1,571
A <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> ]	42,480	30,600	40,035	30,600	42,750	30,600	30,600
A <sub>fn</sub> [cm <sup>2</sup> ]	28,600	25,000	27,300	25,000	32,500	25,000	25,000
h <sub>w</sub> [mm]	450,000	340,000	450,000	340,000	450,000	340,000	340,000
t <sub>pn</sub> [mm]	18,000	17,000	19,000	17,000	19,000	17,000	17,000
s [m]	0,850	0,825	0,850	0,825	0,850	0,825	0,825
z <sub>na</sub> [mm]	-	-	-	-	-	-	-
h <sub>fc</sub> [mm]	461,000	350,000	460,500	350,000	462,500	350,000	350,000
b <sub>w</sub> [mm]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A <sub>pn</sub> [cm <sup>2</sup> ]	82,600	64,100	79,050	64,100	86,500	64,100	64,100
Z <sub>p</sub> [cm <sup>3</sup> ]	2304,050	1420,785	2192,888	1420,785	2496,550	1420,785	1420,785
a [m]	4,400	4,800	4,400	4,800	4,400	4,800	4,800
b [m]	1,245	1,245	1,245	1,245	2,015	2,015	1,177
b'	1,464	1,509	1,464	1,509	2,371	2,442	1,427
b <sub>2</sub> [m]	0,789	0,775	0,789	0,775	0,821	0,785	0,757
k <sub>o</sub>	0,795	0,801	0,795	0,801	0,873	0,877	0,790
b <sub>1</sub>	0,627	0,621	0,627	0,621	0,717	0,688	0,598
AF	0,250	0,400	0,250	0,450	0,550	1,000	1,000
PPFs	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
P <sub>avg</sub> [MPa]	3,980	3,980	3,980	3,980	2,299	2,299	5,569
σ <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	315,000	315,000	315,000	315,000	315,000	315,000	315,000
S <sub>w</sub> [m]	4,400	4,800	4,400	4,800	4,400	4,800	4,800
0,5*w	2,241	2,241	2,241	2,241	1,030	1,030	1,030
A <sub>l</sub> [cm <sup>2</sup> ]	75,561	130,562	75,561	146,882	109,719	208,917	439,872
a <sub>4</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
k <sub>wi</sub>	0,426	0,380	0,423	0,380	0,397	0,380	0,380
A <sub>4</sub>	0,635	0,617	0,634	0,617	0,624	0,617	0,617
Z <sub>pl</sub> [cm <sup>3</sup> ]	3047,230	5579,100	3041,207	6276,487	4343,592	8927,339	18796,421

Πίνακας 29: Χαρακτηριστικά μεγέθη και αποτελέσματα των side longitudinals που υπολογίσθηκαν στο Excel

## 5.6: Έλεγχος έναντι λυγισμού

### 5.6.1: Δευτερεύοντα ενισχυτικά

Όλα τα δευτερεύοντα ενισχυτικά που εξετάστηκαν θα πρέπει να εκτιμηθεί εάν είναι επιρρεπή σε λυγισμό και συμμορφώνονται με τα όρια που επιβάλλει ο Πολικός Κώδικας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τα δευτερεύοντα ενισχυτικά θα πρέπει να ισχύουν κάποιες ανισώσεις που αναφέρονται στην αποφυγή του λυγισμού των ελασμάτων του κορμού και της φλάντζας και είναι οι εξής:

1) Ο λόγος ύψους το web ( $h_w$ ) προς το καθαρό πάχος του ( $t_{wn}$ ) θα πρέπει:

$$\text{Για flat bar:} \quad h_w / t_{wn} \leq 282 / (\sigma_y)^{0,5}$$

$$\text{Για bulb, tee και γωνιές:} \quad h_w / t_{wn} \leq 805 / (\sigma_y)^{0,5}$$

Όπου  $h_w$  = το ύψος του web

$t_{wn}$  = το καθαρό πάχος του web

Επιπρόσθετα, για να αποφευχθεί ο τοπικός λυγισμός της φλάντζας των συγκολλημένων προφίλ, πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα:

2) Το πλάτος της φλάντζας  $b_f$  θα πρέπει να είναι πέντε (5) φορές μεγαλύτερο από το καθαρό πάχος του web.

3) Για το πλάτος της φλάντζας  $b_{out}$  θα πρέπει να ισχύει:

$$b_{out} / t_{fn} \leq 155 / (\sigma_y)^{0,5}$$

όπου  $t_{fn}$  = το καθαρό πάχος της φλάντζας [mm]

Αφού οι σχέσεις περιλαμβάνουν μόνο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ενισχυτικού, τα ενισχυτικά που επαναλαμβάνονται δεν θα εξετασθούν. Όλα τα ενισχυτικά είναι μορφής T και αυτά που τελικά θα εξετασθούν είναι τα παρακάτω:

- FR93 + 800: W400x14 + F200x18
- B1: W550x12 + F150x25 (T)
- B1: W450x17 + F150x16 (T)
- S50: W340x11,5 + F125x20 (T)
- S33: W450x12 + F130x25 (T)
- S33: W450x11,5 + F130x21 (T)
- S33: W450x12 + F130x22 (T)

Παρόλο που τα ενισχυτικά B1 και S33 επαναλαμβάνονται οι διαστάσεις των ελασμάτων του κορμού και της φλάντζας φαίνεται ότι αλλάζουν κατά το μήκος του πλοίου.



## 5.6.2: Stringers και Web Frames

Τα ενισχυτικά που δεν μπορούν για πρακτικούς λόγους να ικανοποιήσουν τους παραπάνω περιορισμούς (όπως τα stringers και τα deep web frames) θα πρέπει να έχουν τα web τους ειδικά ενισχυμένα. Το ελάχιστο πάχος του web περιγράφεται παρακάτω:

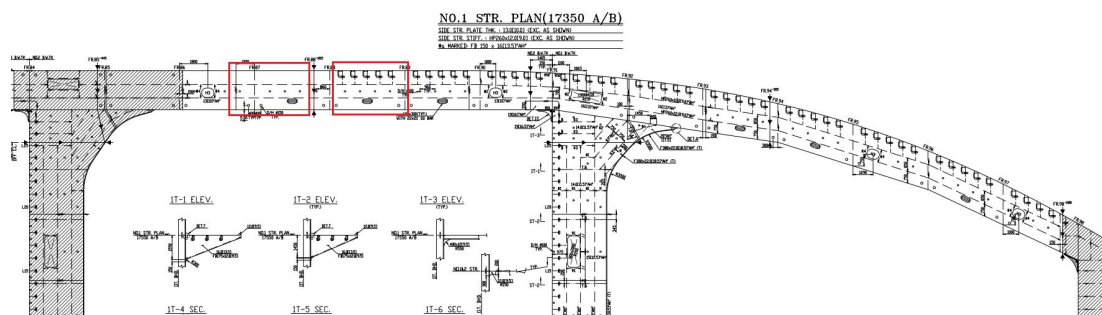
$$t_{wn} = 2,63 * 10^{-3} * c_1 * (\sigma_y / 5,34 + 4 * (c_1 / c_2)^2)^{0,5} \text{ [mm]}$$

Ενώ θα πρέπει ταυτόχρονα να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$t_{wn} \geq 0,35 * t_{pn} * (\sigma_y / 235)^{0,5}$$

όπου  $t_{pn}$  = το καθαρό πάχος του ελάσματος [mm]

Και τα τρία (3) stringers που διαθέτει το πλοίο έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά συνεπώς οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν μόνο για ένα από τρία, ας επιλέξουμε το Stringer No.1. Πιο συγκεκριμένα θα εξετασθεί το παραπάνω κριτήριο στην περιοχή του Side Stringer σε δύο διαφορετικά κατά το μήκος σημεία. Το πρώτο θα είναι στο παράλληλο τμήμα όπου δεν υπάρχουν εγκάρσια δευτερεύοντα ενισχυτικά και το δεύτερο θα είναι στην περιοχή της πλώρης, η οποία είναι ενισχυμένη με απλούς νομείς. Οι περιοχές αυτές φαίνονται παρακάτω:



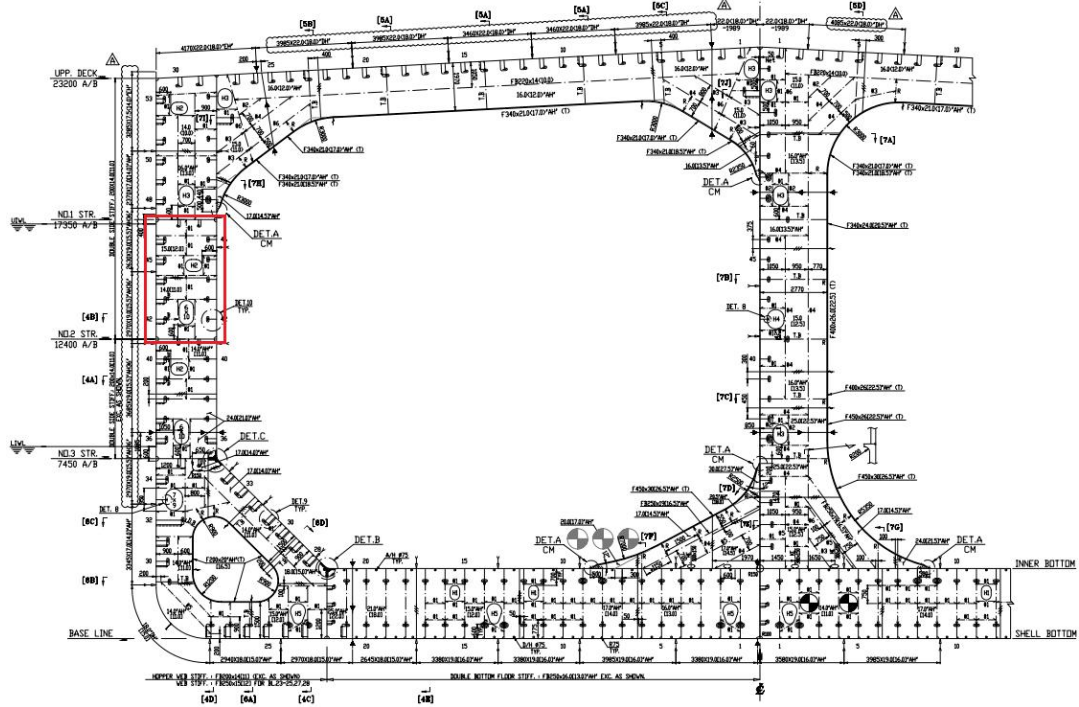
Εικόνα 70: Περιοχές του Stringer No. 1 που θα ελεγχθούν έναντι λυγισμού

Ενώ για λυγισμό web frame θα επιλέξουμε το Midship Section και τον ακροπρωραίο ενισχυμένο νομέα, πιο συγκεκριμένα στις παρακάτω περιοχές:

### TYPICAL WEB SECTION

FLOOR & TRANSV. WEB SPACING : 4800 MM

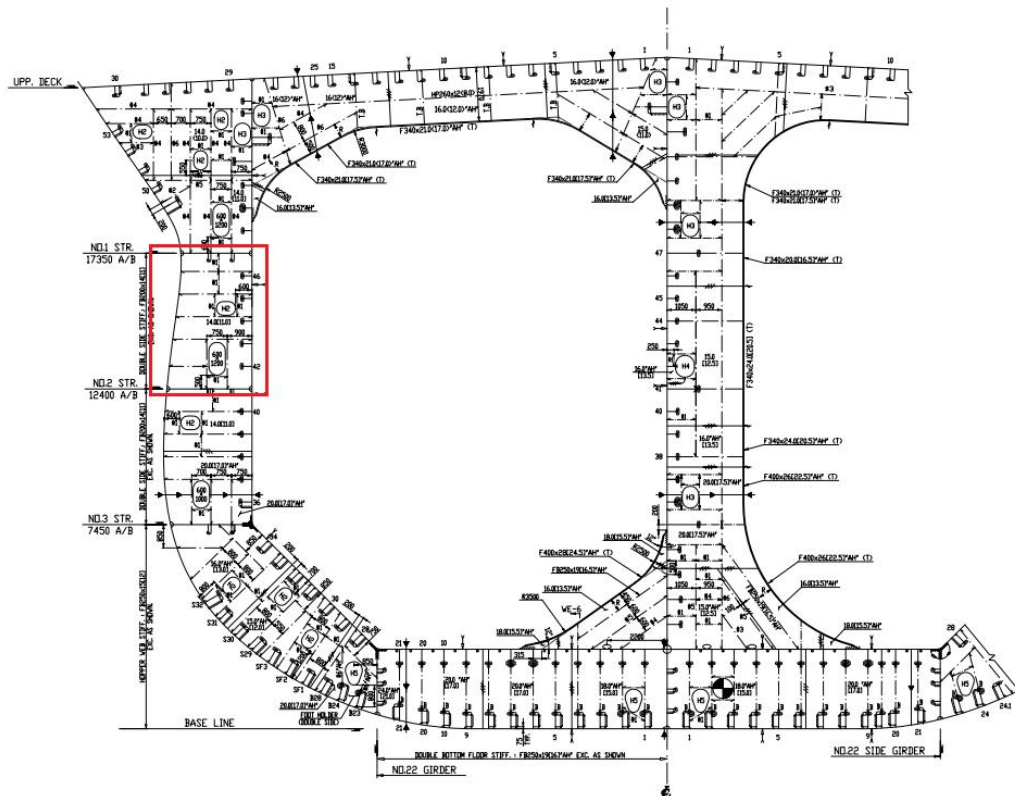
MARK " \* " : MEANS NO SCALLOP



Εικόνα 71: Περιοχές του Midship Section που θα ελεγχθούν έναντι λυγισμού

### FR.97 SECTION

SIM TO TYP. WEB SECTION (EXC. AS SHOWN)



Εικόνα 72: Περιοχές του ακροπρωραίου ενισχυμένου νομέα που θα ελεγχθούν έναντι λυγισμού

Όπως φαίνεται από τους παρακάτω πίνακες τα σημεία των stringers και των ενισχυμένων νομέων δεν είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Το αντίθετο ισχύει για τα δευτερεύοντα ενισχυτικά που επιλέχθηκαν για εξέταση τα οποία είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια που ορίζουν οι κανονισμοί έναντι λυγισμού.

ΛΥΓΙΣΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ								
		Bow fr. 93+	Bow Inter. B1	Bow B1	Stern Lower S33	Stern Ice Belt S48	Midbody Lower S33	Bow Inter. Lower S33
1ο Κριτήριο	$h_w/t_w < 805/(\sigma_v^{0,5})$	28,571	44,833	26,471	37,500	29,565	39,130	29,565
		45,357	45,357	45,357	45,357	45,357	45,357	45,357
2ο Κριτήριο	$br [mm] > 5*t_w$	200,000	150,000	150,000	130,000	125,000	130,000	125,000
		70,000	60,000	85,000	60,000	57,500	57,500	57,500
	$b_{out} [mm]$	93,000	69,000	66,500	59,000	56,750	59,250	56,750
3ο Κριτήριο	$b_{out}/t_h < 155/(\sigma_v^{0,5})$	6,414	3,136	5,115	2,682	2,838	2,821	2,838
		8,733	8,733	8,733	8,733	8,733	8,733	8,733

Πίνακας 30: Χαρακτηριστικά μεγέθη και αποτελέσματα έναντι λυγίσης ενισχυτικών που μελετήθηκαν που υπολογίσθηκαν στο Excel

WEBS ΚΑΙ STRINGERS					
	Μεγέθη	Stringer No. 1 (παράλληλο τμήμα)	Stringer No. 1 (περιοχή Bow)	Midship Section	Frame 97
	$h_w [mm]$	2500,000	2500,000	2500,000	3000,000
	$h [mm]$	418,000	0,000	375,000	0,000
	$c_1 [mm]$	2165,600	2500,000	2200,000	3000,000
	$c_2 [mm]$	4800,000	4800,000	4950,000	4950,000
	$\sigma_v [N/mm^2]$	315,000	315,000	315,000	315,000
	$t_{pn} [mm]$	30,500	30,500	19,000	31,000
Περιορισμός	$t_{wn} [mm] > 0,35*t_{pn}*(\sigma_v/235)^{0,5}$	40,748	46,038	41,476	53,664
		12,359	12,359	7,699	12,562
	$t_{req} [mm]$	40,748	46,038	41,476	53,664
	$t_{act} [mm]$	13,000	13,000	15,000	14,000

Πίνακας 31: Χαρακτηριστικά μεγέθη και αποτελέσματα έναντι λυγίσης των web frames και των load carrying stringers που υπολογίσθηκαν στο Excel

## Συμπεράσματα

Όπως παρατηρήθηκε από τα ραβδογράμματα, τα ελάσματα καθώς και τα ενισχυτικά στοιχεία δεν συμμορφώνονται με καμία Πολική Κατηγορία. Στο δεδομένο πλοίο του έχει αποδοθεί σύμφωνα με τον Φινλανδικό - Σουηδικό Νηογνώμονα (Finish - Swedish Ice Class Rules) η Ice Class IC. Εύλογο συμπέρασμα είναι, ότι όλες οι Πολικές Κατηγορίες (ακόμη και οι πιο ελαστικές PC6 και PC7) που έχουν προκύψει από τον Κώδικα που προηγήθηκε εκτενέστερα παραπάνω, περιέχουν πολύ αυστηρότερα όρια από εκείνα του Νηογνώμονα. Προφανώς το υπό μελέτη πλοίο δεν έχει σχεδιασθεί να πλέει σε τόσο δυσμενή πολικά ύδατα, όπως εκείνα που ορίζουν οι αντίστοιχες Πολικές Κατηγορίες. Αυτό το γεγονός μαρτυρά και ο σχεδιασμός της πλώρης και γενικά του πλοίου καθώς και ο σχεδιασμός της κύριας προωστήριας εγκατάστασης. Τα πλοία που εκτελούν πλόες στον Αρκτικό και Ανταρκτικό Ωκεανό αποφεύγουν τις κάθετες πλώρες και πλευρές. Ενώ ταυτόχρονα προτιμούνται οξείες γωνίες ισάλου πύραθεν γεγονός που απουσιάζει από το δεδομένο πλοίο του οποίου η πλώρη έχει σχεδόν μορφή sroon. Όσον αφορά την προωστήρια εγκατάσταση τα πλοία που ταξιδεύουν κοντά στους Πόλους της Γης συνηθίζουν να διαθέτουν αζιμουθιακού τύπου έλικες, σχεδιασμός που εκλείπει. Μία μετασκευή για την απόκτηση Πολικής Κατηγορίας σύμφωνα με τον IACS θα συμπεριλάμβανε την αντικατάσταση όλων των ελασμάτων και ενισχυτικών του πλοίου, πράγμα απίστευτα κοστοβόρο και αντιοικονομικό.

## Προτάσεις

Ο έλεγχος περί συμμόρφωσης των ελασμάτων και των ενισχυτικών πραγματοποιήθηκε με ικανοποιητική ακρίβεια. Ωστόσο τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των κανονισμών των περιγραφικών απαιτήσεων του IACS και εκείνων του υπεύθυνου για την επιθεώρηση του πλοίου Νηογνώμονα (Finnish - Swedish Ice Class Rules). Μία αξιόλογη εργασία θα ήταν η σύγκριση των κανονισμών του IACS και του Φινλανδικού - Σουηδικού Νηογνώμονα και η αποτίμηση του ευνοϊκότερου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν συμπεριλήφθηκαν οι περιγραφικές απαιτήσεις που αφορούν τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις (UR I3), όπως η προωστήρια εγκατάσταση (ισχύς κύριας μηχανής) καθώς και η αντοχή των πτερυγίων της έλικας. Μία μελέτη που αξίζει να πραγματοποιηθεί.

Αξιόλογος κόπος θα ήταν να πραγματοποιηθεί ενδελεχής έλεγχος της ποιότητας των χαλύβων (Steel Grades) που χρησιμοποιούνται στα ελάσματα και τα ενισχυτικά. Αυτό είναι απαραίτητο, διότι παρόλο που εάν τα πάχη των κατασκευαστικών στοιχείων ήταν τα επιθυμητά, διαφορά στην ποιότητα του χάλυβα θα οδηγούσε και πάλι στην αντικατάσταση του ελάσματος ή/και του ενισχυτικού. Το ίδιο ισχύει και για την κατηγορία των υλικών (Material Classes) που χρησιμοποιήθηκαν.

Αξιόλογο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της αντοχής των κατασκευαστικών στοιχείων που απαρτίζουν το πλοίο μέσω της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method Analysis).

## Βιβλιογραφία

1. Ethan Wong, (2024). *The Future of the Northern Sea Route - A “Golden Waterway” or a Niche Trade Route*. <https://www.thearcticinstitute.org/future-northern-sea-route-golden-waterway-niche/>
2. Young Voices, (2023). *The Northern Sea Route: A gamechanger or a road to hegemony?*. <https://www.orfonline.org/expert-speak/the-northern-sea-route>
3. Swathi Satish, (2024). *Northern Sea Route*. <https://www.clearias.com/northern-sea-route/>
4. IMO, (2019). *Shipping in polar waters*. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Polar-default.aspx>
5. IMO, (2019). *International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code)*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/polar-code.aspx>
6. DNC GL, (2017). *IMO Polar Code*. <https://www.dnv.com/maritime/polar/>
7. IMO, (2015). *MEPC.264(68), POLAR CODE*. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.264\(68\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.264(68).pdf)
8. IACS, (2024). *Requirements concerning POLAR CLASS*. <https://iacs.org.uk/resolutions/unified-requirements/ur-i>