



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

«Μελέτη Κόπωσης σε πλοίο Bulk Carrier, βάσει των Common Structural Rules,»

Διπλωματική Εργασία

Όνοματεπώνυμο :	Τζιώρας Δημήτριος
Επιβλέπων Καθηγητής :	Ε. Σ. Σαμουηλίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π
Εξεταστική Επιτροπή :	Κ. Ανυφαντής, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π Ν. Βεντικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Καταρχάς τα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ε. Σαμουηλίδη για την εξαιρετική συνεργασία και την ευκαιρία που μου έδωσε για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας υπό την καθοδήγηση του.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην ακρόαση και αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας.

Για την ουσιαστική τους βοήθεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Βαλιδάκη και τον υποψήφιο διδάκτορα Σταμάτη Φανουργάκη, οι οποίοι υπέδειξαν εξαιρετική υπομονή αλλά και θέληση να με βοηθήσουν να ολοκληρώσω την διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους και συγκεκριμένα τον πατέρα μου Βασίλη, την μητέρα μου Ελένη και την αδερφή μου Ευαγγελία, για την υπομονή, την υποστήριξη και τις θυσίες που έκαναν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Πίνακας Περιεχομένων	4
Περίληψη/Abstract	6
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 2.....	9
2.1 Common Structural Rules (CSR)	9
2.2 Δομή των κατασκευαστικών κανόνων	10
Κεφάλαιο 3 Πλοίο προς μελέτη	11
3.1 Κύριες διαστάσεις.....	11
3.2 Συντεταγμένες κέντρου όγκου κυτών και διαστάσεις κυτών.....	11
3.3 Σύνδεση ελάσματος – ενισχυτικού – φλάτζας	12
3.4 Σχέδιο Μέσης τομής	13
Κεφάλαιο 4 – Simplified Stress Analysis.....	14
4.1 Ορισμός συμβόλων και συντελεστών που χρησιμοποιούνται.	17
4.2 Υπολογισμός Εύρους Τάσης.....	21
4.3 Τάση που οφείλεται στην κάμψη του πλοίου λόγω κυματισμών σ_{GD}	23
4.4 Τάση που οφείλεται στην τοπική δυναμική πίεση	24
4.4.1 Δυναμική πίεση λόγω κυματισμού.....	26
4.4.2 Δυναμική πίεση για δεξαμενές ρευστών	28
4.4.3 Δυναμική πίεση για ξηρό φορτίο χύδην	31
4.5 Τάση που οφείλεται στην σχετική μετατόπιση/παραμόρφωση των δομικών στοιχείων της διατομής.....	32
Κεφάλαιο 5 Περιοχές Ελέγχου.....	33
5.1 Καθορισμός Σημείων υπό εξέταση	33
5.2 Υπολογισμός εύρους τάσης ενός σημείου.....	39
Κεφάλαιο 6 – Fatigue Life Calculation	40
6.1 Εισαγωγή.....	40
6.2 Υπολογισμός Συσσωρευμένης Βλάβης.....	40
Κεφάλαιο 7 Μελέτη με τη μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων	50
7.1 Κατασκευαστική Μοντελοποίηση	50
7.3 Συνοριακές Συνθήκες.....	52
7.4 Συνδυασμοί Φορτίσεων που εφαρμόζονται στη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων	53
7.5 Target Values.....	53
7.5.1. Επιθυμητή Διατμητική Δύναμη	54

7.5.2. Διόρθωση Διατμητικής Δύναμης	54
7.5.3 Επιθυμητή Καμπτική Ροπή.....	59
7.5.4 Διόρθωση Κατακόρυφης Καμπτικής Ροπής	59
Κεφάλαιο 8 Μοντελοποίηση και μελέτη στο πρόγραμμα στο ABAQUS/CAE.	60
8.1 Δημιουργία μοντέλου προς μελέτη.	61
8.1.1 Γεωμετρία μοντέλου και ιδιότητες υλικών.	62
8.1.2 Orientation.....	73
8.1.3 Έλεγχος της τελικής γεωμετρίας	74
8.1.4 Mesh.....	75
8.2 Συνοριακές Συνθήκες.....	78
8.3 Έλεγχοι μοντέλου.....	80
8.4 Εφαρμογή πιέσεων και φορτίσεων	81
Κεφάλαιο 9 Διορθώσεις - Adjustments	90
9.1 Διόρθωση Διατμητικών Δυνάμεων.....	92
9.2 Διόρθωση Καμπτικών Ροπών.....	94
Κεφάλαιο 10 Ανάλυση αποτελεσμάτων	98
10.1 Αποτελέσματα του προγράμματος για την κατάσταση HSM-1	99
10.2 Αποτελέσματα του προγράμματος για την κατάσταση HSM-2	102
10.3 Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων	105
Κεφάλαιο 11 - Συμπεράσματα.....	107
11.1 Προτεινόμενη διπλωματική εργασία	108
Βιβλιογραφία	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΣΧΕΔΙΑ.....	123
GENERAL ARRANGEMENT PLAN.....	124
MIDSHIP SECTION	125

Περίληψη/Abstract

Περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη έναντι κόπωσης, ενός πλοίου που μεταφέρει φορτίο χύδην (Bulk Carrier). Αρχικά πραγματοποιείται ο υπολογισμός του εύρους τάσης σε συγκεκριμένες περιοχές του πλοίου με την απλοποιημένη μέθοδο, που αναγράφεται στους κανονισμούς ως «Simplified Stress Analysis». Στη συνέχεια με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων υπολογίζεται εκ νέου το εύρος τάσης για τις ίδιες περιοχές, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους. Με την μέθοδο Simplified Stress Analysis μελετώνται οι δύο καταστάσεις Full Load Alternate και Normal Ballast, ενώ με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ο υπολογισμός αφορά μόνο την κατάσταση Full Load Alternate. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να πραγματοποιηθεί η παρούσα μελέτη στηρίζεται στους διεθνείς κανονισμούς *Common Structural Rules for Oil Tankers and Bulk Carriers* 2017. Από τις κατηγορίες των κανονισμών, επειδή η μελέτη επικεντρώνεται στην δυναμική κατάσταση HSM όπου το πλοίο δέχεται τους κυματισμούς μετωπικά, τα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά.

The content of this dissertation is the study against fatigue, of a ship that carries bulk cargo. First the fatigue stress range is calculated for specific areas of the ship, with the Simplified Method, as described at the rules and then with the finite element method the fatigue stress range is recalculated in order to compare the results. With the Simplified Method the conditions, Full Load Alternate and Normal Ballast are studied, while with the finite element method the calculation concerns only the Full Load Alternate condition. The methodology followed to carry out this study is based on the international regulations *Common Structural Rules for Oil Tankers and Bulk Carriers* 2017. From dynamic load cases described at the regulations, the study focuses on the dynamic HSM condition where the ship receives the waves frontally, thus the fatigue life in years presented in this thesis are only indicative.

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Ο όρος «κόπωση» εμφανίστηκε πρώτη φορά, τον 19^ο αιώνα για να περιγράψει την κατάρρευση υλικού ή μίας κατασκευής όπου εφαρμόζεται κυκλικό φορτίο. Ο πρώτος που πραγματοποίησε έρευνα έναντι κόπωσης ήταν ο August Wöhler, ο οποίος παρατήρησε πως αν ασκηθεί ένα μικρό επαναλαμβανόμενο φορτίο για μεγάλο χρονικό διάστημα, το οποίο στατικά δεν θα προκαλούσε αστοχία, είναι δυνατόν να προκαλέσει αστοχία ή κατάρρευση. Πριν τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο η μελέτη έναντι κοπώσεως ήταν σπάνια, έως ανύπαρκτη καθώς η κόπωση ήταν ένα φαινόμενο το οποίο δεν μπορούσε να παρατηρηθεί, με αποτέλεσμα, η αστοχία να εκδηλώνεται αναπάντεχα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αστοχία μεγάλου αριθμού πλοίων κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. [9]

Αργότερα, τον 20^ο αιώνα γνωστοποιήθηκε πως η επαναλαμβανόμενη, κυκλική εφαρμογή φορτίου, είναι η αφορμή για την εκκίνηση του μηχανισμού της κόπωσης και συγκεκριμένα της δημιουργίας και διάδοσης ρωγμής. Από τότε που το φαινόμενο της κόπωσης αναγνωρίστηκε έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για την αξιολόγηση της κόπωσης και τον μηχανισμό υπό τον οποίο ενεργεί, ωστόσο το φαινόμενο αυτό, χρειάζεται να ερευνηθεί περισσότερο.[8]

Για να πραγματοποιηθεί μελέτη έναντι κόπωσης είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό, πως η χρονική διάρκεια στην οποία μπορεί να «αντέξει» ένα στοιχείο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Το χρονικό αυτό διάστημα, ξεκινάει από την στιγμή όπου θα δημιουργηθεί η ρωγή και συνεχίζει κατά την διάδοση της. Η ρωγή συνήθως εμφανίζεται στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου όπου σε μικροκρυσταλλικό επίπεδο υπάρχουν ρωγμές μεγαλώνουν έπειτα από την εφαρμογή κυκλικού φορτίου. Επιπλέον, οι ρωγμές διαδίδονται από τοπική πλαστική ένταση, σε μακροσκοπικό μέγεθος με κατεύθυνση κάθετη στην κατεύθυνση του φορτίου. Είναι αρκετά δύσκολο να καθοριστεί το σημείο όπου εμφανίζεται η ρωγή και το σημείο από το οποίο ξεκινάει η διάδοση της. Η φάση έναρξης της ρωγμής είναι ένα φαινόμενο το οποίο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του υλικού καθώς και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες εκτίθεται. Η διάδοση της ρωγμής σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του υλικού από το οποίο αποτελείται το δομικό στοιχείο. Ο διαχωρισμός αυτών των δύο φάσεων αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα στην μελέτη της κόπωσης.[8]

Σήμερα, οι δύο αυτές φάσεις αναλύονται ξεχωριστά. Η δημιουργία ρωγμής θεωρείται πως σχετίζεται με τις τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων, οι οποίες σχετίζονται με τη γεωμετρία των στοιχείων, και όπως για παράδειγμα σπές, ασυνέχειες, διαφορετικά πάχη κ.τ.λ.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να παρουσιάσει και να μελετήσει το εύρος τάσεων των διαμηκών δομικών στοιχείων για συγκεκριμένο πλοίο Bulk Carrier. Η μελέτη αυτή γίνεται με την εφαρμογή των κανονισμών Common Structural Rules for Oil Tankers and Bulk Carriers 2017 (CSR). Αρχικά υπολογίζονται οι πιέσεις που ασκούνται από το φορτίο, τη θάλασσα σε στατικό και δυναμικό επίπεδο και στη συνέχεια υπολογίζονται οι τάσεις που παράγονται από τις πιέσεις αυτές. Ο υπολογισμός των τάσεων γίνεται σε πρώτο επίπεδο με την απλοποιημένη μέθοδο, Simplified Stress Analysis και στη συνέχεια, προκειμένου να συγκριθούν οι τιμές τους, γίνεται εκ νέου υπολογισμός με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, στο πρόγραμμα ABAQUS/CAE αφού γίνει προσομοίωση του μοντέλου των τριών αμπαριών.

Δομή της εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια μικρή αναφορά στην κόπωση. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται και μια αναφορά στους CSR. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα στοιχεία του πλοίου στο οποίο πρόκειται να πραγματοποιηθεί η μελέτη. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η απλοποιημένη μέθοδος και γίνεται η παρουσίαση των συντελεστών και τύπων που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέθοδο Simplified Stress Analysis. Στο Κεφάλαιο 5 καθορίζονται τα σημεία όπου πρόκειται να μελετηθούν. Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται η θεωρία για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής των δομικών στοιχείων όταν υποβάλλονται σε κόπωση. Στο Κεφάλαιο 7 δίνεται η θεωρία σύμφωνα με την οποία πρόκειται να γίνει η μελέτη με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στο Κεφάλαιο 8 δίνεται η αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να αναπαραχθεί το πρόβλημα πως επίλυση στο πρόγραμμα Abaqus/CAE. Στο Κεφάλαιο 9, γίνονται τα adjustments όπου σύμφωνα με την θεωρία είναι απαραίτητα. Στο Κεφάλαιο 10, περιέχεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Στο Κεφάλαιο 11, αναλύονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας. Στο Παράρτημα Α, παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός του εύρους τάσης ενός σημείου. Στο Παράρτημα Β έχει γίνει η επισύναψη των σχεδίων General Arrangement & Midship Section.

Κεφάλαιο 2

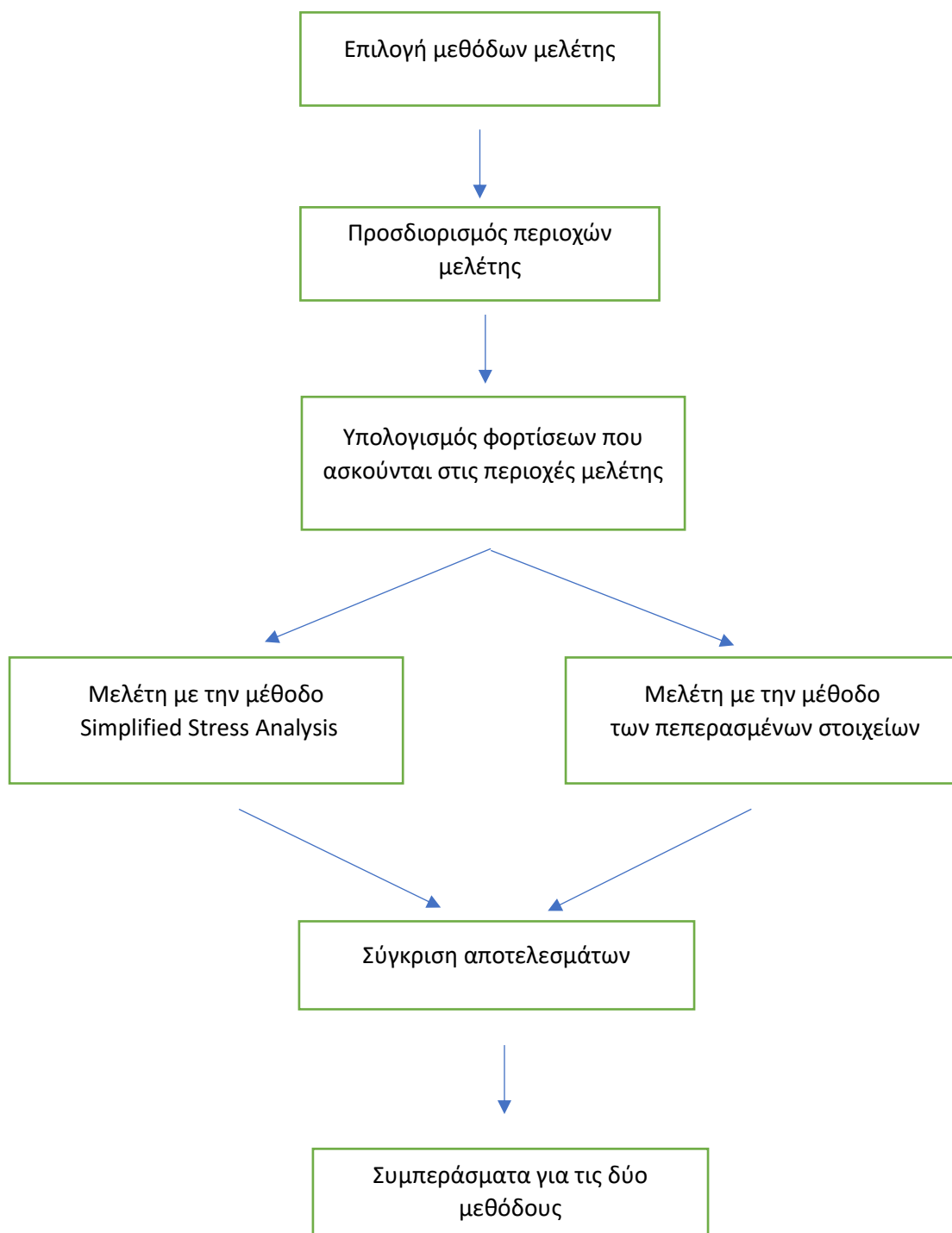
2.1 Common Structural Rules (CSR)

Η Διεθνής Ένωση Νηογνώμωνων (International Association of Classification Societies- IACS) ιδρύθηκε το 1968 μετά από συστάσεις του συνεδρίου για την Διεθνή Σύμβαση της Γραμμής Φόρτωσης το 1930 και πολλές προσπάθειες συνεργασίας από κάποιους Νηογνώμονες με σκοπό την ανάπτυξη πιο συμβατών κανονισμών για τη σχεδίαση και κατασκευή των πλοίων. Σήμερα εδρεύει στο Λονδίνο και αποτελείται από 12 μέλη : American Bureau of Shipping, Korean Register of Shipping, Bureau Veritas, Lloyd's Register, China Classification Society, Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK), Croatian Register of Shipping, Polish Register of Shipping, DNV-GL AS, RINA, Indian Register of Shipping Russian Maritime Register of Shipping. Ο IACS κατέχει συμβουλευτικό ρόλο στον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (International Maritime Organisation – IMO) και παρέχει την τεχνική του εξειδίκευση στις διαδικασίες θέσπισης των κανονισμών αλλά και στην επιβολή τους μέσω της συνεργασίας των Κλάσεων με τις κρατικές Σημαίες. [10]

Τα περισσότερα πλοία κατασκευάζονται και επιθεωρούνται σύμφωνα με τα πρότυπα, σχετικά με θέματα θαλάσσιας ασφάλειας και αποφυγής περιβαλλοντικής ρύπανσης, κάποιου Νηογνώμονα μέσω ενός ευρέος δικτύου επιθεωρητών. Η πιστοποίηση από μια «Κλάση» σημαίνει πως έχει εξασφαλιστεί η ποιότητα και έχουν παρθεί τα κατάλληλα μέτρα για την συντήρηση του πλοίου. Οι κανονισμοί στηρίζονται κυρίως σε στατιστικά και εμπειρικά δεδομένα των ήδη, εν λειτουργία πλοίων. Ωστόσο, η εμπειρικές μέθοδοι συνδυάζονται με τεχνική έρευνα για την τεχνική βελτίωση, ασφαλέστερη και πιο οικονομική κατασκευή. Ακόμα για την όσο το δυνατόν γρηγορότερη και καλύτερη ανάπτυξη των προδιαγραφών των πλοίων είναι απαραίτητη η ανταλλαγή πληροφοριών και συνεργασία με άλλους Νηογνώμονες καθώς επίσης και με ναυπηγεία, λιμενικές αρχές ναυτιλιακές εταιρίες κ.α. Απαραίτητη απαίτηση για την σωστή λειτουργία των κλάσεων είναι η αμεροληψία, η αντικειμενικότητα και η αποστασιοποίηση από κερδοσκοπικούς οργανισμούς.

2.2 Δομή των κατασκευαστικών κανόνων

Σύμφωνα με τον τρόπο που έχουν δομηθεί οι κατασκευαστικοί κανόνες, στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία.



Κεφάλαιο 3 Πλοίο προς μελέτη

Το πλοίο στο οποίο πρόκειται να πραγματοποιηθεί η μελέτη είναι ένα πλοίο Bulk Carrier τύπου B-60, μεταφορικής ικανότητας 82000 τόνων, το οποίο ναυπηγήθηκε το 2012 στην Ν. Κορέα. Στον πίνακα 1 λαμβάνονται από τα σχέδια του πλοίου, General Arrangement [6] και Trim and Stability Booklet [7], τα παρακάτω στοιχεία και δεδομένα του υπό αξιολόγηση πλοίου που είναι απαραίτητα για την μελέτη του έναντι κοπώσεως. Οι υπολογισμοί σύμφωνα με τους κανονισμούς IACS γίνονται για συντελεστή $C_b=0,887$ ο οποίος αντιστοιχεί στο Extreme Scantling draft.

3.1 Κύριες διαστάσεις

Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου και στους πίνακες 2 και 3 δίνονται οι διαστάσεις και οι συντεταγμένες των κέντρων των κυτών.

Ship Particulars	
Length.O.A [m]	229
Length.B.P.[m]	222
Breadth [m]	32,26
Deapth [m]	20,2
T Design [m]	12,2
T Scantling [m]	14,55
Design draft (Extreme) 12.218 m	0,8741
Scantling draft (Extreme) 14.568 m	0,887
T_FULL_ALTERNATE [m]	14,562
T_NORMAL_BALLAST [m]	6,481

Πίνακας 1 Ship Particulars

3.2 Συντεταγμένες κέντρου όγκου κυτών και διαστάσεις κυτών

Συντεταγμένες κέντρου όγκου κυτών			
Holds	xG	yG	zG
No.2 HOLD	174,001	0	11,9
No.3 HOLD	247,030	0	11,9
No.4 HOLD	121,812	0	11,9
No.5 HOLD	96,576	0	11,9
No.6 HOLD	69,606	0	11,9

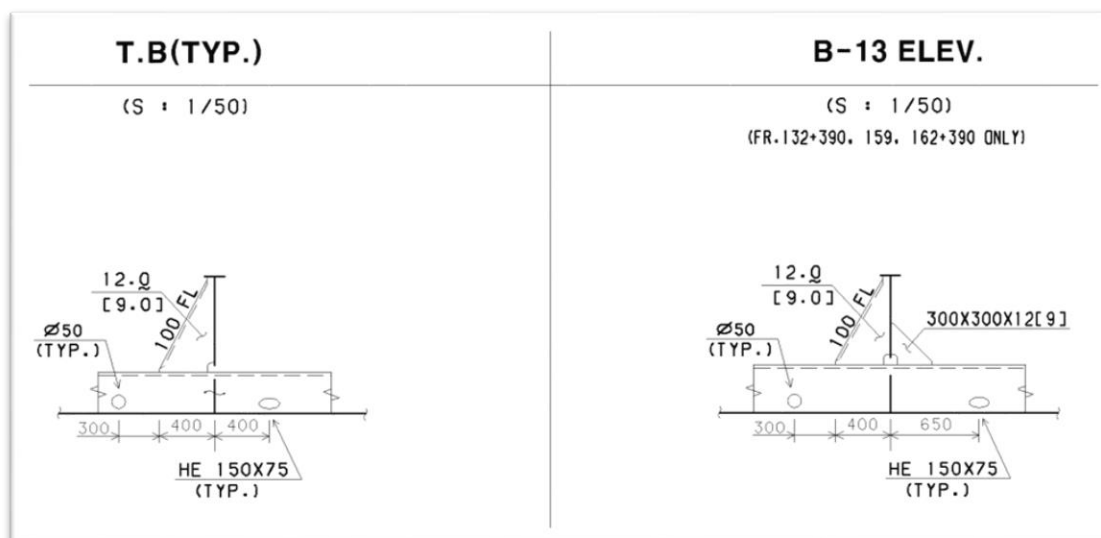
Πίνακας 2 Συντεταγμένες κέντρου όγκου κυτών

Διαστάσεις κυτών	Cargo tank length	Cargo tank breadth
	Lfs	btop
No.2 HOLD	26.97	32.26
No.3 HOLD	26.97	32.26
No.4 HOLD	26.97	32.26
No.5 HOLD	26.97	32.26
No.6 HOLD	26.97	32.26

Πίνακας 3 Διαστάσεις κυτών

3.3 Σύνδεση ελάσματος – ενισχυτικού – φλάτζας

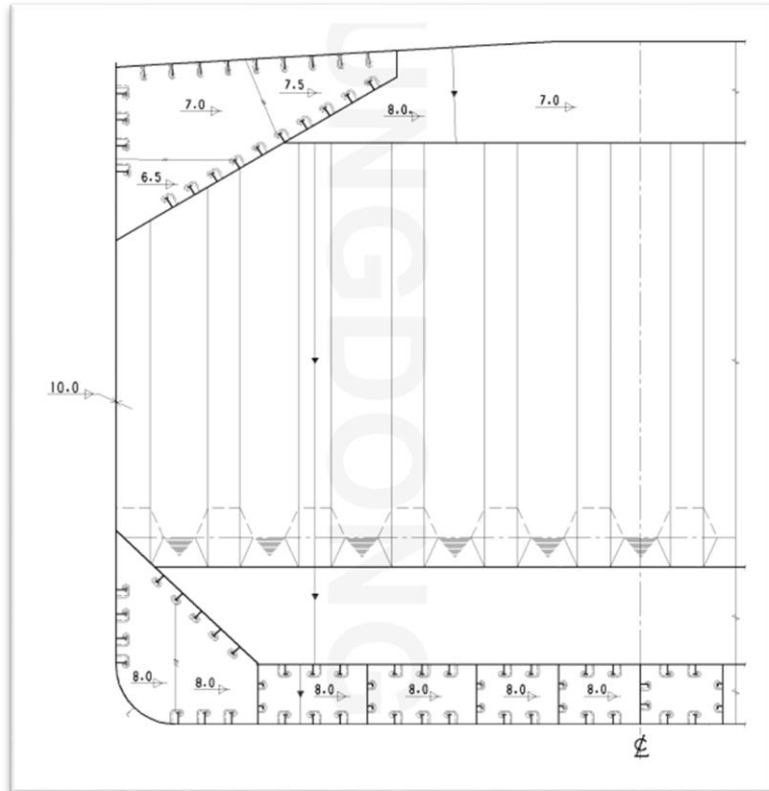
Αναλόγως με τρόπο όπου πραγματοποιείται η σύνδεση των ελασμάτων με τα διαμήκη ενισχυτικά και τις φλάτζες, λαμβάνονται διαφορετικές τιμές για κάποιους συντελεστές όπως για παράδειγμα οι συντελεστές K_a και K_b που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Στο υπό εξέταση πλοίο, υπάρχουν δύο τύποι σύνδεσης. Ο Τ.Β(ΤΥΡ.) ο οποίο συναντάται σε όλα τα σημεία του πλοίου, εκτός από το αμπάρι No.4 όπου εκεί έχουμε τον τρόπο σύνδεσης B-13 ELEV. Οι δύο αυτοί τύποι περιγράφονται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1 Σύνδεση ελάσματος - ενισχυτικού – φλάντζας,

3.4 Σχέδιο Μέσης τομής

Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η μέση τομή του πλοίου και παρουσιάζεται προκειμένου να αποκτηθεί μια πρώτη εντύπωση της κατασκευής. Σύμφωνα με την μέση τομή υπολογίζονται ορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως η ροπή αδράνειας και το ύψος του ουδέτερου άξονα.



Εικόνα 2 Εγκάρσια Διατομή _Σχέδιο μέσης τομής του πλοίου

Κεφάλαιο 4 – Simplified Stress Analysis.

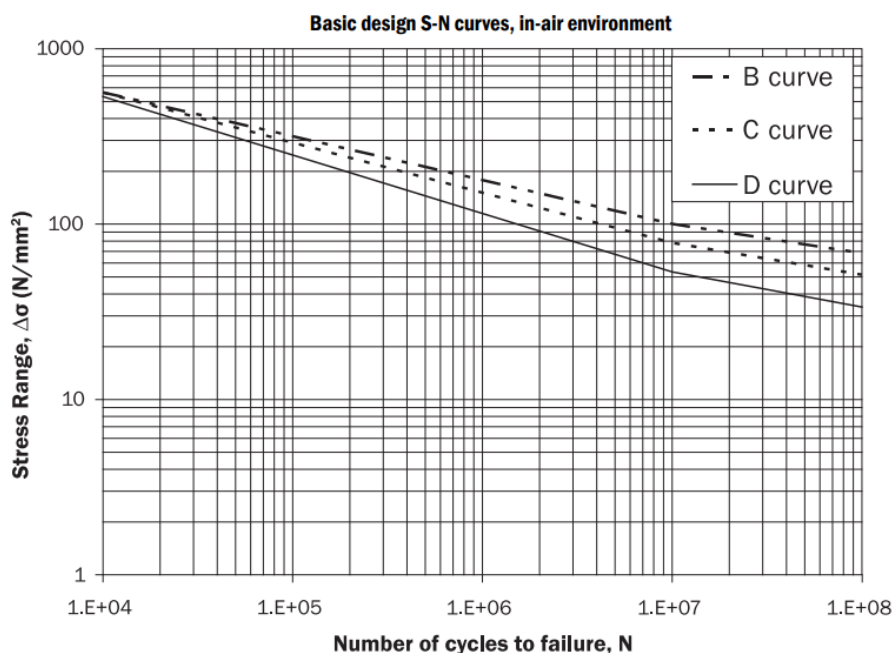
Σε αυτό το κεφάλαιο προσδιορίζεται η μεθοδολογία που ακολουθείται προκειμένου να υπολογιστεί το εύρος τάσης με την απλοποιημένη μέθοδο. Το εύρος τάσης που υπολογίζεται είναι mean stresses όπου αποτελούνται από το άθροισμα στρεπτικών και των principal τάσεων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι στρεπτικές ροπές είναι μηδενικές επομένως και οι στρεπτικές τάσεις θα είναι μηδενικές. Σύμφωνα με τους κανονισμούς [Part 1, Chapt. 9, Sect. 2], τα σημεία που πρέπει να εξεταστούν, είναι τα σημεία όπου τα διαμήκη ενισχυτικά συνδέονται με τα εγκάρσια δομικά στοιχεία του πλοίου, όπως floors και bulkheads.

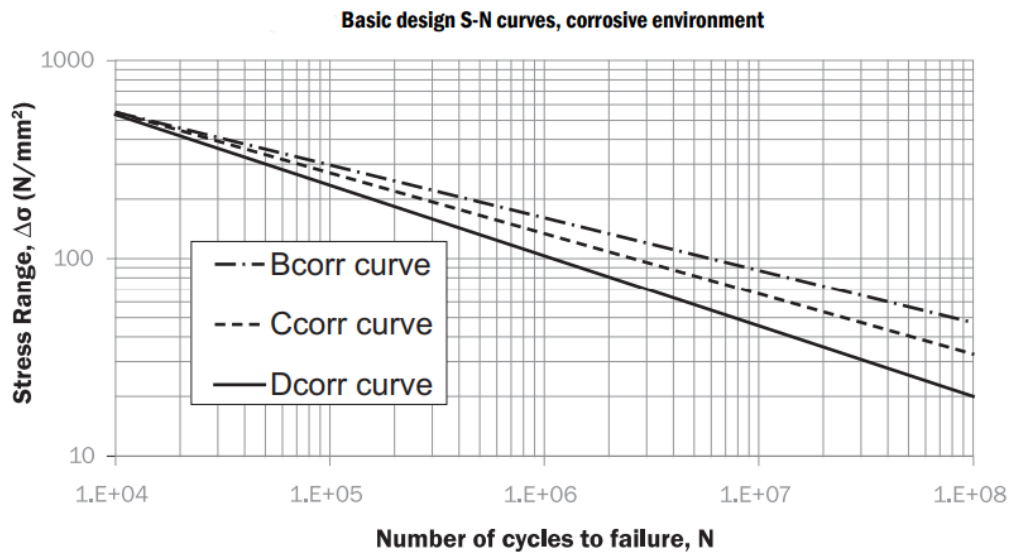
Ο υπολογισμός του εύρους τάσης βασίζεται στους τρεις παρακάτω παράγοντες, [Part 1, Chapt. 9, Sect. 2].

- Από τις τάσεις όπου καταπονούνται τα δομικά στοιχεία του πλοίου.
- Από τους συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων.
- Από την δυναμική κατάσταση που μελετάται.
- Από την κατάσταση φόρτωσης που εξετάζεται.

Σημειώνεται επιπλέον, πως αν η μορφή και ο τύπος του ενισχυτικού καθώς επίσης και η γεωμετρία των δομικών στοιχείων δεν περιγράφεται στις κατηγορίες και τις περιπτώσεις των κανονισμών, η μελέτη οφείλει να γίνει με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, για πιο ακριβή αποτελέσματα.

Με την απλοποιημένη μέθοδο, το εύρος τάσης προκύπτει αφαιρώντας μεταξύ τους τις τάσεις που υπολογίζονται για τις καταστάσεις Sagging και Hogging. [Part 1, Chapt. 9, Sect.4]. Αφού ολοκληρωθεί ο υπολογισμός του εύρους τάσης για να μελετηθούν τα αποτελέσματα και οι επιπτώσεις που θα έχουν στα δομικά στοιχεία του πλοίου γίνεται η επιλογή της κατάλληλης καμπύλης S-N.





Πρόκειται για διαγράμματα που συνδέουν το εύρος τάσης με τον αριθμό των κυκλικών φορτίσεων στο οποίο υποβάλλεται ένα δομικό στοιχείο. Οι καμπύλες S-N που επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη είναι οι καμπύλες D, καθώς περιγράφουν την συμπεριφορά ενώσεων που έχουν συνδεθεί με συγκόλληση. Επιπλέον πρέπει να γίνει η επιλογή σύμφωνα με το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η μελέτη, καθώς για παράδειγμα σε corrosive environment, όπως είναι η δεξαμενή έρματος, είναι λογικό οι αποδεκτός αριθμός κυκλικών φορτίσεων να είναι μικρότερος από ένα περιβάλλον in-air environment, εξαιτίας της μεγαλύτερης διάβρωσης.

Τέλος για να είναι αποδεκτή η μελέτη σημειώνεται πως τα χρόνια ζωής των δομικών στοιχείων της κατασκευής, που προκύπτουν από επιπλέον μελέτη που πραγματοποιείται, πρέπει να είναι λιγότερα από την ζωή σχεδίασης του πλοίου(25 έτη).

Load Cases

Οι κανονισμοί διαχωρίζουν τις δυναμικές καταστάσεις σύμφωνα με την κατεύθυνση όπου το κύμα συναντάει το πλοίο. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες των load cases.

1. Το πλοίο κινείται παράλληλα με την διάδοση την ενέργειας του κυματισμού.
 - I. HSM: Το πλοίο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που διαδίδεται ο κυματισμός.
 - II. HSA: Το πλοίο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που διαδίδεται ο κυματισμός.
 - III. FSM: Το πλοίο κινείται προς την ίδια κατεύθυνση από αυτή που διαδίδεται ο κυματισμός.

Στις περιπτώσεις HSM & FSM αναλόγως αν βρισκόμαστε σε κατάσταση Sagging ή Hogging ελαχιστοποιούνται ή μεγιστοποιούνται οι κατακόρυφες ροπές κάμψης από κυματισμούς στο μέσο του πλοίου αντίστοιχα. Στην περίπτωση HSA μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται η κατακόρυφη επιτάχυνση, σημειώνεται πως η HSA δεν εξετάζεται στην μελέτη κόπωσης.

2. Το πλοίο κινείται κάθετα στην διάδοση της ενέργειας του κυματισμού.
 - I. BSR: Μελετάται αναλόγως αν βρισκόμαστε σε κατάσταση Sagging ή Hogging η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της κίνησης Roll.
 - II. BSP: Μελετάται αναλόγως αν βρισκόμαστε σε κατάσταση Sagging ή Hogging η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της υδροδυναμικής πίεσης στο βύθισμα πλεύσης στο μέσο του πλοίου.

Οι περιπτώσεις αυτές αναλύονται επιπλέον σύμφωνα με το αν η διάδοση της ενέργειας του κυματισμού έρχεται από αριστερά (Port Side) ή από την δεξιά πλευρά του πλοίου (Starboard Side)

3. Το πλοίο κινείται υπό γωνία μεταξύ 0° και 90° με την διεύθυνση της διάδοσης της ενέργειας του κύματος.
 - I. OST: Μελετάται αναλόγως αν βρισκόμαστε σε κατάσταση Sagging ή Hogging η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της ροπής στρέψης
 - II. OSA: Μελετάται αναλόγως αν βρισκόμαστε σε κατάσταση Sagging ή Hogging η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της επιτάχυνσης της κίνησης Pitch.

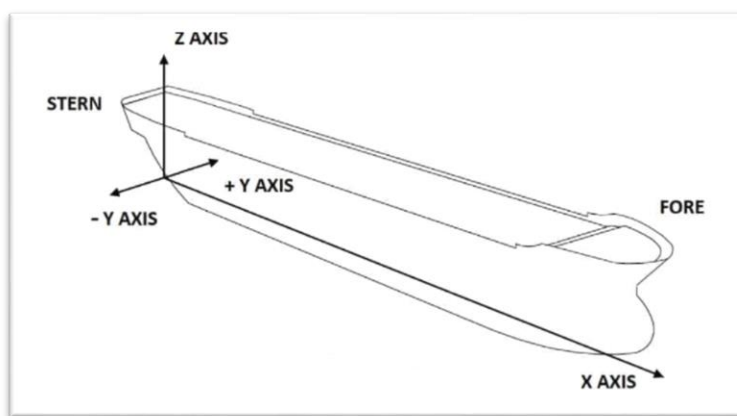
Η περίπτωση OST δεν εξετάζεται στην μελέτη κόπωσης.

4.1 Ορισμός συμβόλων και συντελεστών που χρησιμοποιούνται.

Ορισμένοι συντελεστές εξαρτώνται από το βύθισμα στο οποίο πλέει το πλοίο. Επομένως είναι σημαντικό να καθοριστεί σύμφωνα με την κατάσταση φόρτωσης το βύθισμα στο οποίο πλέει το πλοίο. Οι τιμές των βυθισμάτων για κάθε κατάσταση αναγράφονται στον πίνακα 1 του Κεφαλαίου 3.

- T_{LC} : Βύθισμα στο μέσο του πλοίου σύμφωνα με την κατάσταση φόρτωσης [m].
- T_{sc} : Βύθισμα σχεδίασης στο μέσο του πλοίου [m].

Το σύστημα συντεταγμένων που έχει επικρατήσει για να περιγράφεται η θέση ενός σημείου στο χώρο είναι αυτή που φαίνεται στον εικόνα 3. Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στην πρυμναία κάθετο. Ο άξονας X περιγράφει την διαμήκη συντεταγμένη, ο άξονας Y την εγκάρσια και ο άξονας Z την κατακόρυφη.



Εικόνα 3 Κύριοι Άξονες

Για τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στους κανονισμούς οι τιμές των x,y,z αντιστοιχούν ως εξής :

- x : Διαμήκης Συντεταγμένη του υπό εξέταση σημείου [m].
- y : Εγκάρσια Συντεταγμένη του υπό εξέταση σημείου [m].
- z : Κατακόρυφη Συντεταγμένη του υπό εξέταση σημείου [m].

Για τους υπολογισμούς των πρωτευουσών τάσεων είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η ροπή αδράνειας της διατομής και η απόσταση του ουδέτερου άξονα από τον πυθμένα. Για τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας λαμβάνονται υπόψη μόνο τα διαμήκη στοιχεία (ελάσματα, ενισχυτικά) καθώς τα εγκάρσια δομικά στοιχεία δεν παραλαμβάνουν καμπτικές τάσεις. Η ονοματολογία όπου αναφέρονται στους κανονισμούς είναι η εξής :

- I_y-n50 : Κάθετη ροπή αδράνειας ως προς εγκάρσιο ουδέτερο άξονα [m⁴].
- I_z-n50 : Οριζόντια ροπή αδράνειας ως προς κατακόρυφο άξονα [m⁴].
- Z_n : Απόσταση ουδέτερου άξονα από τον πυθμένα / βασική γραμμή.

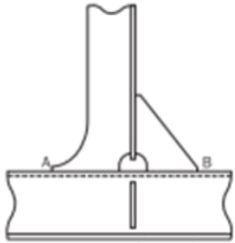
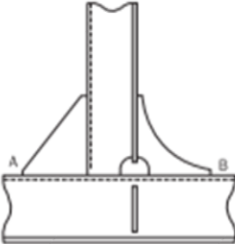
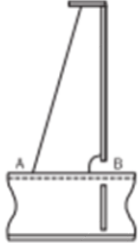
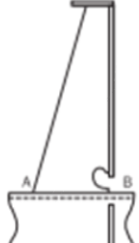
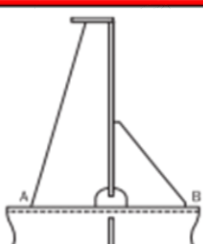
Σημειώνεται πως για το κύτος No.4 πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου η ροπή αδράνειας και το ύψος του ουδέτερου άξονα καθώς υπάρχουν διαφορές στα πάχη των ελασμάτων και στις διστάσεις των ενισχυτικών.

- f_c : Συντελεστής διόρθωσης ο οποίος πρέπει να πολλαπλασιάζεται με την υπολογισμένη τάση τόσο στην μέθοδο της απλοποιημένης ανάλυσης τάσης όσο και στην όσο και στην μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 1, 5.1]

$$f_c = 0.95$$

- K_a : Γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσης, για αξονικές φορτίσεις, εξαρτώμενος από τον τύπο της σύνδεσης ενισχυτικού – ελάσματος. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 5.2.4]
- K_b : Γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσης, για πλευρική πίεση, εξαρτώμενος από τον τύπο της σύνδεσης ενισχυτικού – ελάσματος. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 5.2.4]
- K_n : Γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης για τάσης μη συμμετρικά ενισχυτικά. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 5.1.1]

Οι τιμές των γεωμετρικών συντελεστών K_a και K_b , που αντιστοιχούν στο υπό εξέταση πλοίο, λαμβάνονται από τις σειρές 13 και 15 του πίνακα που φαίνεται στην εικόνα 4 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο οποίο βρίσκεται στους κανονισμούς [Table 4 : Stress concentration factors. Ch9. Section 4]. Η σειρά 13 αντιστοιχεί στον τρόπο σύνδεσης T.B(TYP.) ο οποίος συναντάται σε όλα τα σημεία του πλοίου, εκτός από το αμπάρι No.4 όπου εκεί έχουμε τον τρόπο σύνδεσης B-13 ELEV ο οποίος συναντάται στο αμπάρι No.4.

ID	Connection type ⁽²⁾ (3)	Point 'A'		Point 'B'	
		K_a	K_b	K_a	K_b
11		1.28	1.34	1.52	1.67
12		1.52	1.67	1.28	1.34
13		1.52	1.67	1.52	1.67
14		1.52	1.67	1.34	1.34
15		1.52	1.67	1.52	1.67

Εικόνα 4 Γεωμετρικοί Συντελεστές K_a , K_b [Table 4 : Stress concentration factors. Ch9. Section 4

Ακολουθεί αναφορά σε συντελεστές που χρησιμοποιούνται κατά των υπολογισμό του εύρους τάσης.

- f_{β} : Παράγοντας διόρθωσης πορείας, $f_{\beta} = 1$ (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως) [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4]
- $f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ βυθίσματος σχεδίασης και βυθίσματος στο μέσο του πλοίου σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 3]
- f_{nlh} : Συντελεστής που σχετίζεται με μη γραμμική επίδραση, $f_{nlh} = 1$ (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως). [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.3.1]
- f_{nl-vh} : Συντελεστής που σχετίζεται με μη γραμμική επίδραση, $f_{nl-vh} = 1$ (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως). [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.1.1]
- f_{NA} : Συντελεστής διόρθωσης εξαρτώμενος από την κατακόρυφη συντεταγμένη του εξεταζόμενου σημείου. (Για Bulk Carrier). [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4]

$$f_{NA} = 1.0 \text{ για } 0 < z < \frac{D}{2}$$

$$f_{NA} = 0.95 \text{ για } z = D$$

Ο συντελεστής υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή για τις ενδιάμεσες τιμές του z .

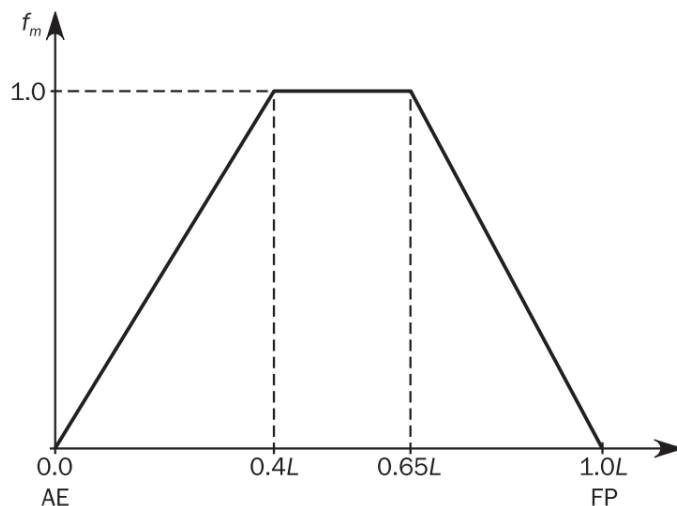
- C_W : Συντελεστής κυματισμού εξαρτώμενος από το μήκος του πλοίου. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4]

$$C_W = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{1.5} \text{ για } 90 \leq L \leq 300$$

$$C_W = 10.75 \text{ για } 300 \leq L \leq 350$$

$$C_W = 10.75 - \left(\frac{L-300}{150} \right)^{1.5} \text{ για } 350 \leq L \leq 500$$

- $f_p = 0.9 * [0.27 - (6 + 4 * f_T) * L * 10^{-5}]$, για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 3, 2.1.1]
- f_m : Συντελεστής κατανομής κατακόρυφης ροπής κάμψης κατά το διάμηκες του πλοίου. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.1.1]



4.2 Υπολογισμός Εύρους Τάσης.

Το εύρος τάσης οφείλεται σε δυναμικά φορτία τα οποία εξαρτώνται, από την εκάστοτε δυναμική καταπόνηση, καθώς επίσης και από την κατάσταση φόρτωσης στην οποία βρίσκεται το πλοίο [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 2.1]. Σύμφωνα με του τύπους, τις μονάδες και τους συντελεστές που εφαρμόζονται στους κανονισμούς, οι μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι $[\frac{N}{mm^2}]$.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζονται, από τις δυναμικές περιπτώσεις καταπόνησης (i) που περιγράφονται στην αρχή του κεφαλαίου 4 οι :

- HSM-1
- HSM-2

σύμφωνα με τις οποίες το πλοίο δέχεται μετωπικούς κυματισμούς. Η κατάσταση HSM-1 αναφέρεται στην κατάσταση Sagging και η κατάσταση HSM-2 στην κατάσταση Hogging. Οι δύο αυτές καταστάσεις έχουν ως αποτέλεσμα να υπολογίζονται οι μέγιστες καμπτικές ροπές.

Load Case	Heading	Effect	VWBM	VWSF
HSM-1	HEAD	Max. bending moment	Sagging	Negative AFT- Positive FWD
HSM-2			Hogging	Negative FWD- Positive AFT

Επιπλέον οι καταστάσεις φόρτωσης (j) που θα εξεταστούν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι οι καταστάσεις :

- Full Load Alternate και
- Normal Ballast

Οι δύο αυτές καταστάσεις και ιδιαίτερα η Full Load Alternate, κατά την οποία οι χώροι φορτίου είναι εναλλάξ γεμάτοι, θεωρούνται από τις πιο δυσμενείς συνθήκες στις οποίες μπορεί να πλεύσει ένα πλοίο. Στην κατάσταση Full Load Alternate η κατανομή του φορτίου προκαλεί μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις στις διατμητικές δυνάμεις. Η κατάσταση Normal Ballast αποτελεί μία δύσκολη συνθήκη κατά την οποία ένα πλοίο συχνά καλείται να ταξιδέψει κατά την διάρκεια των ετών λειτουργίας του.

Το εύρος τάσης υπολογίζεται από τον τύπο [4.2.1] ο οποίος βρίσκεται στους κανονισμούς- [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 2.1.1]. Πρόκειται για την διαφορά μεταξύ των τάσεων που προκαλούνται από τις καταστάσεις Sagging και Hogging. Σημειώνεται πως για την κατάσταση Hogging με την χρήση των συντελεστών που υπάρχουν στους κανονισμούς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν έχουν αρνητική τιμή με αποτέλεσμα, ουσιαστικά το εύρος τάσης, για ορισμένα δομικά στοιχεία να προκύψει από το άθροισμα των δύο καταστάσεων. Επιπλέον για το εύρος τάσης λαμβάνεται η απόλυτη τιμή του αθροίσματος των τάσεων από τις δύο καταστάσεις .

$$\Delta\sigma_{HS i (j)} = | \sigma_{GD, i1 (j)} + \sigma_{LD, i1, (j)} + \sigma_{dD, i1(j)} - \sigma_{GD, i2 (j)} - \sigma_{LD, i2 (j)} - \sigma_{dD, i2(j)} | \quad [4.2.1]$$

Αμέσως μετά δίνεται μία σύντομη περιγραφή των επιμέρους τάσεων από τις οποίες προκύπτει το συνολικό εύρος τάσης.

- σ_{GD} Τάση που οφείλεται στην κάμψη του πλοίου λόγω κυματισμών $[\frac{N}{mm^2}]$. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.1.1]
- σ_{LD} : Τάση που οφείλεται στην τοπική δυναμική πίεση $[\frac{N}{mm^2}]$. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 4.1.1]
- σ_{dD} : Τάση που οφείλεται στην σχετική μετατόπιση/παραμόρφωση των δομικών στοιχείων της διατομής $[\frac{N}{mm^2}]$. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 4.2.5]

Οι τάσεις θα αναλυθούν στις αμέσως επόμενες παραγράφους [Παράγραφος 4.3, 4.4 και 4.5] του ίδιου κεφαλαίου [Κεφάλαιο 4].

4.3 Τάση που οφείλεται στην κάμψη του πλοίου λόγω κυματισμών σ_{GD} .

Πρόκειται ουσιαστικά για τις πρωτεύουσες τάσεις που ασκούνται στο πλοίο – δοκός. Λαμβάνονται υπόψη τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής του πλοίου, όπως η ροπή αντίστασης καθώς επίσης και οι κατακόρυφες ροπές κάμψης. Η ροπή αντίστασης κατά μήκος του πλοίου δεν παραμένει σταθερή καθώς αλλάζει το πάχος των ελασμάτων και των ενισχυτικών και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σωστή τιμή της για κάθε εγκάρσια φρακτή που μελετάται.

$$\sigma_{GD,ik(j)} = f_c * K_a * \left(\frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} * (Z - Z_n) * f_{NA} - \frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} * y \right) * 10^{-3}, \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

M_{wv-LC} , [kN * m]. : Κατακόρυφη ροπή κάμψης λόγω κυματισμών στην οποία λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση κατά την οποία το πλοίο συναντάει τα κύματα με την χρήση του συντελεστή c_{wv} . [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4]

$$M_{wv-LC} = f_\beta * c_{wv} * M_{wv-h} \quad c_{wv} \geq 0$$

$$M_{wv-LC} = f_\beta * c_{wv} * |M_{wv-s}| \quad c_{wv} < 0$$

$$c_{wv} = -1, \quad \text{για HSM -1 [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.2.1]}$$

$$c_{wv} = 1, \quad \text{για HSM -2 [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.2.1]}$$

$$M_{wv-h} = 0.19 * f_{nl-vh} * f_m * C_w * L^2 * B * c_B \quad \text{[Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.1]}$$

$$M_{wv-s} = -0.19 * f_{nl-vh} * f_m * C_w * L^2 * B * c_B \quad \text{[Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.1]}$$

M_{wh-LC} , [kN * m]: Οριζόντια ροπή κάμψης λόγω κυματισμών στην οποία λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση κατά την οποία το πλοίο συναντάει τα κύματα με την χρήση του συντελεστή c_{WH} . [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4]

$$M_{wh-LC} = f_\beta * c_{WH} * M_{wh}$$

$$c_{WH} = 0, \quad \text{για HSM -1 [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.2.1]}$$

$$c_{WH} = 0, \quad \text{για HSM -2 [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.2.1]}$$

$$M_{wh} = f_{nlh} * f_p * f_m * C_w * L^2 * T_{LC} * c_B * \left(0.31 + \frac{L}{2800} \right) \quad \text{[Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 3.3.1]}$$

4.4 Τάση που οφείλεται στην τοπική δυναμική πίεση

Η τάση $\sigma_{LD,ik(j)}$ χρησιμοποιείται ουσιαστικά για να περιγράψει τις δευτερεύουσες τάσεις. Για να υπολογιστεί το μέτρο της τάσης, λαμβάνονται υπόψη τα τοπικά φορτία που ασκούνται στο εκάστοτε ενισχυμένο έλασμα. Τα τοπικά φορτία δημιουργούνται από την θάλασσα $P_{w,ik(j)}$ και το περιεχόμενο της εκάστοτε δεξαμενής, δηλαδή μεταφερόμενο φορτίο $P_{bd,ik(j)}$ ή έρμα $P_{ld,ik(j)}$. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν υπάρχει συνδυασμός των τοπικών φορτίων από έρμα και μεταφερόμενο φορτίο καθώς όταν μεταφέρεται φορτίο, στην κατάσταση Full Load Alternate δεν έχουμε έρμα στις δεξαμενές και στην κατάσταση Normal Ballast, δεν μεταφέρεται φορτίο.

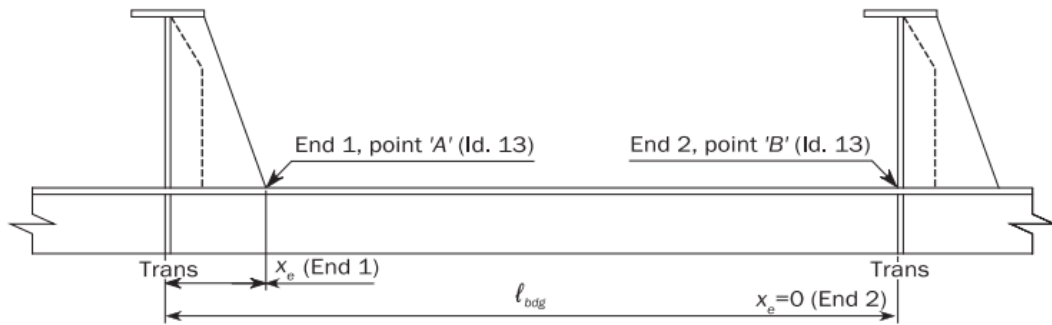
$$\sigma_{LD,ik(j)} = \frac{K_b * K_n * s * l_{bdg}^2 (\eta_w * f_{NL} * P_{w,ik(j)} + \eta_{bd} * P_{bd,ik(j)} + \eta_{ld} * P_{ld,ik(j)}) * \left(1 - \frac{6 * x_e}{l_{bdg}} + \frac{6 * x_e^2}{l_{bdg}^2}\right)}{12 * Z_{eff-n50}}$$

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των συντελεστών που περιέχονται στον τύπο για τον υπολογισμό της τάσης. Οι παρακάτω συντελεστές – αποστάσεις διαφοροποιούνται από αμπάρι σε αμπάρι και πρέπει να ελέγχονται. Στην εικόνα 5 που ακολουθεί δίνεται σχηματική αναπαράσταση των αποστάσεων s , x_e και l_{bdg} .

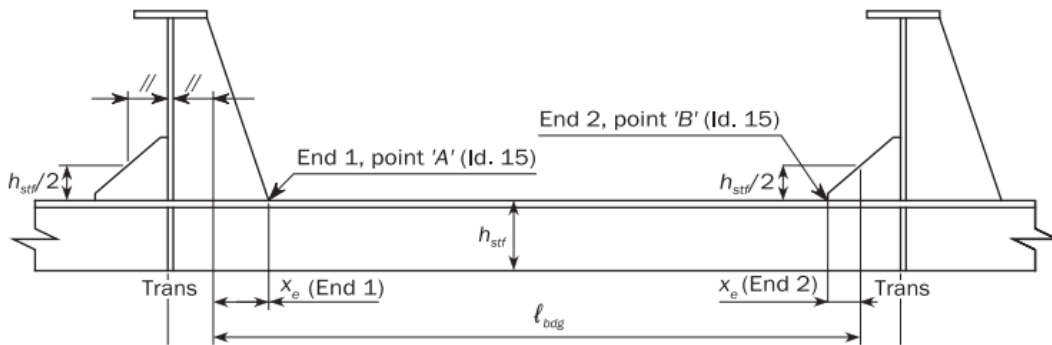
s : Απόσταση μεταξύ ενισχυτικών [m].

x_e : Απόσταση του υπό εξέταση σημείου από την πιο κοντινή άκρη του διαστήματος l_{bdg} , [m] [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 4.1]

l_{bdg} : Δρών μήκος μεταξύ εγκαρσίων ενισχυτικών. Στο υπό εξέταση πλοίο υπάρχουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις σύνδεσης ελάσματος – ενισχυτικού – φλάντζας [m] : [Part 1, Chapt. 2, Sect. 3, 1.5.4].



Supported by free flange transverses



Εικόνα 5 Επεξήγηση των αποστάσεων που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της τάσης.

Για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της διατομής ενισχυτικού – ελάσματος είναι απαραίτητο να υπολογιστεί το μήκος του συνεργαζόμενου ελάσματος b_{eff} .

b_{eff} : Ενεργό μήκος ελάσματος στο οποίο έχει γίνει συγκόλληση ενισχυτικού.
[Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 4.1.1]

$$b_{eff} = s * \min \left(\frac{1.04}{\frac{\left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) * 10^3 \right)^{1.35}}{3}}, 1 \right) \quad \text{για } \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) * 10^3 \right) \geq 1$$

$$b_{eff} = \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) * 10^3 \right) \quad \text{για } \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) * 10^3 \right) < 1$$

Z_{eff} : Ροπή αντίστασης ελάσματος – ενισχυτικού λαμβάνοντας υπόψη το b_{eff} , [mm].

$\eta_w, \eta_{bd}, \eta_{ld}$: Συντελεστές πίεσης. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 4.1.1]

$\eta = 1$ Όταν η πίεση ασκείται από την μεριά των ενισχυτικών

$\eta = -1$ Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

4.4.1 Δυναμική πίεση λόγω κυματισμού

Καθώς το πλοίο συναντάει μετωπικά τους κυματισμούς, δυναμική κατάσταση HSM που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία, το ύψος της στάθμης της θάλασσας, διαφοροποιείται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ή να μειώνεται η δυναμική πίεση τοπικά. Σημειώνεται ότι η δυναμική πίεση λόγω κυματισμού μεταβάλλεται και κατά το διάμηκες και κατά το βύθισμα.

$P_{w,ik(j)}$: Δυναμική πίεση λόγω κυματισμού, $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 1.4]

P_w			
Κατάσταση Φόρτισης	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq T_{LC} + 2 * hw$	$z > T_{LC} + 2 * hw$
HSM -1	$P_w = \max(-P_{HS}, \rho * g * (z - T_{LC}))$	$P_w = P_{w,wL} - \frac{1}{2} * \rho * g * (z - T_{LC})$	$P_w = 0$
HSM -2	$P_w = \max(P_{HS}, \rho * g * (z - T_{LC}))$		

Πίνακας 4 Δυναμική πίεση λόγω κυματισμού

Για τον υπολογισμό της δυναμικής πίεση που οφείλεται στους κυματισμούς είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της πίεσης P_{HS} , όπου ο τύπος και η συντελεστές της οποίας διαφοροποιούνται αναλόγως την εκάστοτε δυναμική κατάσταση. Για την κατάσταση HSM όπου μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι :

$$P_{HS} = f_p * f_h * k_a * k_p * f_{yz} * C_w * \sqrt{\frac{L_0 + \lambda + 125}{L}}, \text{ [Part 1, Chapt. 4, Sect. 5, 1.3.4]}$$

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή και αναφορά στους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πίεσης αυτής.

- f_h : Συντελεστής που λαμβάνεται ως $f_h = 2,75 * (1,21 - 0,66 * f_T)$.
- f_{fa} : Συντελεστής κόπωσης που λαμβάνεται ως $f_{fa} = 0.9$
- f_p : Συντελεστής που λαμβάνεται ως $f_p = f_{fa} * [(0.21 + 0.02 * f_T) + (6 - 4 * f_T) * L * 10^{-5}]$.
- $f_{yB} = \frac{|2*y|}{B_x}$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ εγκάρσιας συντεταγμένης του υπό μελέτη σημείου και του χυτού πλάτους B_x του πλοίου.
- $f_{yz} = \frac{z}{T_{LC}} + f_{yB} + 1$, Συντελεστής κατανομής περιμέτρου.
- λ [m] : Μήκος κύματος, $\lambda = 0.6 * (1 + f_T) * L$
- L_0 [m]: Μήκος πλοίου στην ίσαλο πλεύσης, δεν μπορεί να ληφθεί τιμή μεγαλύτερη των 110 [m].
- $f_{xL} = \frac{x}{L}$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ διαμήκους συντεταγμένης του υπό μελέτη σημείου και του μήκους του πλοίου L.

• k_a : Συντελεστής πλάτους στη διαμήκη διεύθυνση του πλοίου

$$k_a = 1 + 3 * f_T - (1 + f_T) * f_{yB} + [5 * (1 + f_T) * f_{yB} - 15 * f_T] * f_{xL}, \quad f_{xL} < 0.2$$

$$k_a = 1, \quad 0.2 \leq f_{xL} < 0.6$$

$$k_a = 1 + (f_{xL} - 0.6) * [(13.5 - 3.5 * f_T) * f_{yB} + (14.5 * f_T - 17) + 40 * (1 - f_{yB}) * (f_{xL} - 0.6)]$$

$$0.2 \leq f_{xL} < 0.6$$

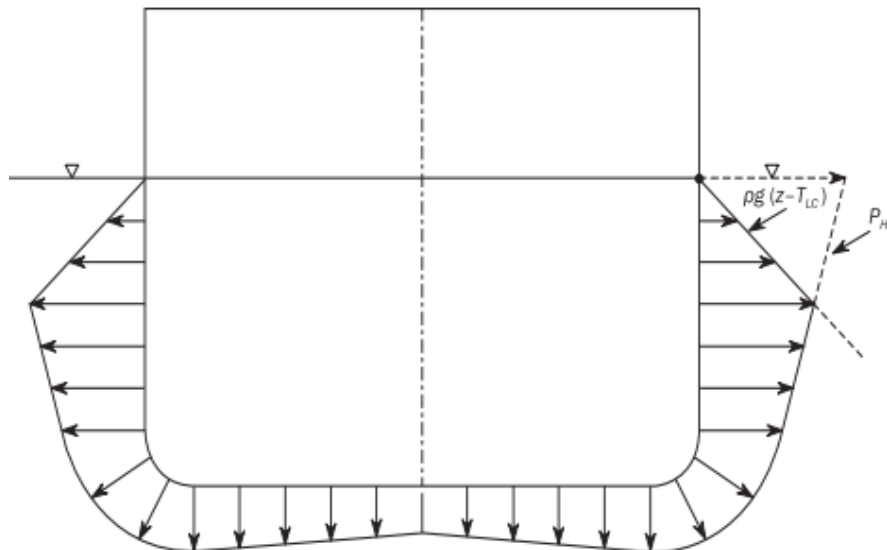
- k_p : Συντελεστής φάσης, οι τιμές δίνονται από τον παρακάτω πίνακα και οι ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή.

f_{xL}	k_p
0	$(1-f_T)+(0.5-f_T) f_{yB}$
0,3-0,1*f _T	-1
0,5-0,2*f _T	1
0,9-0,4*f _T	1
0,9-0,2*f _T	-1
1	-1

$P_{w,wL}$: Πίεση λόγω κυματισμού στο ύψος βυθίσματος. $\left[\frac{kN}{m^2} \right]$.

$$P_{w,wL} = P_w \text{ για } z = T_{LC}.$$

Η κατανομή της δυναμικής συνιστώσας της πίεσης που προκαλείται από τους θαλάσσιους κυματισμούς για την κατάσταση HSM αναμένεται να έχει την μορφή που φαίνεται στην εικόνα 6, [Part 1, Chapt. 4, Sect. 5, 1.3.2 Figure 2 : Transverse distribution amidships of dynamic pressure]. Σημειώνεται πως έχει αντίθετη φορά από την υδροστατική πίεση για την κατάσταση HSM-1 και όμοια φορά για την κατάσταση HSM-2.



Εικόνα 6 Κατανομή υδροδυναμικής πίεσης

4.4.2 Δυναμική πίεση για δεξαμενές ρευστών

$$P_{id} = f_{\beta} * f_{cd} * \rho_L [\alpha_z * (z_0 - z) + f_{ull-I} * \alpha_x * (x_0 - x) + f_{ull-t} * \alpha_y * (y_0 - y)]$$

Η δυναμική πίεση στις δεξαμενές έρματος $P_{ld, ik(j)}$ $\left[\frac{kN}{m^2} \right]$, σχετίζεται άμεσα με τις τοπικές επιταχύνσεις του ρευστού [Part 1, Chapt. 4, Sect. 6,1.1.1]. Συγκεκριμένα αρχικά υπολογίζονται οι συνολικές επιταχύνσεις a_{surge} , a_{sway} , a_{heave} , a_{roll} , a_{pitch} για το κέντρο βάρους της κατασκευής για τους τρεις άξονες X, Y, Z και στη συνέχεια πραγματοποιείται μετασχηματισμός προκειμένου να μεταφερθούν σε τοπικό επίπεδο μέσω των σχέσεων :

- $a_x = -C_{XG} * g * \sin\varphi * + C_{XS} * a_{surge} + C_{XP} * a_{pitch} * (z - R)$
- $a_y = C_{YG} * g * \sin\theta * + C_{YS} * a_{sway} + C_{YR} * a_{roll} * (z - R)$
- $a_z = C_{ZH} * a_{heave} + C_{ZR} * a_{roll} * y - C_{ZP} * a_{pitch} * (x - 0.45 * L)$

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των συντελεστών που σχετίζονται με τον υπολογισμό της δυναμικής πίεσης λόγω ρευστών στις δεξαμενές.

- l_{fs} : Μήκος δεξαμενής φορτίου.
- b_{top} : Πλάτος δεξαμενής φορτίου.
- $f_{p_γωνίας \phi}$: Συντελεστής που λαμβάνεται ως $f_p = f_{fa} * [(0.27 + 0.02 * f_T) + (13 - 5 * f_T) * L * 10^{-5}]$. (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως)
- $f_{p_γωνίας \theta}$: Συντελεστής που λαμβάνεται ως $f_p = f_{fa} * [0.23 - 4 * f_T * B * 10^{-4}]$. (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως)
- $f_{BK} = 1,0$ Για πλοία με κοίλη γάστρα
- $f_{BK} = 1,2$ Για πλοία χωρίς κοίλη γάστρα
- Γωνία Διαμήκους κλίσης.

$$\phi = 1350 * f_p * L^{-0.94} * \left\{ 1 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{g * L}} \right)^{1.2} \right\}$$

- Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης

$$\theta = \frac{9000 * (1.25 - 0.025 * T) * f_p * f_{BK}}{(B + 75) * \pi}$$

- f_{ull-I} Συντελεστής διόρθωσης διαμήκους επιτάχυνσης έναντι κόπωσης, λαμβάνεται:

$$f_{ull-I} = 0,5 + \frac{|z_0 - z|}{l_{fs}} * \frac{180}{\varphi * \pi}$$

- f_{ull-t} Συντελεστής διόρθωσης εγκάρσιας επιτάχυνσης έναντι κόπωσης, λαμβάνεται:

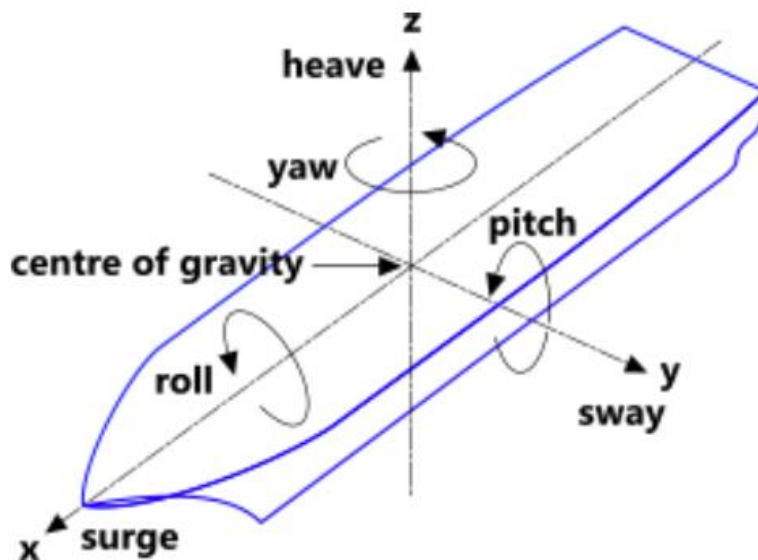
$$f_{ull-t} = 0,5 + \frac{|z_0 - z|}{b_{top}} * \frac{180}{\theta * \pi}$$

Για τον υπολογισμό των επιταχύνσεων λαμβάνονται από τους κανονισμούς, για τις καταστάσεις HSM, οι τιμές των συντελεστών του πίνακα.

	HSM-1	HSM-2
C_{XG}	$0.4 \cdot f_T + 0.4$	$-0.4 \cdot f_T + 0.4$
C_{XS}	$-0.2 \cdot f_T + 0.3$	$0.2 \cdot f_T - 0.3$
C_{XP}	-0.9	0.9
C_{YG}	0	0
C_{YS}	0	0
C_{YR}	0	0
C_{ZH}	$0.8 \cdot f_T - 0.15$	$-0.8 \cdot F_T + 0.15$
C_{ZR}	0	0
C_{ZP}	-0.9	0.9
a_{surge}	$-0.2 \cdot f_T + 0.3$	$0.2 \cdot f_T - 0.3$
a_{sway}	0	0
a_{heave}	$0.8 \cdot f_T - 0.15$	$-0.8 \cdot F_T + 0.15$

Πίνακας 5 Συντελεστές που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των επιταχύνσεων

Έπειτα ακολουθεί η περιγραφή του τρόπου υπολογισμού των επιταχύνσεων του κέντρου βάρους του πλοίου. Σημειώνεται πως για την κατάσταση HSM, ορισμένες επιταχύνσεις λαμβάνουν μηδενική τιμή, μέσω των συντελεστών που βρίσκονται στον πίνακα 5.



Εικόνα 7 Σχηματική αναπαράσταση των κινήσεων του πλοίου

- $a_{\text{pitch}} = f_p * \left(\frac{3.1}{\sqrt{g * L}} + 1 \right) * \varphi * \frac{\pi}{180} \left(\frac{2 * \pi}{T_\varphi} \right)^2$

φ , φωνία διαμήκους κλήσης για $F_p = 1$

$$f_{p_a_pitch} = f_{fa} * [0.28 - (5 * f_T * 6) * L * 10^{-5}].$$

$$\lambda_\varphi = 0,6 * (1 + f_T) * L$$

$$T_\varphi = \sqrt{\frac{2 * \pi * \lambda_\varphi}{g}}$$

- $a_{\text{roll}} = f_p * \theta * \frac{\pi}{180} \left(\frac{2 * \pi}{T_\theta} \right)^2$

$k_r = 0.4 * B$, για φόρτωση εναλλάξ με βαρύ φορτίο

$k_r = 0.4 * B$, για φόρτωση εναλλάξ με ερματισμό

$GM = 0.2 * B$, για φόρτωση εναλλάξ με βαρύ φορτίο

$GM = 0.25 * B$, για φόρτωση εναλλάξ με ερματισμό

θ , φωνία εγκάρσιας κλήσης για $F_p = 1$

$$f_{p_a_pitch} = f_{fa} * [0.23 - 4 * f_T * B * 10^{-4}].$$

$$T_\theta = \frac{2,3 * \pi * k_r}{\sqrt{g * GM}}$$

- $a_{\text{heave}} = f_p * g * a_0$

$$f_p = f_{fa} * [(0.27 + 0.02 * f_T) - 17 * L * 10^{-5}]$$

a_0 : Παράμετρος επιτάχυνσης.

$$a_0 = (1,58 - 0,47 * C_B) * \left(\frac{2,4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} + \frac{600}{L^2} \right)$$

- R : Κατακόρυφη συντεταγμένη του κέντρου περιστροφής του πλοίου

$$R = \min \left(\frac{D}{4}, \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2} \right)$$

- a_x, a_y, a_z επιταχύνσεις στο κέντρο όγκου του κύτους όπου βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο.

- f_{cd} : Συντελεστής για κοινή πιθανότητα εμφάνισης πυκνότητας υγρού φορτίου και μέγιστης θαλάσσιας κατάστασης για διάρκεια σχεδιασμού 25 ετών. $f_{cd} = 1$ (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως)

- ρ_L : Πυκνότητα υγρού στη δεξαμενή φορτίου.

- x_0, y_0, z_0 : Συντεταγμένες σημείου αναφοράς. Σύμφωνα με εμπειρικές παρατηρήσεις είναι το σημείο που απέχει περισσότερο από το $0,45 * L$ και βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της δεξαμενής.

Ως σημείο αναφοράς, λαμβάνεται το σημείο στο οποίο μεγιστοποιείται η τιμή του V_j το οποίο υπολογίζεται για όλα τα σημεία του ανώτατου ορίου για κάθε δεξαμενή.

$$V_j = a_x (x_j - x_G) + a_y (y_j - y_G) + (a_z + g) (z_j + z_G)$$

x_j, y_j, z_j Συντεταγμένες ανώτατου ορίου δεξαμενής.

4.4.3 Δυναμική πίεση για ξηρό φορτίο χύδην

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό της δυναμικής πίεσης που οφείλεται από το φορτίο χύδην $P_{bd, ik(j)} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$ είναι παρόμοια με αυτή των για τα ρευστά φορτία (έρμα) [Part 1, Chart. 4, Sect. 6, 2.4.1]. Πρώτα υπολογίζονται οι επιταχύνσεις στο κέντρο όγκου του πλοίου και στη συνέχεια μετασχηματίζονται σε τοπικό επίπεδο. Η διαφοροποίηση με την Η δυναμική πίεση στις δεξαμενές έρματος $P_{ld, ik(j)}$ συναντάται στον τύπο και στους συντελεστές που χρησιμοποιούνται.

$$P_{bd} = f_{\beta} * \rho_L [0.25 * a_x * (x_G - x) + 0.25 * a_y * (y_G - y) + f_{dc} * K_C * a_z * (z_C - z)]$$

- f_{dc} : Συντελεστής ξηρού φορτίου, λαμβάνεται τιμή για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως: $f_{dc}=0.5$
- x_0, y_0, z_0 : Συντεταγμένες κέντρου όγκου για το κύτος στο οποίο βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο.
- a_x, a_y, a_z επιταχύνσεις στο κέντρο όγκου του κύτους όπου βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο
- Ψ : Υποθηθέμενη γωνία απόκλισης $\Psi = 30^\circ$
- $K_C = (\cos a)^2 + (1 - \sin \Psi) * (\sin a)^2$
- $Z_C = h_{DB} + h_C$
- a : Γωνία μεταξύ οριζόμενου και υπόψη επιπέδου.
- ϕ : Γωνία Pitch.

4.5 Τάση που οφείλεται στην σχετική μετατόπιση/παραμόρφωση των δομικών στοιχείων της διατομής.

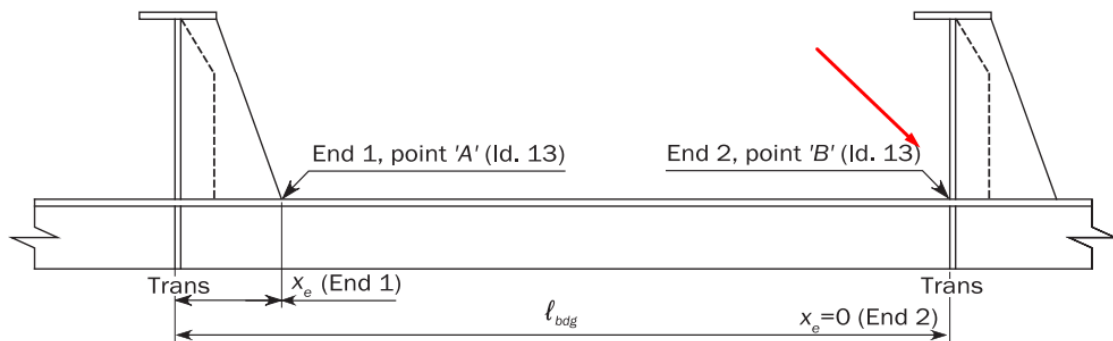
Η τάση αυτή προκαλείται από την παραμόρφωση των δομικών στοιχείων του πλοίου, λόγω των πρωτεύουσών τάσεων. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 4.2.5]

Η τάση αυτή υπολογίζεται τοπικά με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 4.2.6]. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς για τα σημεία στα οποία πραγματοποιείται έλεγχος έναντι κόπωσης, δεν λαμβάνεται υπόψη η τάση από την παραμόρφωση. [Part 1, Chapt. 4, Sect. 4, 1.1.2]. Η τάση αυτή πρέπει να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς όταν τα σημεία μελέτης είναι στην περιοχή των bulkheads. Τα σημεία μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.

Κεφάλαιο 5 Περιοχές Ελέγχου

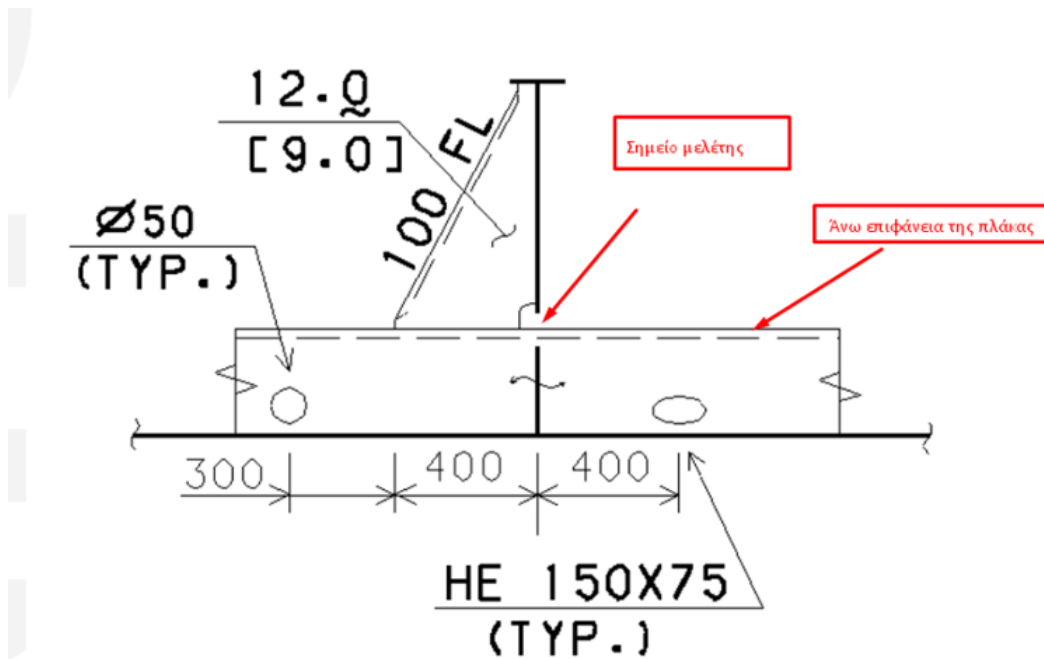
5.1 Καθορισμός Σημείων υπό εξέταση

Οι περιοχές ελέγχου όπου πρόκειται να εξεταστούν σύμφωνα με τους κανονισμούς (Εικόνα 8) είναι σημεία στα οποία τα διαμήκη ενισχυτικά συναντούν τα εγκάρσια ελάσματα του πλοίου. Τέτοια σημεία εμφανίζονται στο εσωτερικό των δεξαμενών έρματος, όπως για παράδειγμα στο διτύθμενο και στις δεξαμενές horper.



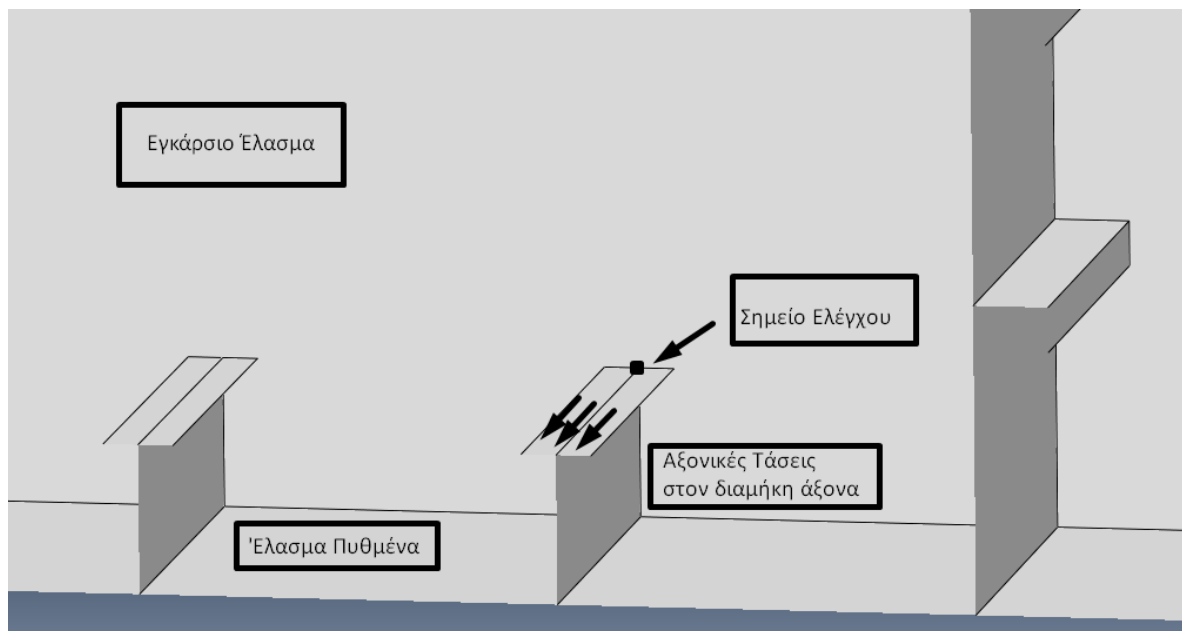
Εικόνα 8 Καθορισμός σημείου υπολογισμού εύρους τάσης.

Στα σημεία αυτά αναλόγως τον τρόπο με τον οποίο έχουν συνδεθεί τα δομικά στοιχεία μεταξύ τους υπολογίζονται και οι συντελεστές συσσώρευσης κόπωσης. Στο πλοίο όπου μελετάται η λεπτομέρεια της σύνδεσης λαμβάνεται από το Trim & Stability του πλοίου και φαίνεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9 Λεπτομέρεια Σύνδεσης από το Trim & Stability

Το σημείο μελέτης αναπαρίσταται και σε τρισδιάστατη μορφή στην εικόνα 10, όπου περιγράφονται και οι αξονικές τάσεις κατά τον διαμήκη άξονα. Σημειώνεται πως για τα σημεία 3 και 4 μελετάται η αξονική τάση στα άκρα της φλάτζας του ενισχυτικού γιατί σε εκείνο το σημείο παρουσιάζεται η μέγιστη μεταβολή τάσης για τις καταστάσεις Sagging και Hogging,



Εικόνα 10 Σημείο Ελέγχου για τα σημεία 1, 2 και 5

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξεταστούν τα κύττα 3 και 5, όπου στην εναλλάξ κατάσταση φόρτωσης έχουμε δυναμικές φορτίσεις από το μεταφερόμενο φορτίο.

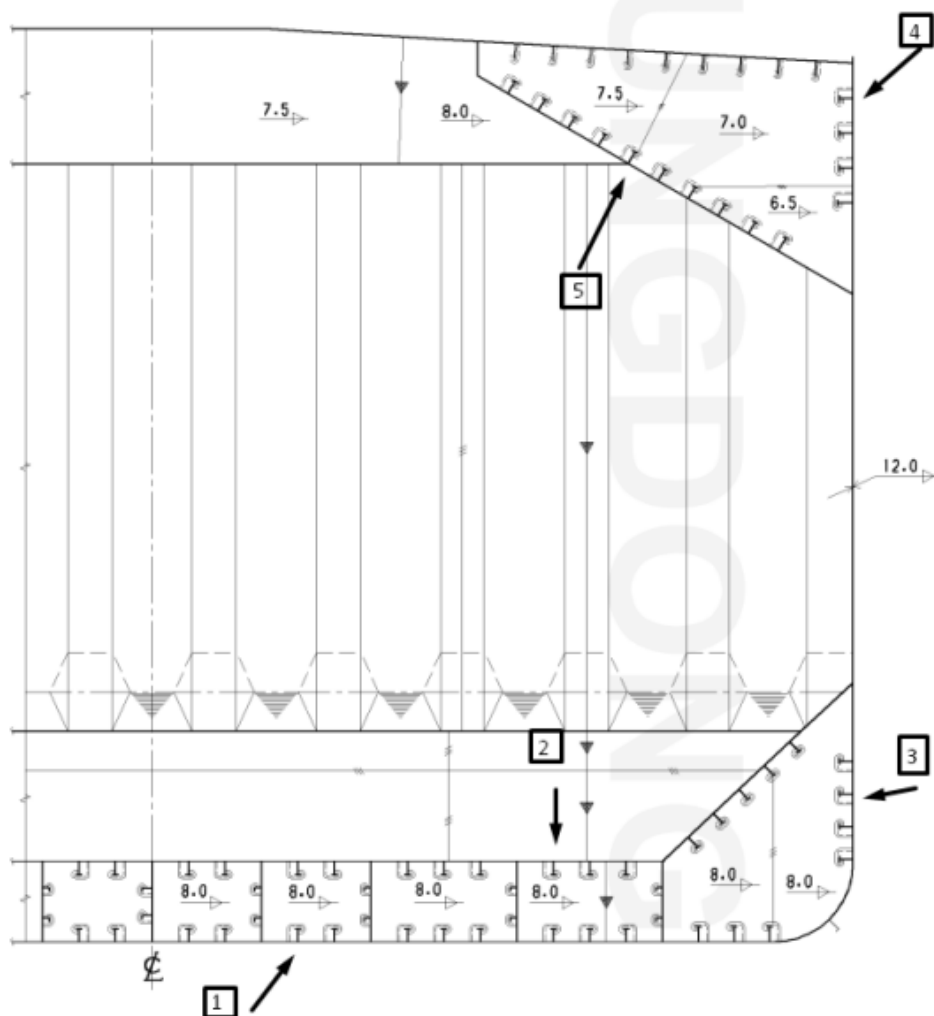
Κύτος 3		Κύτος 5	
Διαμήκης Θέση [m]	139,6 [m]	Διαμήκης Θέση [m]	105,9 [m]

Οι συντεταγμένες των σημείων που θα εξεταστούν αναγράφονται στον πίνακα 6. Η επιλογή της διάταξης των σημείων, εικόνα 11, έγινε ώστε να μπορέσει να αποκτηθεί εικόνα ως προς το πώς μεταβάλλεται και επηρεάζεται το εύρος τάσης αναλόγως :

- Την εγκάρσια θέση του σημείου.
- Την διαμήκη θέση του σημείου.
- Την απόσταση του σημείου από τον ουδέτερο άξονα.
- Το πάχος του ελάσματος.
- Τις διαστάσεις του ενισχυτικού.
- Τις πιέσεις που δέχεται αναλόγως αν βρίσκεται σε δεξαμενή έρματος ή φορτίου.

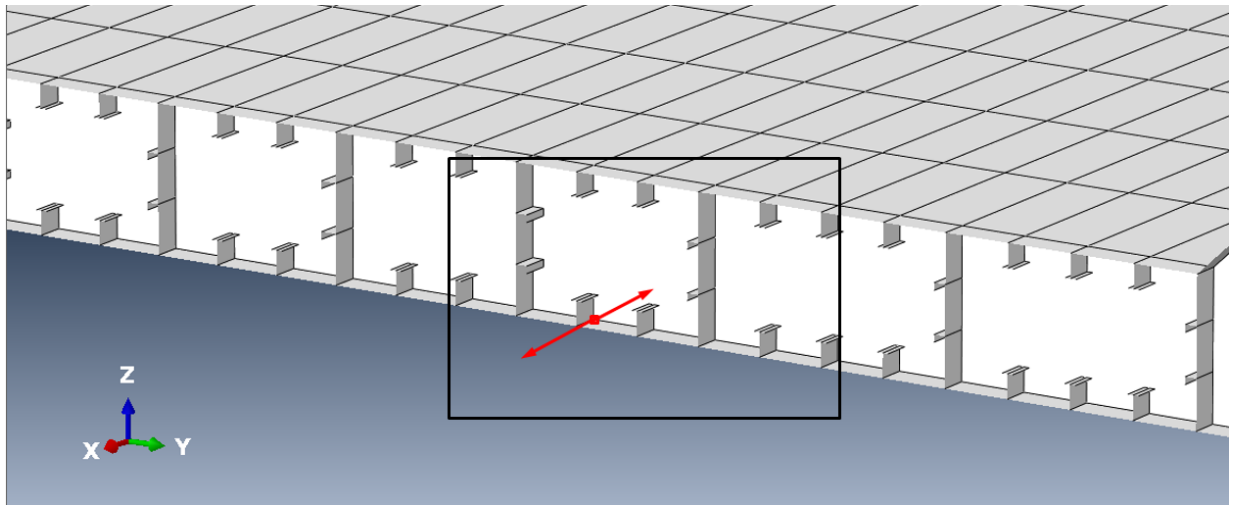
No.	horizontal ,vertical or inclined	Point Coordinates [m]	
		Y	Z
1	horizontal	2,52	0
2	horizontal	8,40	1,85
3	vertical	16,13	1,90
4	vertical	16,13	18,60
5	inclined	10,95	17,89

Πίνακας 6 Point Coordinates [m]



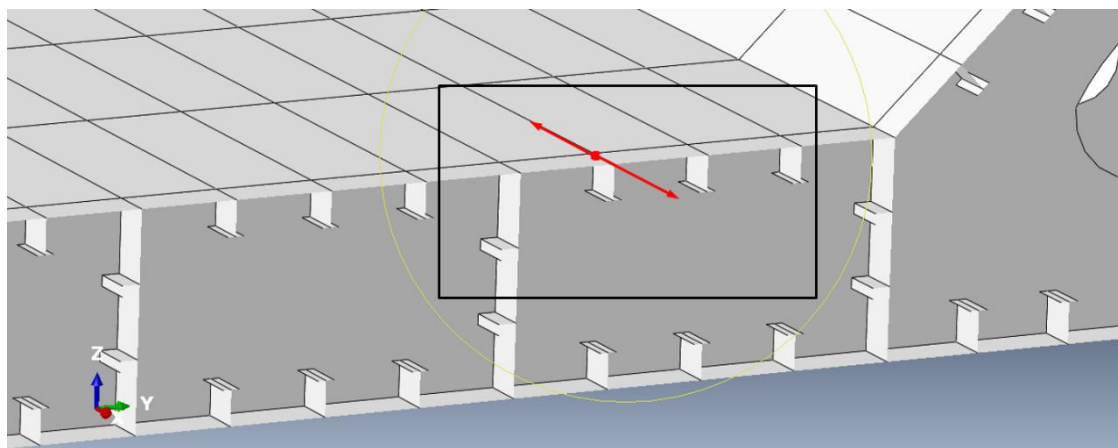
Εικόνα 11 Διάταξη Σημείων.

Στην εικόνα 12 μελετάται το σημείο στον πυθμένα, Σημείο 1, όπου το διάμηκες ενισχυτικό σχήματος T, συναντάει το εγκάρσιο έλασμα «floor» το οποίο βρίσκεται μεταξύ πυθμένα και διπύθμενου. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα αναπαριστούν την τάση στο διάμηκες άξονα.



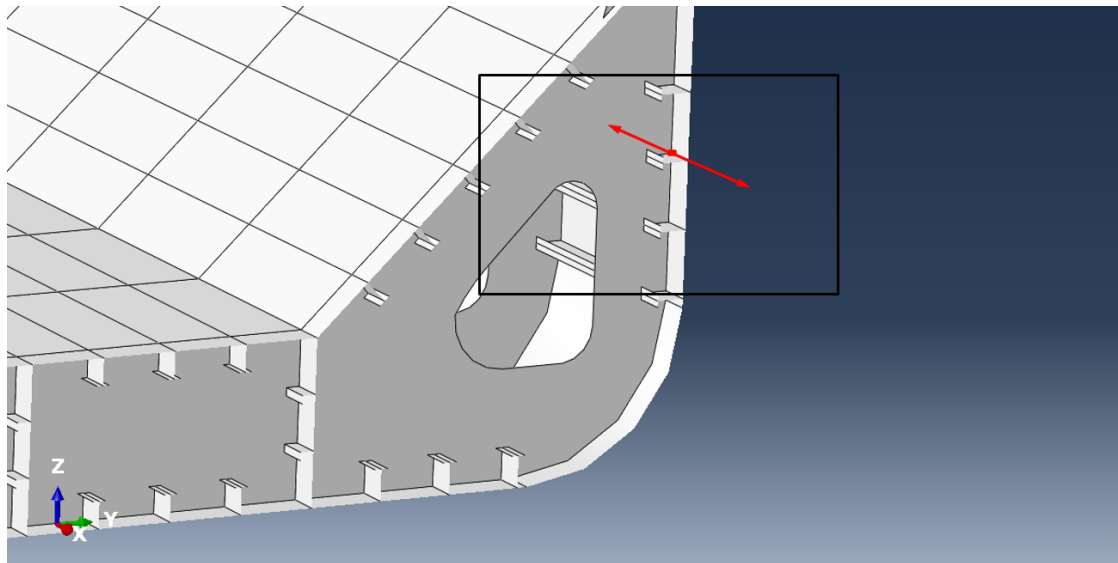
Εικόνα 12 Σημείο 1

Στην εικόνα 13 μελετάται το σημείο στο διπύθμενο, Σημείο 2, όπου το διάμηκες ενισχυτικό σχήματος T, συναντάει το εγκάρσιο έλασμα «floor» το οποίο βρίσκεται μεταξύ πυθμένα και διπύθμενου. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα αναπαριστούν την τάση στο διάμηκες άξονα.



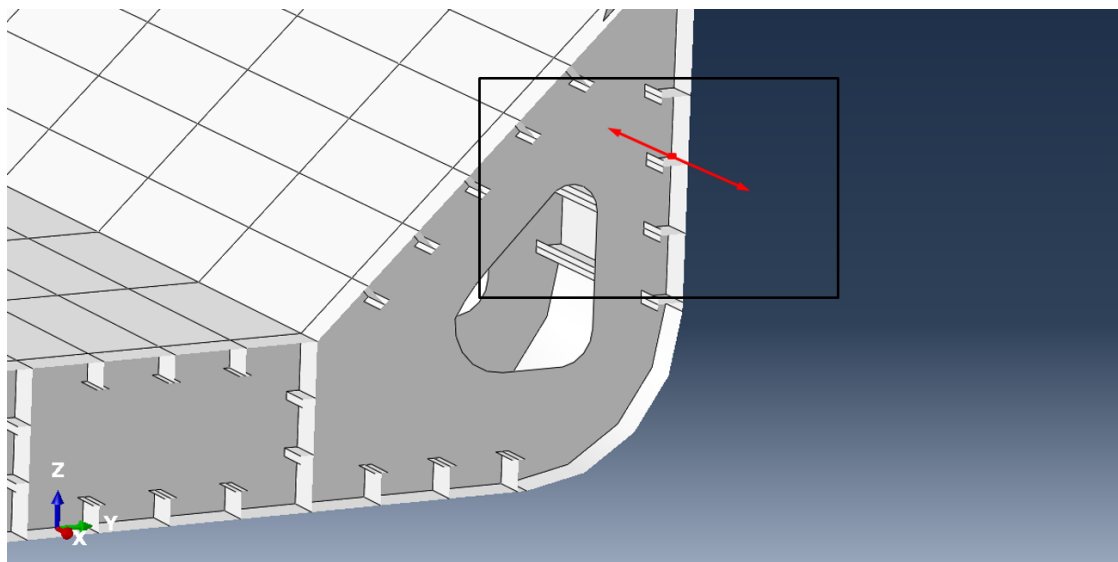
Εικόνα 13 Σημείο 2

Στην εικόνα 14 μελετάται το σημείο στη δεξαμενή έρματος , Σημείο 3, όπου το διάμηκες ενισχυτικό σχήματος T, συναντάει το εγκάρσιο έλασμα «floor» το οποίο βρίσκεται μεταξύ πυθμένα, διπύθμενου και ελάσματος δεξαμενή έρματος. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα αναπαριστούν την τάση στο διάμηκες άξονα.



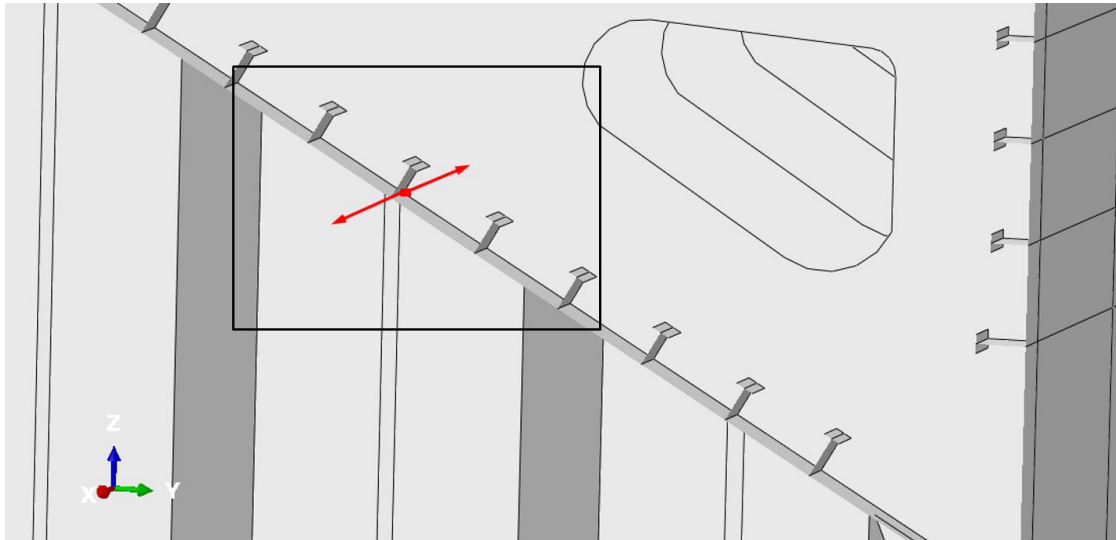
Εικόνα 14 Σημείο 3

Στην εικόνα 15 μελετάται το σημείο στο πλευρικό έλασμα , Σημείο 4, όπου το διάμηκες ενισχυτικό σχήματος T, συναντάει το εγκάρσιο έλασμα «web» το οποίο βρίσκεται μεταξύ καταστρώματος , πλευρικού ελάσματος και ελάσματος δεξαμενή έρματος. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα αναπαριστούν την τάση στο διάμηκες άξονα.



Εικόνα 15 Σημείο 4

Στην εικόνα 16 μελετάται το σημείο στη δεξαμενή έρματος , Σημείο 5, όπου το διάμηκες ενισχυτικό σχήματος T, συναντάει το εγκάρσιο έλασμα «web» το οποίο βρίσκεται μεταξύ καταστρώματος , πλευρικού ελάσματος και ελάσματος δεξαμενής έρματος. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα αναπαριστούν την τάση στο διάμηκες άξονα.



Εικόνα 16 Σημείο 16

5.2 Υπολογισμός εύρους τάσης ενός σημείου

Δεδομένα για το εξεταζόμενο σημείο

Ο αναλυτικός υπολογισμός του εύρους τάσης ενός σημείου παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α. Ο υπολογισμός αυτός έγινε βήμα βήμα προκειμένου να ελεγχθεί αν η χρήση του προγράμματος Excel της Microsoft όπου έγιναν και οι υπολογισμοί των υπόλοιπων σημείων είναι σωστή. Οι συντεταγμένες του σημείου που θα εξεταστεί αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Κύτος	Πάχος ελάσματος [mm]	Συντεταγμένες [m]		
		X	Y	Z
3	18	134,6	5,52	1,8

Στον παρακάτω πίνακα -7- δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των τάσεων για το παραπάνω σημείο. Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων σημείων, βρίσκονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 12 - Αποτελέσματα μεθόδου Simplified Stress Analysis της παρούσας εργασίας, όπου στον πίνακα αυτό περιέχονται και οι αντίστοιχες τιμές από τον υπολογισμό του προσδόκιμου ζωής των δομικών στοιχείων του πλοίου όταν υποβάλλονται σε δυναμική καταπόνηση από μετωπικούς κυματισμούς, δηλαδή στην κατάσταση HSM των κανονισμών.

Αποτελέσματα εύρους τάσεων			
Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast	
σ_{GD} , HSM-1 [Mpa]	σ_{GD} , HSM-2 [Mpa]	σ_{GD} , HSM-1 [Mpa]	σ_{GD} , HSM-2 [Mpa]
81,01	-81,01	81,01	-81,01
σ_{LD} , HSM-1	σ_{LD} , HSM-2	σ_{LD} , HSM-1	σ_{LD} , HSM-2
16,2	-16,2	05,83	-05,83
$\Delta\sigma$ HS [Mpa]		$\Delta\sigma$ HS [Mpa]	
194,42		173,68	

Πίνακας 7 Αποτελέσματα εύρους τάσεων

Κεφάλαιο 6 – Fatigue Life Calculation

6.1 Εισαγωγή

Για τον υπολογισμό της ζωής του πλοίου έναντι κόπωσης, λαμβάνονται υπόψη όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα παρακάτω :

- Το εύρος τάσης όπου εκτίθεται το πλοίο για τις οι καταστάσεις HSM-1 & HSM-2.
- Οι υπό εξέταση καταστάσεις φόρτωσης Full Load Arrival & Normal Ballast.
- Το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η μελέτη. Δηλαδή αν βρισκόμαστε σε In air environment ή σε Corrosive environment.

Ένας παράγοντας – συντελεστής ο οποίος καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τα έτη ζωής είναι ο συντελεστής συσσώρευσης βλάβης. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως τα χρόνια ζωής όπου αναμένεται να λειτουργεί το πλοίο και τους κύκλους φόρτισης όπου πρόκειται να συναντήσει στην διάρκεια αυτή. Για την παρούσα μελέτη, θεωρούμε ότι το πλοίο έχει σχεδιαστεί για να αξιοποιείται για χρονική διάρκεια 25 ετών όπου είναι και αυτή όπου αναγράφεται στους κανονισμούς για τον σχεδιασμό πλοίων τύπου Bulk Carrier.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο αναλυτικός υπολογισμός για ένα σημείο προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Έπειτα θα ακολουθήσει και ο υπολογισμός όλων των υπόλοιπων σημείων. Σημειώνεται πως τα έτη ζωής είναι ενδεικτικά για την δυναμική κατάσταση και για τις καταστάσεις φόρτωσης του πλοίου που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

6.2 Υπολογισμός Συσσωρευμένης Βλάβης

Προκειμένου να καθοριστεί η χρονική διάρκεια του πλοίου στην οποία παραμένει ασφαλής η πλεύση του έναντι κατάρρευσης από κόπωση υπολογίζεται ξεχωριστά η συσσώρευση βλάβης τόσο σε In – air environment όσο και σε Corrosive environment. Η μεθοδολογία που ακολουθείται παραμένει ίδια, με τη διαφοροποίηση να εντοπίζεται σε ορισμένους συντελεστές. [Part 1, Chapt. 9, Sect. 3, 5.2.1]

$$D_{E(j)} = \frac{\alpha_{(j)} * N_D}{K_2} * \frac{\Delta\sigma_{FS,(j)}^m}{(\ln N_R)^{\frac{m}{\xi}}} * \mu_{(j)} * \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)$$

Όπου :

- N_D Ο συνολικός κύκλων φόρτισης που δέχεται το πλοίο κατά την διάρκεια της σχεδίασης ζωής του έναντι κόπωσης.

$$N_D = 7,557 * 10^6 * \frac{f_0 * T_D}{4 * \log L}$$

- f_0 Παράγοντας που λαμβάνει υπόψη την διάρκεια ζωής του πλοίου εξαιρώντας την χρονική διάρκεια φόρτωσης – εκφόρτωσης.
- T_D Χρόνος ζωής για τον οποίο σχεδιάζεται το πλοίο,

$$T_D = 25 \text{ χρόνια}$$

- $\alpha_{(j)}$: Συντελεστής χρόνου για κάθε κατάσταση φόρτωσης.

Όπως έχει αναφερθεί οι τιμές που προκύπτουν για τα έτη ζωής είναι ενδεικτικές. Αυτό επιβεβαιώνεται αφού αν αθροιστούν οι συντελεστές $\alpha(j)$ όπου αποτελούν κλάσματα της ζωής του πλοίου δεν έχουν ως αποτέλεσμα τη μονάδα, δηλαδή το 100% της ζωής του πλοίου και των καταπονήσεων που δέχεται.

a(j)	Fraction of time for each loading condition of bulk carriers	
	Alternate	Normal Ballast
BC-A	0,25	0,2

N_R : Αριθμός κύκλων φόρτισης που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης αναφοράς, 10^{-2}

$$N_R = 100$$

- ξ , Παράμετρος σχήματος Weibull
 $\xi=1$
- $\Gamma(\chi)$ Ολοκληρωμένη συνάρτηση Γάμα.
- $K_2, m, \Delta\sigma_q$: Σταθερές που λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες, για *in air environment & corrosive environment*. Για εξαρτήματα που έχουν ενωθεί με συγκόλληση, οι τιμές λαμβάνονται από για Class D στους παρακάτω πίνακες, σύμφωνα με τους I.A.C.S..

Class	K ₁		m	Standard Deviation δ	K ₂	Design stress range at 10 ⁷ cycles	Design stress range at 2*10 ⁶ cycles
	K ₁	log ₁₀ K ₁		log ₁₀ δ		$\Delta\sigma_q$ N/mm ²	N/mm ²
B	2.343E+18	15,3697	4	0,1821	1.01E15	100,2	149,9
C	1.082E+17	14,0342	3,5	0,2041	4.23E13	78,2	123,9
D	3.988E+15	12,6007	3	0,2095	1.52E12	53,4	91,30

Πίνακας 8 In Air - Environment

Class	m	K ₂	Design stress range at 2* 10 ⁶ cycles
B_{corr}	4	5.05 x 10 ¹⁴	126,1
C_{corr}	3,5	2.12 x 10 ¹³	101,6
D_{corr}	3	7.60 x 10 ¹¹	72,4

Πίνακας 9 Corrosive Environment

$\mu_{(j)}$: συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αλλαγή της αντίστροφης κλίσης της καμπύλης S-N. Ο συντελεστής διαφοροποιείται σύμφωνα με τα παρακάτω αν οι υπολογισμοί γίνονται σε in-air ή corrosive environment.

Για in-air environment

$$\mu_{(j)} = 1 - \frac{\left\{ \gamma \left(1 + \frac{m}{\xi}, v_{(j)} \right) - v_{(j)}^{\frac{-\Delta m}{\xi}} * \gamma \left(1 + \left(\frac{m + \Delta m}{\xi}, v_{(j)} \right) \right) \right\}}{\Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)}$$

$$v_{(j)} = \left(\frac{\Delta \sigma_q}{\Delta \sigma_{FS(j)}} \right)^\xi * \ln N_R$$

$\Delta m = 2$, μεταβολή της αντίστροφης κλίσης της καμπύλης S-N.

$\gamma(\alpha, \chi)$ Ημιτελής συνάρτηση Γάμα.

Για corrosive environment

$$\mu_{(j)} = 1$$

$\Delta \sigma_{FS(j)}$ Εύρος τάσης κόπωσης, βασιζόμενη στο εύρος τάσης $\Delta \sigma_{HS(j)}$, το οποίο υπολογίζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο.

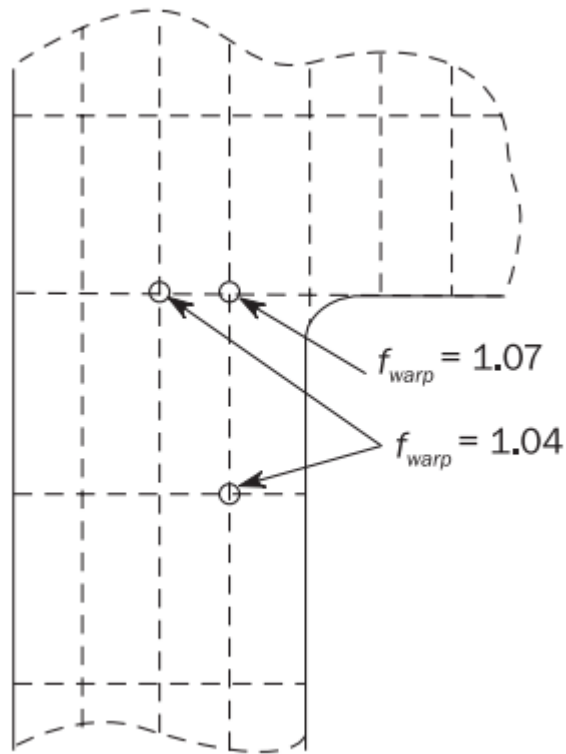
$$\Delta \sigma_{FS(j)} = \max(\Delta \sigma_{FS,i(j)})$$

$$\Delta \sigma_{FS,i(j)} = f_{MEAN,i(j)} * f_{THICK} * f_{WARP} * \Delta \sigma_{HS(j)}$$

$$f_{THICK} = 1 \text{ για } tn50 \leq 22 [mm]$$

$$f_{THICK} = (tn50/22)^n \text{ για } tn50 > 22 [mm]$$

Ο συντελεστής F_{warp} διαφοροποιείται αναλόγως την θέση του σημείου που εξετάζεται, σύμφωνα με την εικόνα 17.



Εικόνα 17 Συντελεστής F_{warp}

$$f_{mean} \begin{cases} \min \left[1, 0.9, 0.2 * \frac{\sigma_{mCor,i(j)}}{2 * \Delta\sigma_{HS i,(j)}} \right], \text{για } \sigma_{mCor,i(j)} \geq 0 \\ \max \left[0.3, 0.9, 0.8 * \frac{\sigma_{mCor,i(j)}}{2 * \Delta\sigma_{HS i,(j)}} \right], \text{για } \sigma_{mCor,i(j)} < 0 \end{cases}$$

$$\sigma_{mCor,i(j)} \begin{cases} \sigma_{mean i,(j)} & \text{για } \sigma_{max} \geq R_{eEq} \\ R_{eEq} - \sigma_{max} + \sigma_{mean i,(j)} & \text{για } \sigma_{max} < R_{eEq} \end{cases}$$

[Part 1, Chapt. 9, Sect. 3 ,3.2.1]

$$\sigma_{max} = \max_{i,(j)} (\Delta\sigma_{HS(j)} + \sigma_{mean i,(j)}) \quad \text{για συγκόλληση}$$

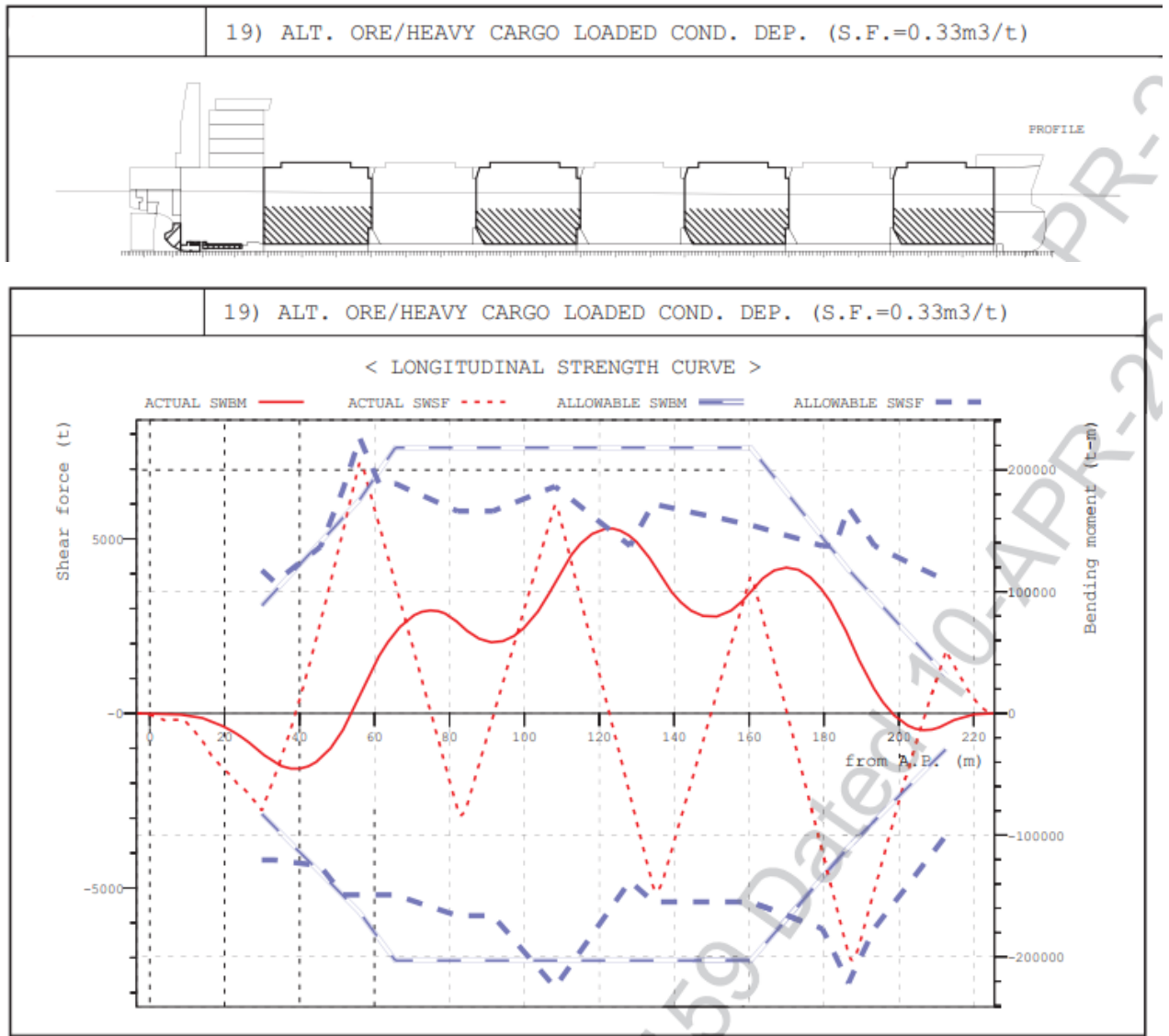
$$R_{eEq} = \max (315, R_{eH})$$

$$\sigma_{mean i,(j)} = \sigma_{GS,(j)} + \sigma_{LS,(j)} + \sigma_{dS,(j)} + \sigma_{mLD,(j)} + \sigma_{mGD,(j)}$$

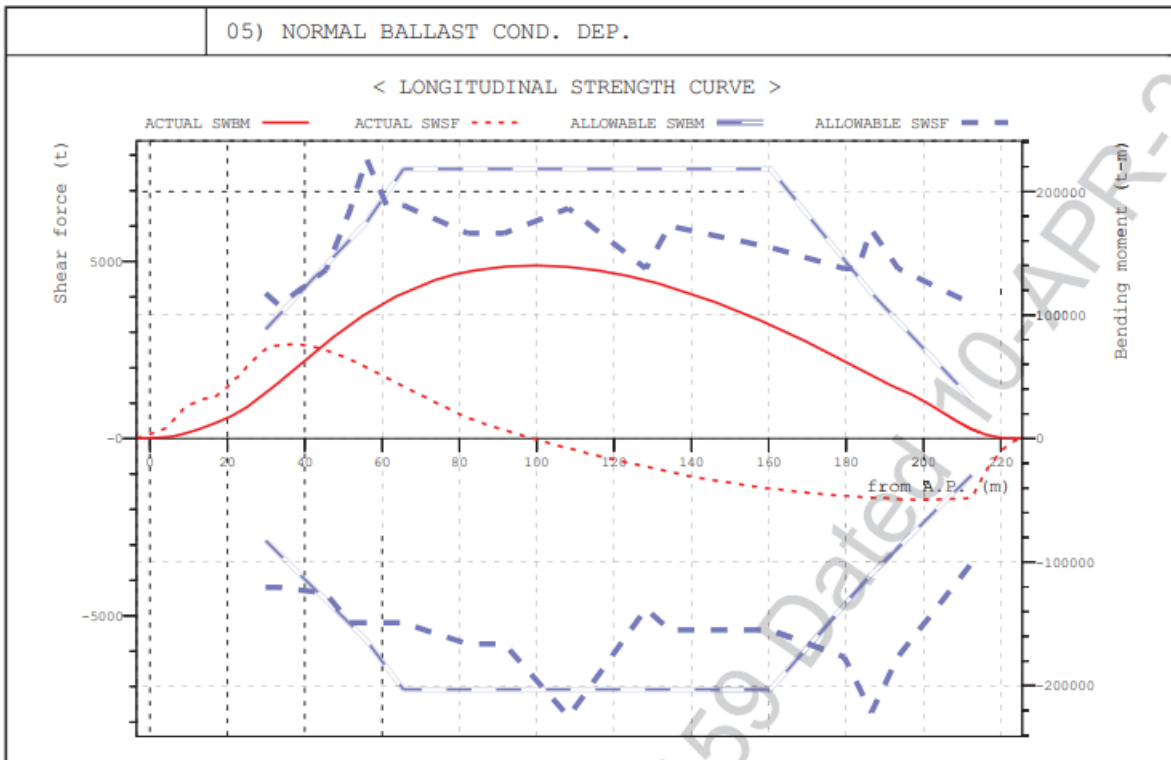
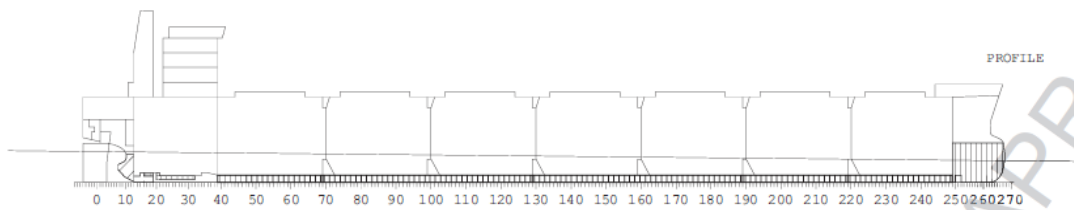
$\sigma_{dS,(j)}$, Υπολογίζεται με την μέθοδο των πεπερασμένων σημείων.

$$\sigma_{GS,(j)} = \frac{f_c * f_{NA} * K_a * \beta(j) * M_{sw} * (z - z_n)}{I_{y-n50}}, \text{ [Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 3.2.1]}$$

Οι συντελεστές f_c , f_{NA} , K_a & $\beta(j)$ και οι τιμές I_{y-n50} , z_n λαμβάνονται από την διαδικασία υπολογισμού του εύρους τάσης στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι ροπές κάμψης σε ήρεμο νερό λαμβάνονται από το Trim & Stability του πλοίου σύμφωνα με την κατάσταση 19, εικόνα 18, όπου το πλοίο έχει εναλλάξ καταναμημένο στις δεξαμενές του το φορτίο που μεταφέρει και από την κατάσταση 5, εικόνα 19, για την κατάσταση Normal Ballast.



Εικόνα 18 Διαγράμματα από το Trim & Stability για την κατάσταση Full Load Alternate



Εικόνα 19 Διαγράμματα από το Trim & Stability για την κατάσταση Normal Ballast.

$$\sigma_{LS,(j)} = \frac{K_n * s * K_b * l_{bdg}^2 * (\eta_s * P_{s,(j)} + \eta_{is} * P_{is,(j)} + \eta_{bs} * P_{bs,(j)}) * \left(1 - \frac{x_e}{l_{bdg}} + \frac{x_e^2}{l_{bdg}^2}\right)}{12 * Z_{eff-n50}}$$

[Part 1, Chapt. 9, Sect. 4, 4.2.1]

Οι τιμές των συντελεστών $K_n, s, K_b, l_{bdg}^2, Z_{eff-n50}, x_e$ λαμβάνονται από το κεφάλαιο 4.

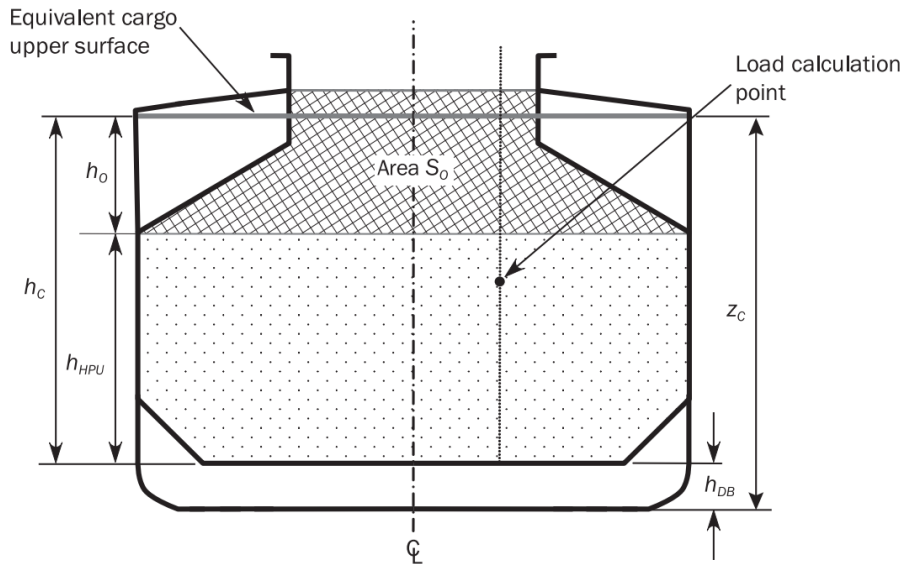
LOCATION	HYDROSTATIC PRESSURE, Ps [Kn/m ²]
$z \leq T_{LC}$	$\rho * g * (T_{LC} - z)$
$z > T_{LC}$	0

Πίνακας 10 Υδροστατική Πίεση

$P_{bs,(j)} = K_c * \rho_c * g * (z_c - z)$, αλλά δεν μπορεί να πάρει τιμή μικρότερη του μηδενός.

Οι τιμές K_c, z_c λαμβάνονται από το κεφάλαιο 4.

$$P_{is,(j)} = f_{cd} * \rho_L * g * (z_{top} - z + 0.5 * h_{air})$$



$$\sigma_{mGD,(j)} = \frac{\sigma_{GD,i1(j)} + \sigma_{GD,i2(j)}}{2}$$

Οι τιμές των τάσεων $\sigma_{GD,i1(j)}$ και $\sigma_{GD,i2(j)}$ λαμβάνονται από την μέθοδο « Simplified Sterss Analysis».

$$\sigma_{mLD,(j)} = \frac{\sigma_{LD,i1(j)} + \sigma_{LD,i2(j)}}{2}$$

Οι τιμές των τάσεων $\sigma_{GD,i1(j)}$ και $\sigma_{GD,i2(j)}$ λαμβάνονται από την μέθοδο « Simplified Sterss Analysis».

Ο χρόνος ζωής T_F υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους :

- $T_F = \frac{T_D}{D_{AIR}}$, , $\frac{T_D}{D_{AIR}} \leq (T_D - T_C)$
- $T_F = T_D - T_C + (\frac{T_D}{D_{AIR}} - T_D + T_C) * \frac{T_{AIR}}{D_{CORR}}$, , otherwise

T_C Χρόνος σε διαβρωτικό περιβάλλον, λαμβάνεται ίσος με 10 χρόνια.

T_D Χρόνος σχεδίασης ζωής του πλοίου, λαμβάνεται ίσος με 25 χρόνια.

$$D_{AIR} = \sum_{j=1}^{n_{LC}} D_{E,AIR(j)}$$

$$D_{CORR} = \sum_{j=1}^{n_{LC}} D_{E,CORR(j)}$$

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των παραπάνω τύπων.

v(j)	
Full Load Alternate	Normal Ballast
8,47	10,96

μ(j)		
In air enviroment		Corrosive enviroment
Full Load Alternate	Normal Ballast	1
0,76	0,67	

Full Load Alternate			
Sagging	Hogging	Sagging	Hogging
DE,air(2)	DE,air(1)	DE, corr (2)	DE, corr (1)
0,25	0,14	0,21	0,19
Dair		Dcorr	
0,39		0,40	

Normall Ballast			
Sagging	Hogging	Sagging	Hogging
DE,air(2)	DE,air(1)	DE, corr (2)	DE, corr (1)
0,14	0,11	0,21	0,17
Dair		Dcorr	
0,35		0,38	

Ο χρόνος ζωής T_F υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους :

- $T_F = \frac{T_D}{D_{AIR}}$, $\frac{T_D}{D_{AIR}} \leq (T_D - T_C)$
- $T_F = T_D - T_C + \left(\frac{T_D}{D_{AIR}} - T_D + T_C \right) * \frac{D_{AIR}}{D_{CORR}}$, otherwise

T_C Χρόνος σε διαβρωτικό περιβάλλον, λαμβάνεται ίσος με 10 χρόνια.

T_D Χρόνος σχεδίασης ζωής του πλοίου, λαμβάνεται ίσος με 25 χρόνια.

$$D_{AIR} = \sum_{j=1}^{n_{LC}} D_{E,AIR(j)}$$

$$D_{CORR} = \sum_{j=1}^{n_{LC}} D_{E,CORR(j)}$$

T _F [years]	Full Load Alternate	Normal Ballast
		62,88

Πίνακας 11 Χρόνος Ζωής

Σημειώνεται πως ένα πλοίο κατά την πλεύση του δέχεται πέρα από την δυναμική κατάσταση καταπόνησης HSM, δηλαδή μετωπικούς κυματισμούς, επιπλέον καταστάσεις όπως, BSR όπου το πλοίο δέχεται τους κυματισμούς από το πλάι, OST όπου το πλοίο δέχεται τους κυματισμούς υπό γωνία από την πρύμνη κ.α. επομένως οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές για την διάρκεια ζωής των δομικών στοιχείων του πλοίου.

Στους παρακάτω πίνακες, δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από το εύρος τάσης καθώς και για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής για όλα τα σημεία που μελετήθηκαν κατά τη μέθοδο Simplified Stress Analysis.

Πίνακας αποτελεσμάτων για το κύτος Νο.3

NO	Hold	horizontal or vertical	Point Coordinates [m]			Point 'A' or 'B'	'T.B.(TYP)' or 'B-13 ELEV. '	lbdg [m]	s[mm]	Διαστάσεις ενισχυτικού "T" [mm]				Πάχος Ελάσματος [mm]	η _w	η _{ld}	η _{bd}	Full Load Alternate		Normal Ballast	
			X	Y	Z					Κορμός		Πέλμα						Δσ [Mpa]	Tf [Years]	Δσ [Mpa]	Tf [Years]
										Μήκος	Πάχος	Μήκος	Πάχος								
1	3	horizontal	139,61	2,52	0	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	18	18	-1	0/1	0	196,6	48,5	175,2	65,5
2	3	horizontal	139,61	8,40	1,85	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	18	18	-1	0/1	0	184,7	53,4	170,2	67,9
3	3	vertical	139,61	16,13	1,90	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	15	17	-1	0/1	0	159,5	130,7	145,8	132,1
4	3	vertical	139,61	16,13	18,60	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	15	17	-1	0/1	0	163,8	125,4	148,7	129,4
5	3	inclined	139,61	10,95	17,89	B	T.B.(TYP)	2,61	820	350	11	150	15	23	-1	0/1	0	181,7	56,73	169,9	60,1

Πίνακας αποτελεσμάτων για το κύτος Νο.5

1	5	horizontal	105,89	2,52	0	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	18	18	-1	0/1	0	188,7	51,7	169,4	67,8
2	5	horizontal	105,89	8,40	1,85	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	18	18	-1	0/1	0	175,4	73,9	161,6	85,9
3	5	vertical	105,89	16,13	1,90	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	15	17	-1	0/1	0	157,3	147,8	144,3	146,2
4	5	vertical	105,89	16,13	18,60	B	T.B.(TYP)	2,61	840	300	11	140	15	17	-1	0/1	0	161,1	128,6	149,7	131,1
5	5	inclined	105,89	10,95	17,89	B	T.B.(TYP)	2,61	820	350	11	150	15	23	-1	0/1	0	179,4	59,6	165,5	62,3

Πίνακας 12 Αποτελέσματα μεθόδου Simplified Stress Analysis

Κεφάλαιο 7 Μελέτη με τη μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων

Σύμφωνα με τους κανονισμούς I.A.C.S., στα κεφάλαια 7,8 και 9 περιγράφονται οι απαιτήσεις και η διαδικασία για τον σχεδιασμό και τη μελέτη του μοντέλου με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method), για τον έλεγχο της μεταλλικής κατασκευής έναντι διαρροής, λυγισμού και κόπωσης, ενώ καθίσταται υποχρεωτική για πλοία με μήκος μεγαλύτερο από 150 m.

Η μεθοδολογία υποδιαιρείται σε τρία στάδια.

- Cargo hold analysis Για την εκτίμηση της αντοχής σε διαρροή και λυγισμό όλων των διαμηκών κατασκευαστικών στοιχείων, των PSM και των φρακτών
- Fine mesh analysis: Για την εκτίμηση των τάσεων σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες.
- Very fine mesh analysis: Μόλις πραγματοποιηθεί η fine mesh analysis, πραγματοποιείται εκ νέου ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία για ορισμένα κρίσιμα σημεία τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με πολύπλοκη γεωμετρία και απαιτείται έλεγχος με πυκνότερο πλέγμα για όσο το δυνατόν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρόλο όπου πραγματοποιείται μελέτη έναντι κοπώσεως, στόχος της χρήσης των πεπερασμένων στοιχείων είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκαν με την Simplified Stress Analysis, επομένως για ακολουθηθεί η διαδικασία που περιγράφεται στο το πρώτο και δεύτερο στάδιο, εφαρμόζοντας ωστόσο όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή ανάλυση γίνεται.

7.1 Κατασκευαστική Μοντελοποίηση

Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για τον έλεγχο αντοχής, γίνεται ο σχεδιασμός τριών αμπαριών, με το μεσαίο αμπάρι να αποτελεί το σημείο στο οποίο γίνονται οι έλεγχοι. Για τον σχεδιασμό του μοντέλου, πραγματοποιείται αναπαράσταση όλων των ελασμάτων από τα οποία αποτελείται το πλοίο. Πιο συγκεκριμένα :

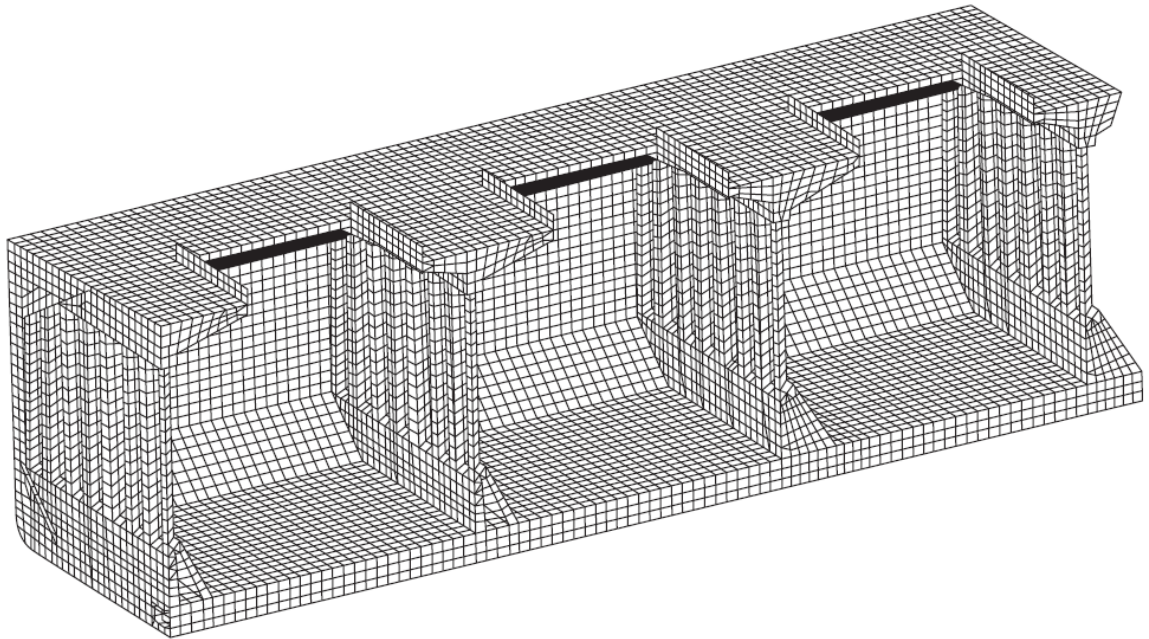
Αναλυτικά, τα κατασκευαστικά στοιχεία που πρέπει να μοντελοποιηθούν είναι τα εξής:

- Εσωτερικό και εξωτερικό περίβλημα της γάστρας
- Κύριο κατάστρωμα
- Έδρες και σταθμίδες (Girders) του διτύθμενου
- Ενισχυμένοι νομείς (Webs)
- Στόμια ανοίγματος κυτών (Hatch Coamings)
- Bulkheads
- Διαμήκη και εγκάρσια ενισχυτικά.

7.2 Ανάλυση Πλέγματος

Το πλέγμα στο οποίο θα αναλυθεί το μοντέλο στη συνέχεια προκειμένου να μπορέσει να δώσει αξιόπιστα και ικανοποιητικά αποτελέσματα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις :

- Κατά το εγκάρσιο, οι διαστάσεις των στοιχείων δεν θα πρέπει να ξεπερνά την απόσταση των ενισχυτικών κατά το διάμηκες.
- Aspect Ratio - Ο λόγος μεταξύ επιμήκους και εγκάρσιας ή κατακόρυφης πλευράς για τα shell elements δεν θα πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 3.
- Η χρήση των τριγωνικών στοιχείων θα πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατόν.
- Δεν είναι απαραίτητη η σχεδίαση και η αναπαράσταση των μικρών ανοιγμάτων στις έδρες.
- Στα σημεία όπου η γεωμετρία είναι πολύπλοκη, πρέπει να αυξηθεί η πυκνότητα του πλέγματος για να ληφθούν όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα.



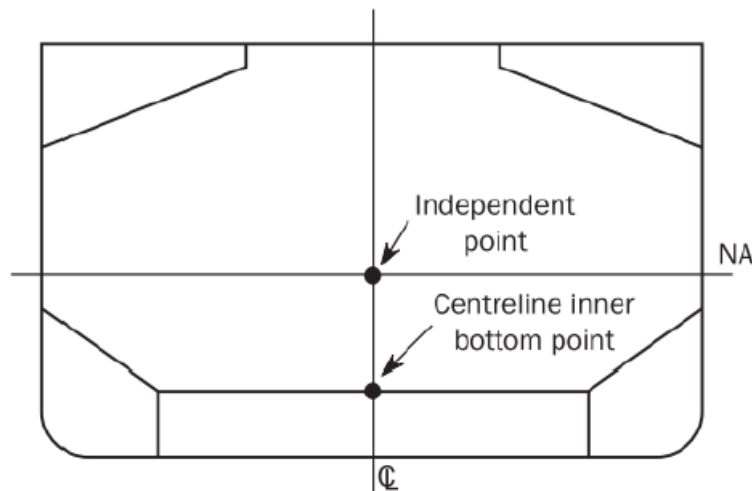
Εικόνα 20 Παράδειγμα πλέγματος

7.3 Συνοριακές Συνθήκες

Οι συνοριακές συνθήκες πρέπει να εφαρμοστούν στα άκρα του μοντέλου, δηλαδή στην παρούσα διπλωματική εργασία, στην πρωραία διατομή του αμπαριού 3 και στην πρυμναία διατομή του αμπαριού 5. Σκοπός της εφαρμογής των συνοριακών συνθηκών είναι να γίνει προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών, περιορίζοντας ορισμένους βαθμούς ελευθερίας. Σημειώνεται ότι οι συνοριακές συνθήκες εφαρμόζονται στο μοντέλο μέσω Independent Points αφού πρώτα δημιουργηθεί άκαμπτη σύνδεση μεταξύ των ακραίων σημείων της διατομής του μοντέλου και των Independent Points.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [Part 1, Chapt. 7, Sect. 2, 5.5.3] για όλα τα αμπάρια ενός πλοίου, εκτός από το πρυμναίο και το πλωριό, εφαρμόζονται οι παρακάτω περιορισμοί. Οι κανονισμοί αυτοί εφαρμόζονται στα διαμήκη στοιχεία της κατασκευής και όχι στα Bulkheads.

Location	Translation			Rotation		
	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
Aft End						
Independent Point	-	Fix	Fix	M_{T-end}	-	-
Cross Section	-	Rigid Link	Rigid Link	Rigid Link	-	-
Fore End						
Independent Point	-	Fix	Fix	Fix	-	-
Intersection of inner bottom and centerline	Fix	-	-	-	-	-
Cross Section	-	Rigid Link	Rigid Link	Rigid Link	-	-



Rigid Link: Η άκαμπτη σύνδεση σύμφωνα με την οποία ενώνονται οι κόμβοι των διαμηκών στοιχείων με ένα ανεξάρτητο σημείο (independent point), το οποίο βρίσκεται πάνω στον ουδέτερο άξονα της διατομής.

Η σύνδεση μεταξύ του σημείου στον ουδέτερο άξονα και των σημείων της διατομής αποσκοπεί στην επίτευξη σταθερής απόστασης μεταξύ του ουδέτερου άξονα και κάθε κόμβου.

7.4 Συνδυασμοί Φορτίσεων που εφαρμόζονται στη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων

Επιπλέον στους κανονισμούς, [Pt1.Ch4.Sec8], περιγράφονται, για την ανάλυση της αντοχής έναντι κόπωσης, οι συνδυασμοί των φορτίσεων που πρέπει να ασκηθούν στα αμπάρια, σύμφωνα με την εξεταζόμενη κατάσταση δυναμικής φόρτισης που μελετάται.

Για τις δυναμικές καταστάσεις φόρτισης (Local Loads) HSM-1 και HSM-2 όπου εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία για την Full Load Alternate κατάσταση, ασκούνται τα παρακάτω φορτία [Pt1.Ch4].

- Βάρος της μεταλλικής κατασκευής, (στατική φόρτιση)
- Εσωτερικές δυναμικές πιέσεις λόγω επιτάχυνσης φορτίου (δυναμική φόρτιση)
- Εσωτερικές πιέσεις φορτίου (στατική φόρτιση)
- Εξωτερικές υδροστατικές πιέσεις λόγω θάλασσας (στατική φόρτιση)
- Εξωτερικές υδροδυναμικές πιέσεις λόγω κυματισμών (δυναμική φόρτιση)

Οι παραπάνω πιέσεις, είναι οι ίδιες που υπολογίζονται και στο παραπάνω κεφάλαιο, για τον υπολογισμό του εύρους τάσης, με την μέθοδο Simplified Stress Analysis.

7.5 Target Values

Οι παραπάνω φορτίσεις δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα ως προς τις φορτίσεις που δέχεται το πλοίο ως δοκός. Επομένως πρέπει να τροποποιηθούν ώστε οι για την εξεταζόμενη κατάσταση φόρτισης, το σύνολο των φορτίσεων που δέχεται το πλοίο ως δοκός, να προσομοιάζει όσο το δυνατόν πιο κοντά τις πραγματικές φορτίσεις. Οι επιθυμητές τιμές που ορίζονται από τους κανονισμούς σε ορισμένες θέσεις, ονομάζονται Target Values. Οι τιμές αυτές επιτυγχάνονται ασκώντας στο μοντέλο, συγκεκριμένες δυνάμεις και ροπές σε κατάλληλες θέσεις.

7.5.1. Επιθυμητή Διατμητική Δύναμη

Για τις διατμητικές δυνάμεις οι target values που ελέγχονται βρίσκονται στην πρυμναία και $Q_{\text{targ-aft}}$ στην προωαία φρακτή $Q_{\text{targ-fwd}}$ του μεσαίου αμπαριού. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο :

$$\text{An } Q_{\text{FWD}} \geq Q_{\text{AFT}}$$

$$Q_{\text{targ-aft}} = C_{\text{SF-LC}} Q_{\text{SW-neg}} - \Delta Q_{\text{swa}} + f_{\beta} |C_{\text{QW}}| Q_{\text{WV-neg}}$$

$$Q_{\text{targ-fwd}} = C_{\text{SF-LC}} Q_{\text{SW-pos}} + \Delta Q_{\text{swf}} + f_{\beta} |C_{\text{QW}}| Q_{\text{WV-pos}}$$

$$\text{An } Q_{\text{FWD}} < Q_{\text{AFT}}$$

$$Q_{\text{targ-aft}} = C_{\text{SF-LC}} Q_{\text{SW-pos}} + \Delta Q_{\text{swa}} + f_{\beta} |C_{\text{QW}}| Q_{\text{WV-pos}}$$

$$Q_{\text{targ-fwd}} = C_{\text{SF-LC}} Q_{\text{SW-neg}} - \Delta Q_{\text{swf}} + f_{\beta} |C_{\text{QW}}| Q_{\text{WV-neg}}$$

- $C_{\text{SF-LC}}$ το ποσοστό της επιτρεπόμενης διατμητικής δύναμης σε ήρεμο νερό, για την εξεταζόμενη κατάσταση φόρτωσης.
- $Q_{\text{SW-pos}}$ $Q_{\text{SW-neg}}$ οι επιτρεπόμενες διατμητικές δυνάμεις σε ήρεμο νερό
- ΔQ_{swf} ΔQ_{swa} Οι διορθώσεις των διατμητικών δυνάμεων στην πρυμναία και προωαία φρακτή του μεσαίου κύτους για Bulk Carriers
- $Q_{\text{WV-pos}}$ $Q_{\text{WV-neg}}$ Οι διατμητικές δυνάμεις λόγω κυματισμών για τη δεδομένη δυναμική κατάσταση φόρτισης.

7.5.2. Διόρθωση Διατμητικής Δύναμης

Σύμφωνα με τους κανονισμούς [Pt1.Ch7.Sec2. 4.4], υπάρχουν δύο μέθοδοι προκειμένου να διορθωθούν οι διατμητικές δυνάμεις και να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές. Αρχικά ασκείται η πρώτη μέθοδος M1, πραγματοποιείται έλεγχος, αν τελική τιμή της διορθωμένης διατμητικής δύναμης από τη μέθοδο 1 στην άλλη φρακτή υπερβαίνει την αντίστοιχη απαίτηση και στη συνέχεια κρίνεται αν χρειάζεται να εφαρμοστεί και η δεύτερη μέθοδος.

- Μέθοδος 1 (M1): Διόρθωση διατμητικής δύναμης σε μία φρακτή του μεσαίου κύτους.
- Μέθοδος 2 (M2): Διόρθωση διατμητικής δύναμης και στις δύο φρακτές του μεσαίου κύτους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εφαρμοστεί η πρώτη μέθοδος.

Μέθοδος 1: Διόρθωση σε μία Φρακτή

Ο παρακάτω πίνακας καθορίζει σύμφωνα με την διαμήκη θέση της φρακτής, το πρόσημο της παραγόμενης ροπής, καθώς και από το αν έχουμε μεγαλύτερη τιμή διατμητικής δύναμης από τα τοπικά φορτία στην πρωραία ή στην πρυμναία φρακτή που θα γίνει η διόρθωση.

Design loading conditions	Bulkhead location	M_{wv-LC}	Condition on Q_{fwd}	Mid-hold bulkhead for SF adjustment
Seagoing conditions	$x_{b-aft} > 0.5 L$	< 0 (sagging)	$Q_{fwd} > Q_{aft}$	Fwd
			$Q_{fwd} \leq Q_{aft}$	Aft
		> 0 (hogging)	$Q_{fwd} > Q_{aft}$	Aft
			$Q_{fwd} \leq Q_{aft}$	Fwd
	$x_{b-fwd} < 0.5 L$	< 0 (sagging)	$Q_{fwd} > Q_{aft}$	Aft
			$Q_{fwd} \leq Q_{aft}$	Fwd
		> 0 (hogging)	$Q_{fwd} > Q_{aft}$	Fwd
			$Q_{fwd} \leq Q_{aft}$	Aft
$x_{b-aft} \leq 0.5 L$ and $x_{b-fwd} \geq 0.5 L$	-	-	(1)	
Harbour and testing conditions	whatever the location	-	-	(1)

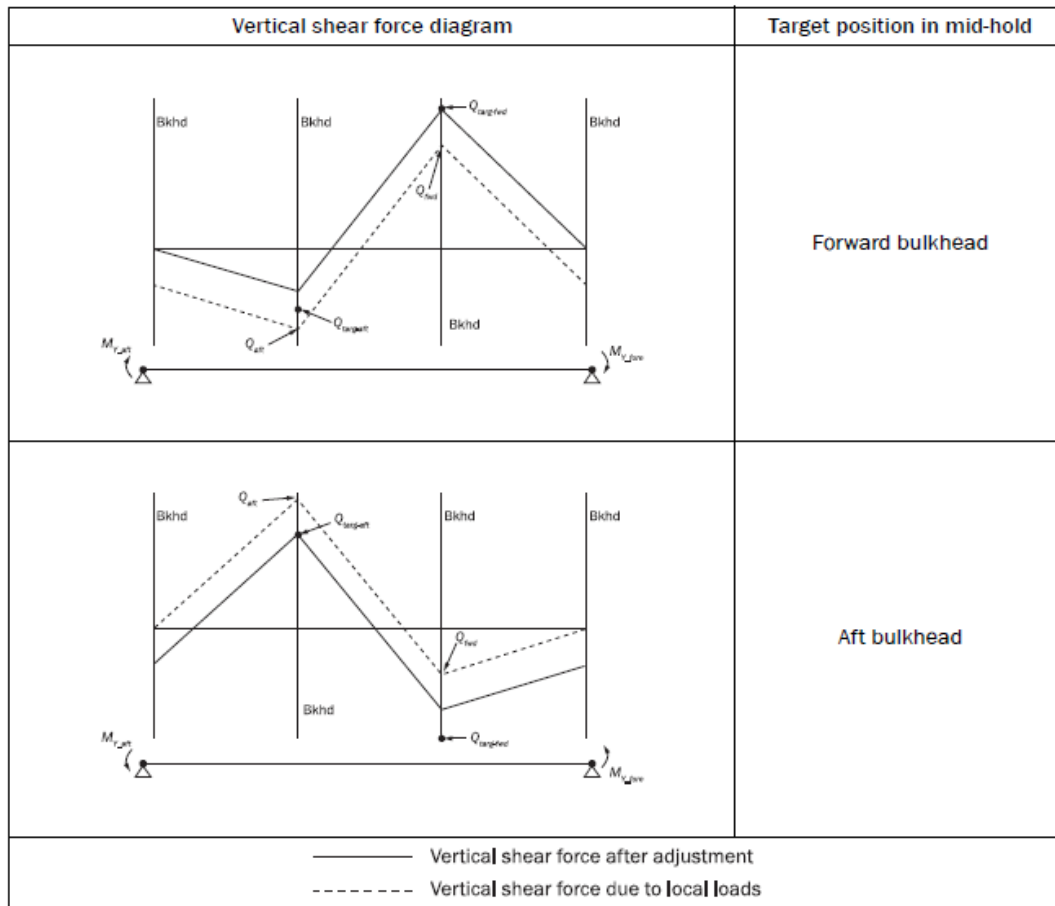
(1) For the FE load combinations covered by the load combination tables of Ch 4, Sec 8, the bulkhead where the shear force adjustment is to be done is indicated in those tables.

Επομένως για να διορθωθούν οι διατμητικές δυνάμεις, δηλαδή να μετατοπιστούν τα σχεδιαγράμματα τους προς τα πάνω ή προς τα κάτω σύμφωνα με την εικόνα 21, πρέπει να ασκηθούν στα άκρα του μοντέλου ίσες ροπές, οι οποίες υπολογίζονται με τους παρακάτω τύπους.

$$M_{Y-AFT} = M_{Y-FOR} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2} * (Q_{targ-aft} - Q_{aft})$$

$$M_{Y-AFT} = M_{Y-FOR} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2} * (Q_{targ-fwd} - Q_{fwd})$$

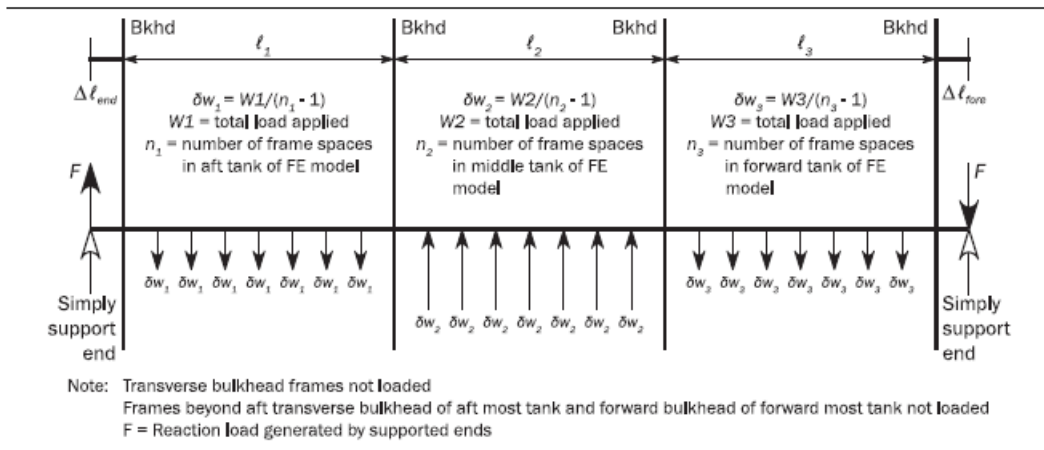
Στην εικόνα 21, στους κανονισμούς *Vertical shear force adjustment by application of vertical bending moments M_{Y_aft} and M_{Y_fore} for method 1*, δίνεται μία σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της διόρθωσης των διατμητικών δυνάμεων, αφού γίνει η διόρθωση στην φρακτή που βρίσκεται στην πλώρη ή στην πρύμνη του μεσαίου αμπαριού εφαρμόζοντας καμπτικές ροπές.



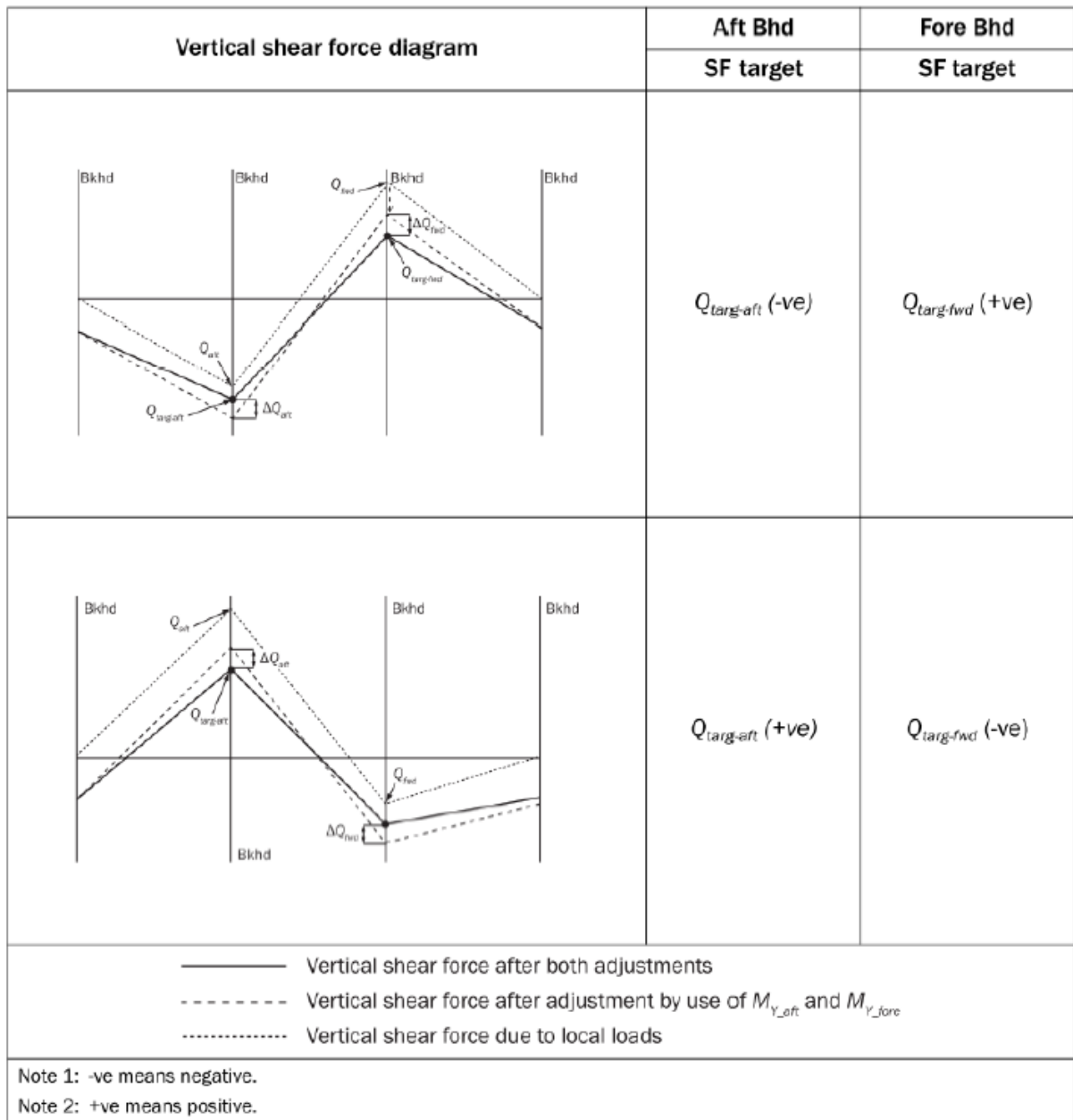
Εικόνα 21 Shear Force Adjustment, Μέθοδος 1

Μέθοδος 2: Διόρθωση σε δύο Φρακτές

Για λόγους πληρότητας θα γίνει και μια σύντομη περιγραφή της 2^{ης} μεθόδου. Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζονται αρχικά δύο ίσες ροπές, ίδιας φοράς, στα άκρα του μοντέλου που αυξάνουν ή μειώνουν τις διατμητικές δυνάμεις σε όλο το μήκος του πλοίου, ώστε η διαφορά της διατμητικής δύναμης από την επιθυμητή και στις δύο φρακτές να είναι ίδια. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται καταναμεημένα φορτία τα οποία επιτυγχάνουν τη σχετική αύξηση ή μείωση της διαφοράς μεταξύ των φρακτών.



Στην εικόνα 22, στους κανονισμούς Table 6 : Target and required shear force adjustment by applying vertical forces, δίνεται μία σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της διόρθωσης των διατμητικών δυνάμεων, αφού γίνει η διόρθωση στην φρακτή που βρίσκεται στην πλήρη ή στην πρύμνη του μεσαίου αμπαριού εφαρμόζοντας κατανεμημένα φορτία.



Εικόνα 22 Shear Force Adjustment, Μέθοδος 2

7.5.3 Επιθυμητή Καμπτική Ροπή

Η επιθυμητή τιμή της κατακόρυφης καμπτικής ροπής M_{v-targ} , βρίσκεται στο μεσαίο κύτος εκεί όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της (για Hogging) ή η ελάχιστη (για Sagging) και για το δεδομένο συνδυασμό σχεδιαστικής φόρτισης υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{v-targ} = C_{BM-LC} * M_{SW} + M_{WV-LC}$$

- M_{SW} η επιτρεπόμενη ροπή κάμψης σε ήρεμο νερό.
- M_{WV-LC} η ροπή κάμψης λόγω κυματισμού για τη δεδομένη δυναμική κατάσταση φόρτισης
- C_{BM-LC} το ποσοστό της επιτρεπόμενης ροπής κάμψης σε ήρεμο νερό, για την εξεταζόμενη κατάσταση φόρτωσης

7.5.4 Διόρθωση Κατακόρυφης Καμπτικής Ροπής

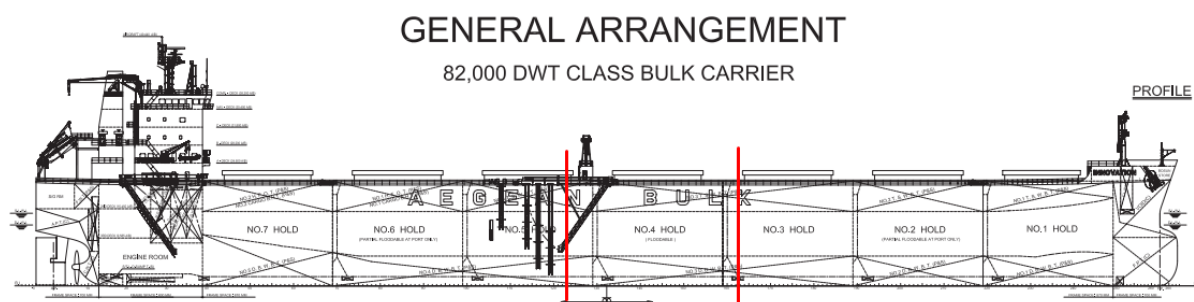
Για να διορθωθεί η κατακόρυφη καμπτική ροπή και να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή M_{v-targ} , χωρίς να επηρεαστούν οι διατμητικές δυνάμεις, ασκούνται δύο ροπές, M_{v-end} , στα άκρα του μοντέλου ίδιο μέτρο και αντίθετη φορά.

$$M_{v-end} = M_{v-targ} - M_{v-peak}$$

M_{v-peak} Η μέγιστη τιμή της καμπτικής ροπής στο μεσαίο κύτος μετά από διόρθωση της διατμητικής δύναμης - Μέθοδος 1.

Κεφάλαιο 8 Μοντελοποίηση και μελέτη στο πρόγραμμα στο ABAQUS/CAE.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα για το εύρος τάσης, με την μέθοδο Simplified Stress Analysis. Γενικά όμως, η αξιολόγηση έναντι κοπώσεως για τα διαμήκη στοιχεία του πλοίου, επικεντρώνεται στο μεσαίο αμπάρι, Cargo Hold No.4. Στην προκειμένη όμως περίπτωση, στόχος είναι η εύρεση του εύρους τάσης στην πλώρη του κύτους No.5 και στην πρύμνη του κύτους No.3. Σύμφωνα με τους κανονισμούς I.A.C.S. θα σχεδιαστεί και θα δημιουργηθεί το πλήρες μοντέλο για τρία κύττη, συγκεκριμένα, το Νούμερο 4 καθώς επίσης και ένα στην πλώρη του κύτους νούμερο 3 και ένα στην πρύμνη του κύτους νούμερο 5. Έπεται η περιγραφή της διαδικασίας της ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων.



Στο εν λόγω πρόγραμμα δεν εισάγονται μονάδες μέτρησης στις ρυθμίσεις. επομένως πρέπει να κρατηθεί μία συνοχή ως προς τις μονάδες. Επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν μονάδες S.I. προσαρμοσμένες στη μονάδα μέτρησης μήκους, των χιλιοστών. Αναλυτικά :

Μέγεθος	Μονάδες Μέτρησης
Μήκος	mm
Μάζα	tonne
Δύναμη	N
Τάση	MPa
Πυκνότητα	Tonne/mm ³
Χρόνος	s

Πίνακας 13 Μονάδες μέτρησης

8.1 Δημιουργία μοντέλου προς μελέτη.

Το μοντέλο αποτελείται από τρία αμπάρια τύπου Bulk Carrier, διαστάσεων και χαρακτηριστικών όμοια με αυτά του πλοίου που έχει μελετηθεί μέχρι τώρα με την μέθοδο απλοποιημένης ανάλυσης (Simplified Method Analysis).

Πρόκειται για τα όμοια κύτη που βρίσκονται στο παράλληλο τμήμα του πλοίου και όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το πρυμναίο κύτος του μοντέλου είναι το Cargo Hold No. 5. το μεσαίο πρόκειται για το Cargo Hold No. 4 και το πρωραίο. το Cargo Hold No. 3.

Αριθμός κυτών	3	
Αριθμός φρακτών	4	
Μήκος μοντέλου (συνολικό)	81300 [mm]*	
Μήκος Cargo Hold No. 4	26100 [mm]	30 [frames]
Μήκος Cargo Hold No. 3	26100 [mm]	30 [frames]
Μήκος Cargo Hold No. 2	26100 [mm]	30 [frames]
Πλάτος μοντέλου	32260[mm]	
Ύψος μοντέλου (κύριο κατάστρωμα)	20200[mm]	
Ύψος μοντέλου (συνολικό)	21000[mm]	

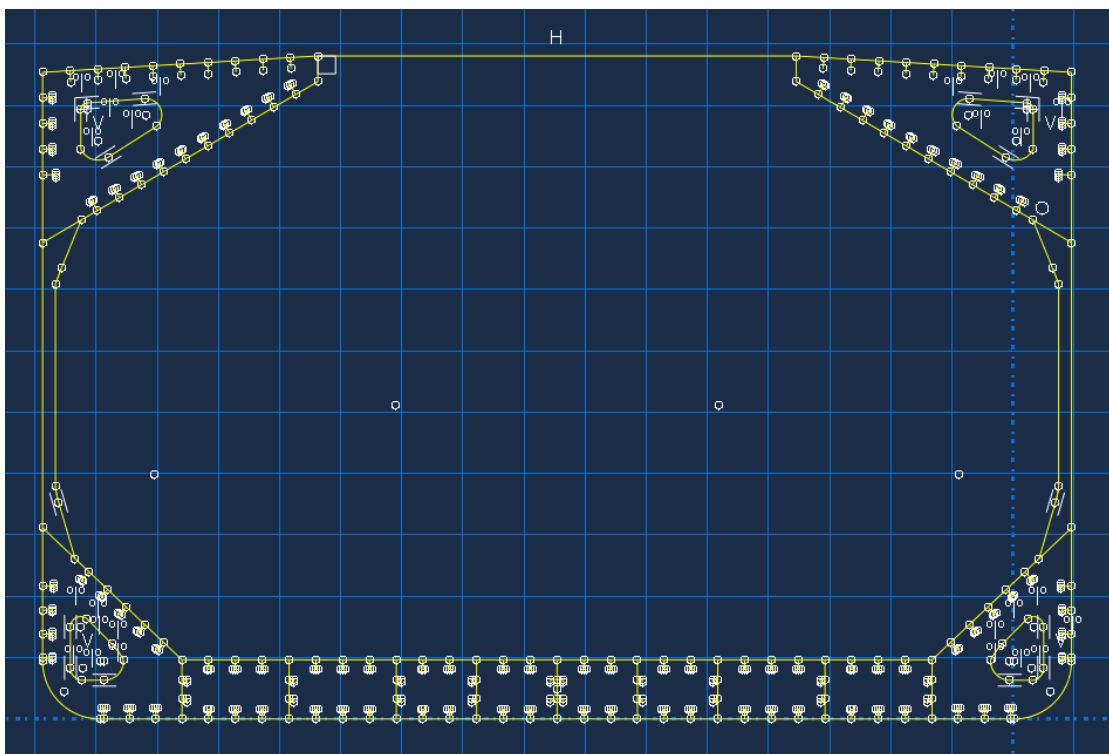
*Σημειώνεται πως το συνολικό μήκος του μοντέλου δεν είναι πολλαπλάσιο του ενός αμπαριού καθώς έχει επιμηκυνθεί προς την πλήρη κατά 3000 χιλιοστά, όπου είναι το μήκος της βάσης της εγκάρσιας πτυχωτής φρακτής στήριξής προκειμένου το μοντέλο να έχει και στο αμπάρι νούμερο 3 μία ολοκληρωμένη μορφή.

8.1.1 Γεωμετρία μοντέλου και ιδιότητες υλικών.

Η γεωμετρία του μοντέλου δημιουργήθηκε εξ ολοκλήρου στο πρόγραμμα ABAQUS/CAE. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι, να σχεδιαστούν τα επιμέρους στοιχεία ενός αμπαριού μόνο μία φορά, και στη συνέχεια κατά την συναρμολόγησή τους να πολλαπλασιαστούν όσες φορές χρειαστεί. Έπειτα με την εντολή merge δημιουργείται ένα καινούριο part με την επιθυμητή γεωμετρία. Σημειώνεται πως όλα τα ελάσματα είναι τύπου shell. Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας για κάθε επιμέρους part :

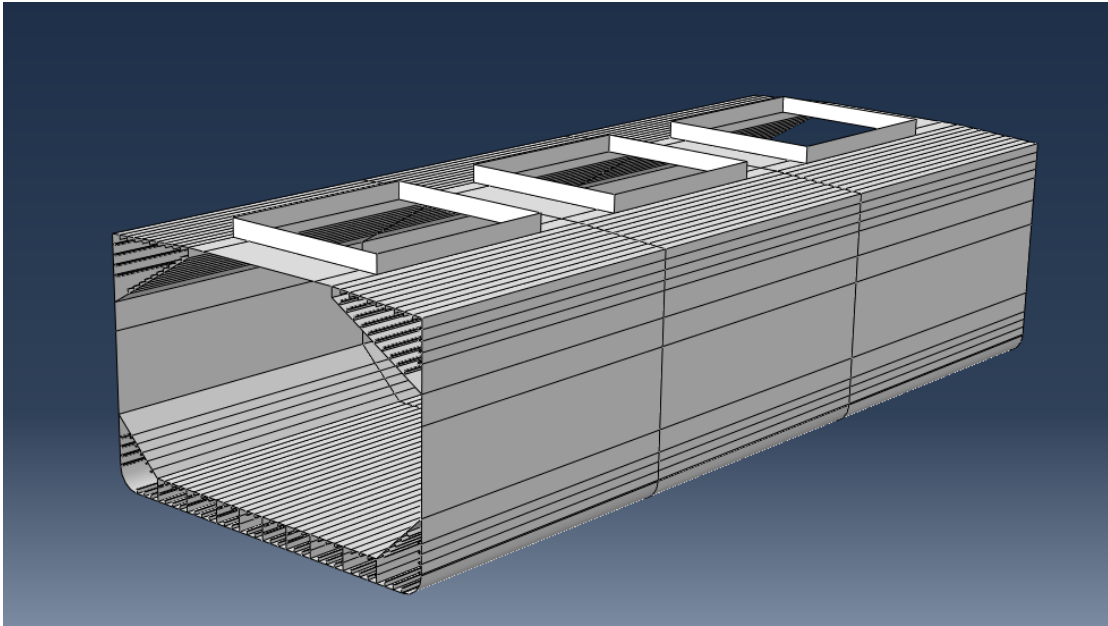
Διαμήκη ελάσματα

Για την δημιουργία των ελασμάτων τα οποία θα διατρέχουν όλη την γεωμετρία, αρχικά πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός της εγκάρσιας διατομής του παράλληλου τμήματος. Σημειώνεται πως η αποθήκευση του σχεδίου της διατομής ως sketch είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς στη συνέχεια τα επόμενα parts μπορούν να σχεδιαστούν με μία μικρή της επεξεργασία.

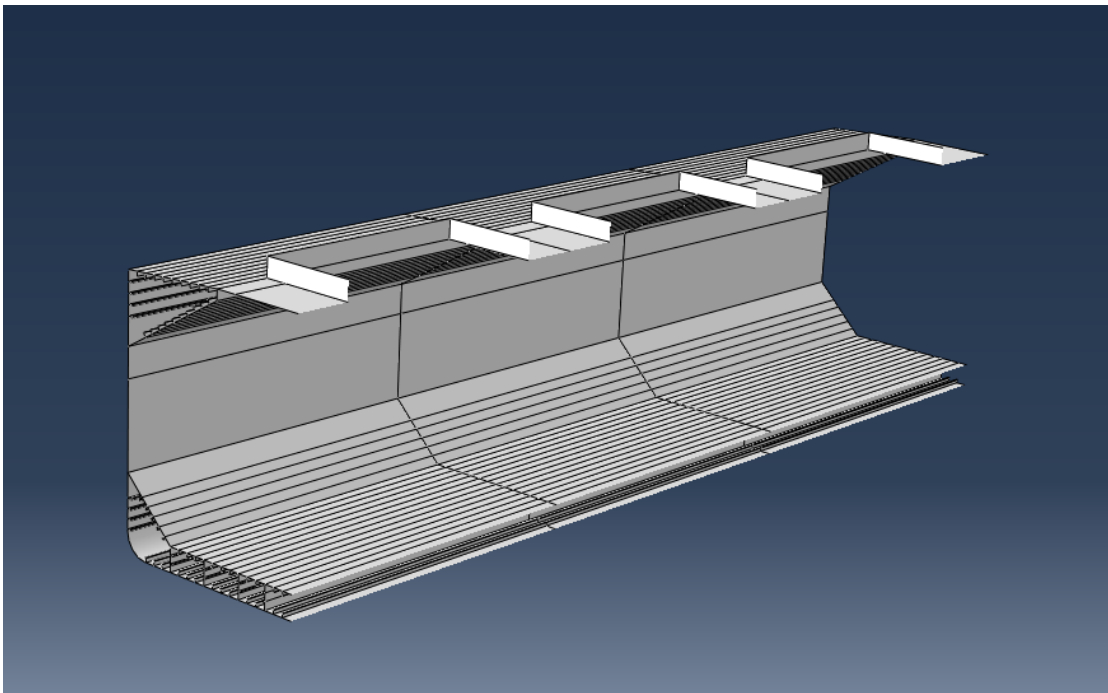


Εικόνα 23 Διαμήκη ελάσματα

Έπειτα με την εντολή extrude δόθηκε η τρισδιάστατη υπόστασή τους, συγκεκριμένα 81300 [mm]. Αρχικά έγινε προσπάθεια να σχεδιαστεί ένα μόνο αμπάρι μήκους 26100 [mm] προκειμένου να σχεδιαστεί μία φορά ένα ολοκληρωμένο αμπάρι και στη συνέχεια να πολλαπλασιαστεί στο Assemble 3 φορές. Ωστόσο κατά την ένωση των τριών αμπαριών (εντολή merge) το πρόγραμμα παρουσίασε ορισμένες ιδιαιτερότητες, επομένως πραγματοποιήθηκε η εντολή extrude για ολόκληρο το μήκος των τριών αμπαριών. Επιπλέον όλα τα διαμήκη ενισχυτικά σχεδιάστηκαν σαν τμήμα της γάστρας. Τέλος για το άνοιγμα των κυτών αποδόθηκε η ανάλογη γεωμετρία με την χρήση των εντολών σχεδίασης (Sketch, Cut, Extrude) στην ήδη υπάρχουσα γεωμετρία.



Εικόνα 24 Διαμήκη ελάσματα

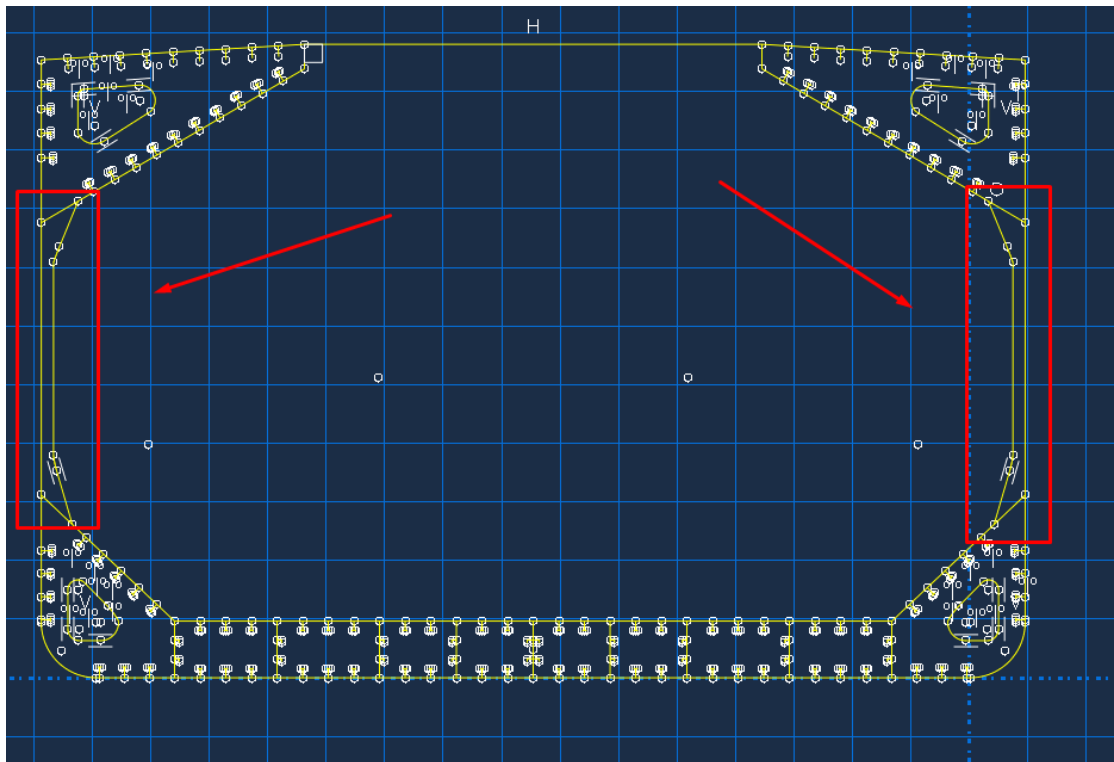


Εικόνα 25 Διαμήκη ελάσματα

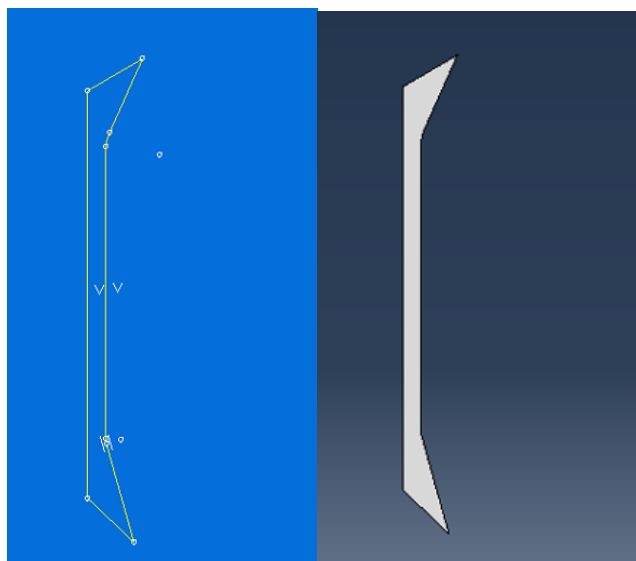
Σημειώνεται πως τα πάχη των ελασμάτων θα ανατεθούν σε μετέπειτα στάδιο αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση των parts.

Εγκάρσια frames

Τα εγκάρσια frames δημιουργήθηκαν ως Shells Planar με την ίδια διαδικασία. Αρχική σχεδίαση και στη συνέχεια ανάθεση τρισδιάστατης μορφής. Σε αυτό το σημείο προκειμένου η γεωμετρία να μην παρουσιάσει ασυνέχειες, κενά ή παραμορφώσεις κατά την σύνδεση των parts εξαιτίας τυχών διαφορών κατά την σχεδίαση, γίνεται ο σχεδιασμός των frames αξιοποιώντας το sketch ολόκληρης της εγκάρσιας διατομής που αποθηκεύτηκε στην δημιουργία των διαμηκών στοιχείων του πλοίου.



Εικόνα 26 Εγκάρσια frames



Εικόνα 27 Εγκάρσια frames

Webs και floors

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για τα στοιχεία webs & floors. Εδώ επειδή υπάρχουν και υδατοστεγή στοιχεία δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες στοιχείων για το κάθε part μία με σπές και μία χωρίς.



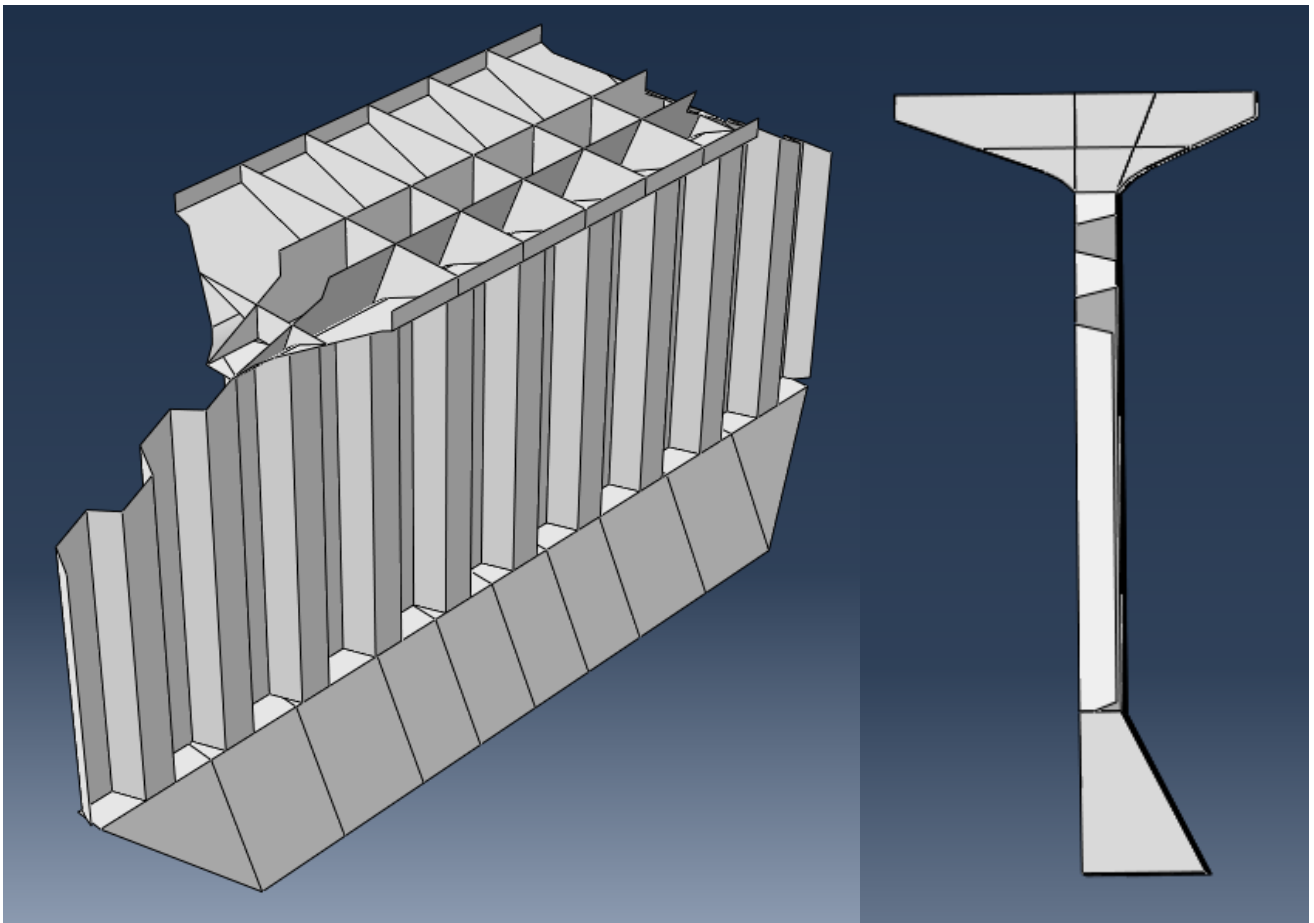
Εικόνα 28 Webs



Εικόνα 29 floors

Πτυχωτές φρακτές

Η πτυχωτή φρακτή αποτελεί την πιο δύσκολη γεωμετρία αφού προκειμένου να σχεδιαστεί πρέπει να πραγματοποιηθούν πολλές εργασίες στο τρισδιάστατο επίπεδο. Χρειάζεται να δοθεί αρκετή προσοχή στη συμμετρία της φρακτής. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται πως αρχικά ο σχεδιασμός έγινε για μία τετράγωνη φρακτή και στη συνέχεια πάλι με την χρήση της του σχεδίου της διατομής των διαμηκών ελασμάτων (Import sketch) και την εντολή cut δόθηκε το επιθυμητό σχήμα. Παρακάτω παρουσιάζεται η τελική τους μορφή.



Εικόνα 30 Πτυχωτές φρακτές

Ιδιότητες υλικών

Η φιλοσοφία που ακολουθείται για την ανάθεση του υλικού κάθε ελάσματος είναι η ακόλουθη. Καταρχάς δημιουργούνται όλα τα υλικά από τα οποία αποτελείται το μοντέλο και στη συνέχεια αναθέτονται στο εκάστοτε έλασμα – στοιχείο. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται το μοντέλο σύμφωνα με τα δεδομένα του πλοίου από το σχέδια MidShip Section είναι οι δύο χάλυβες που φαίνονται παρακάτω με τις ανάλογες ιδιότητες. Τα Materials θεωρούνται γραμμικά και ο υπολογισμός του πίνακα ακαμψίας γίνεται, σε κάθε περίπτωση, μία φορά κατά την έναρξη της ανάλυσης.

Ιδιότητα	AH32 Steel	AH36 Steel
Mass Density [t/mm ³]	7.80E-09	7.80E-09
Young's Modulus [Mpa]	2.06E+06	2.06E+06
Poisson's Ratio	0.3	0.3
Yield Stress [Mpa]	315	355

Πίνακας 14 Ιδιότητες Υλικών

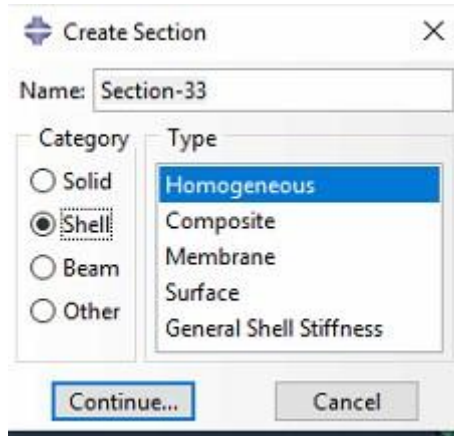
The screenshot shows the 'Edit Material' dialog box for AH36 steel. The 'Name' is AH36. The 'Description' field is empty. Under 'Material Behaviors', 'Plastic' is selected. The 'Plastic' section shows 'Hardening' set to 'Isotropic', with options for 'Use strain-rate-dependent data' and 'Use temperature-dependent data' both unchecked. The 'Number of field variables' is set to 0. The 'Data' table has the following content:

	Yield Stress	Plastic Strain
1	355	0

Εικόνα 31 Ανάθεση Υλικών

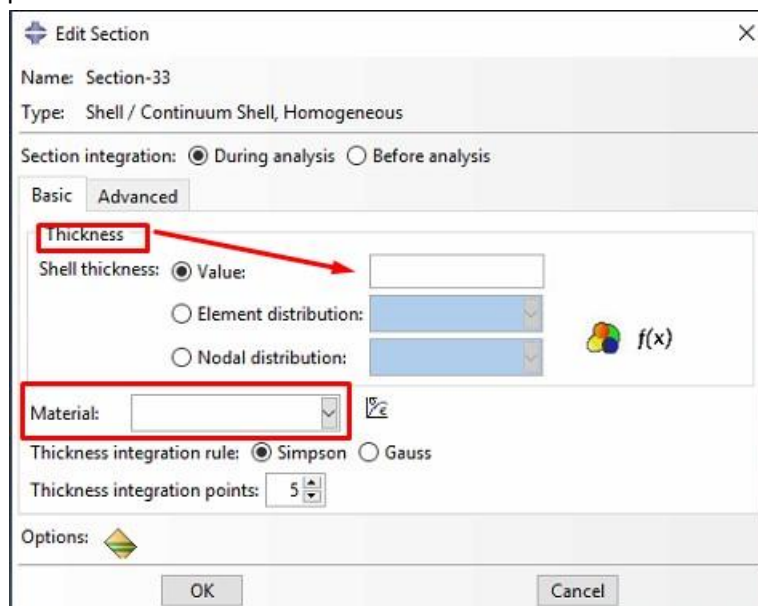
Sections

Κατά τη δημιουργία ενός section καθορίζεται το πάχος και το υλικό που θα ανατεθούν στη συνέχεια σε κάθε ομάδα ελασμάτων που παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά. Αρχικά επιλέγεται η ανάλογη κατηγορία και ο τύπος της. Όλα τα στοιχεία είναι Shells – Homogenous.



Εικόνα 32 Section

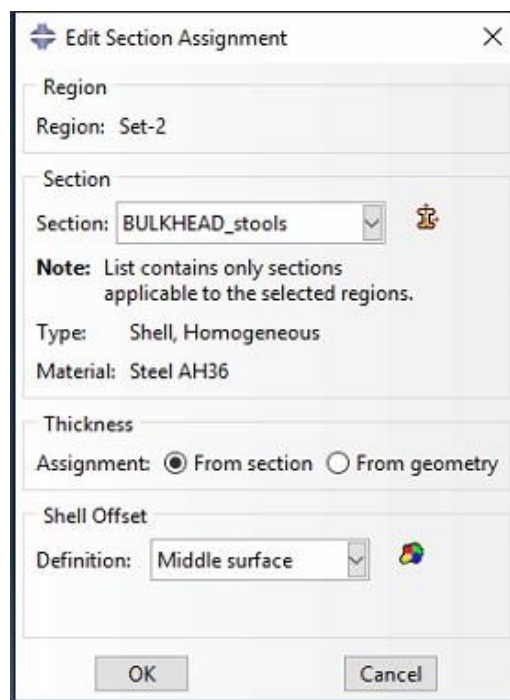
Στη συνέχεια ορίζεται το πάχος και ο ανάλογος τύπος υλικού από αυτούς που ορίστηκαν παραπάνω.



Εικόνα 33 Πάχος Ελάσματος

Section Assignment

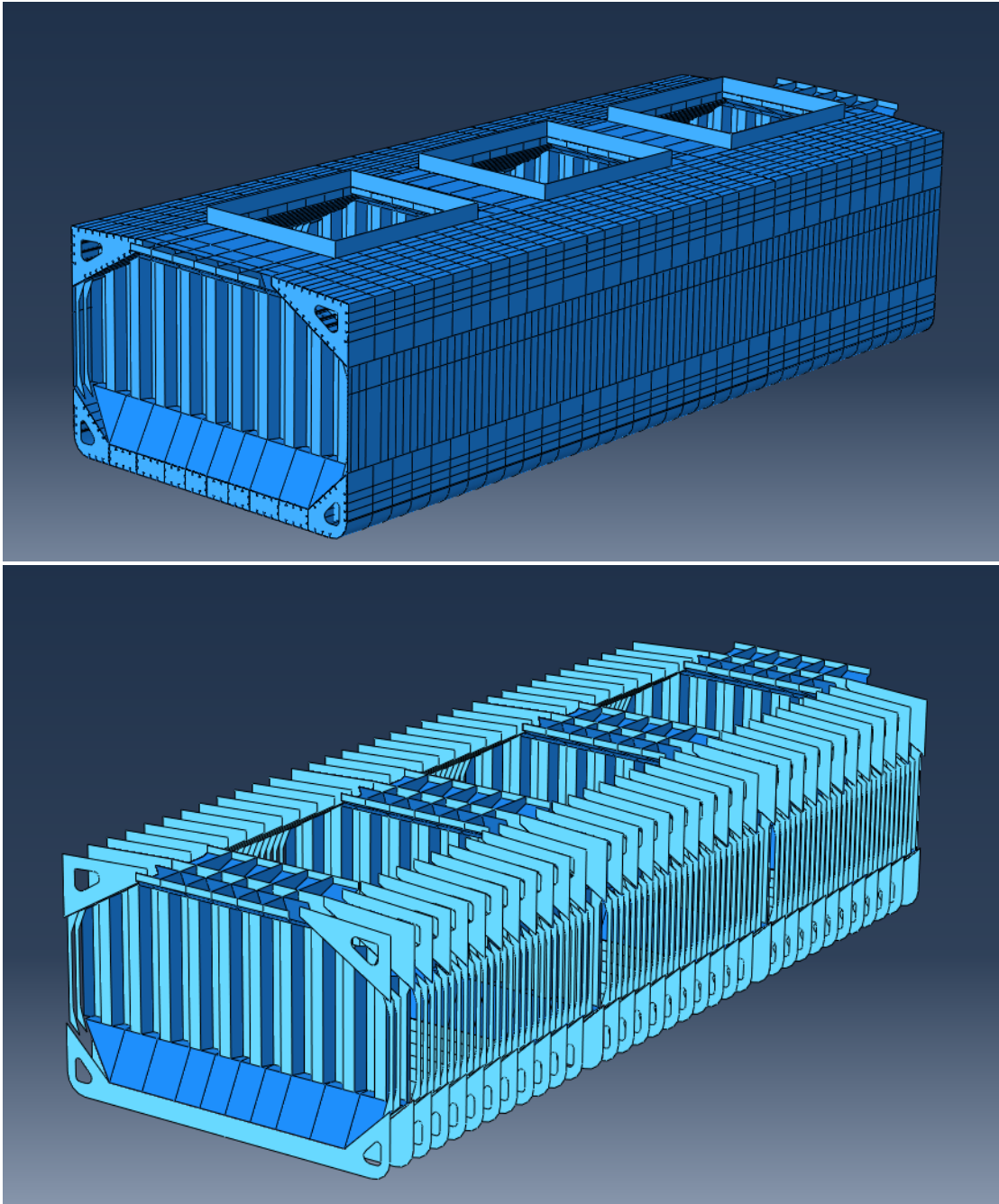
Εφόσον έχουν δημιουργηθεί τα απαραίτητα sections πλέον με την εντολή section assignment γίνεται και η απαραίτητη ανάθεση. Αρχικά σε κάθε Part επιλέγεται το επιθυμητό έλασμα και στη συνέχεια του αναθέεται το κατάλληλο Section προκειμένου να αποκτήσει το επιθυμητό πάχος, ιδιότητες υλικού και τύπο. Επειδή ορισμένα ελάσματα όπως για παράδειγμα τα Side Shells του εξωτερικού τμήματος της γάστρας, παρουσιάζουν διαφορετικό πάχος κατά τον άξονα Z γίνονται partitions προκειμένου να οριστούν τα όρια των τμημάτων των ελασμάτων με διαφορετικό πάχος. Όλα τα ελάσματα έχουν σαν Shell Offset Definition - Middle Surface.



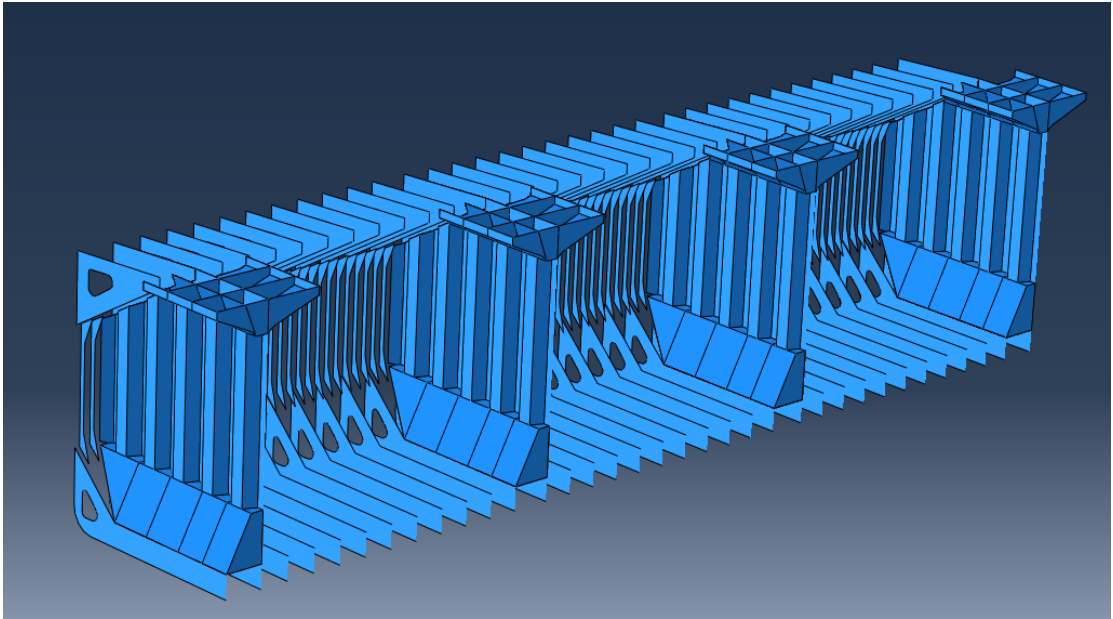
Εικόνα 34 Section Assignment

Assembly – Συναρμολόγηση του μοντέλου

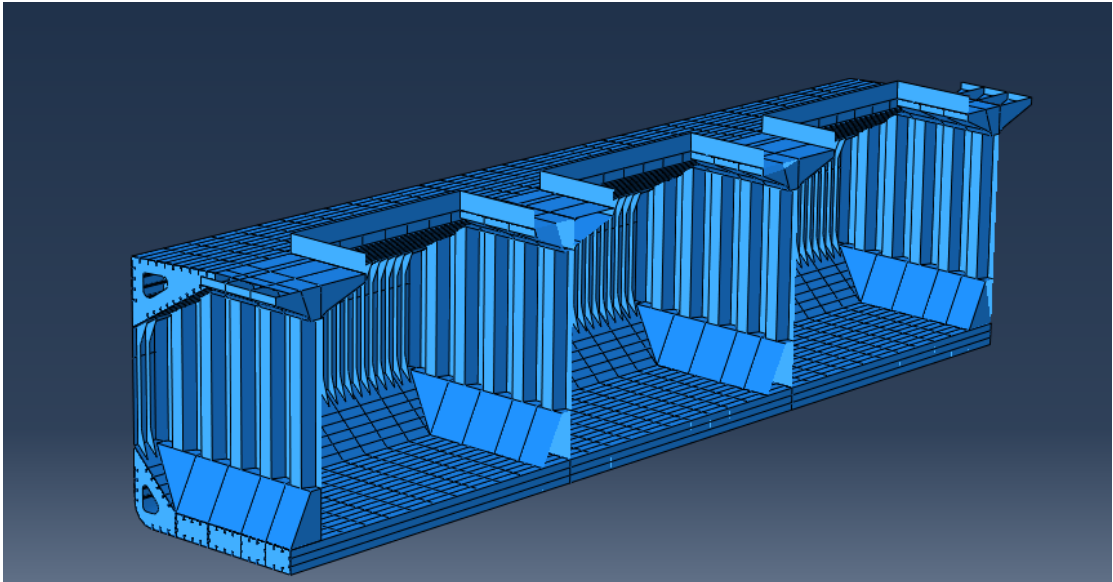
Εφόσον έχει γίνει το section assignment σε κάθε part για κάθε έλασμα. στο Assemble τα parts περνάνε ως instances μία φορά το καθένα. και με την εντολή Linear Pattern πολλαπλασιάζονται στην κατεύθυνση και στην απόσταση που επιλέγεται από τον μελετητή.



Εικόνα 35 Assembly

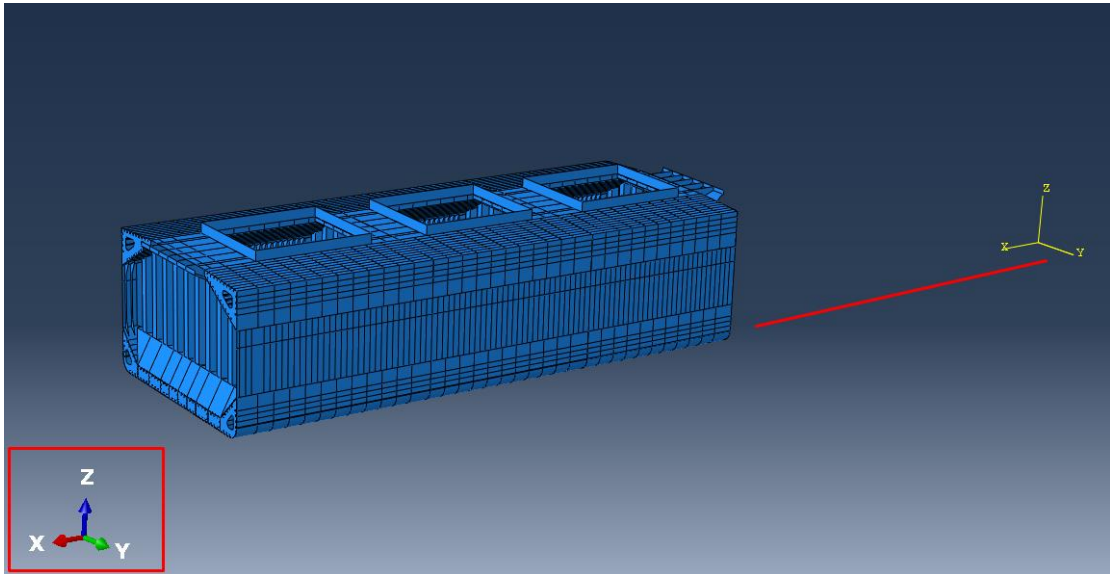


Εικόνα 36 Assembly



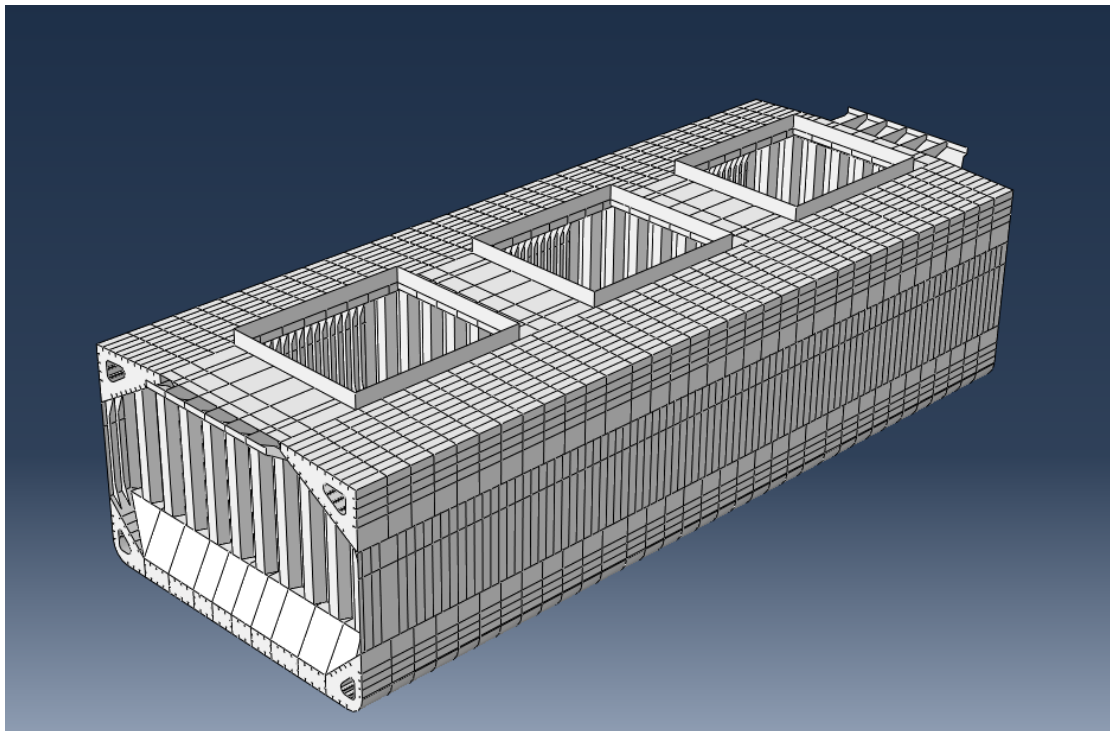
Εικόνα 37 Assembly

Αμέσως πριν την εντολή merge με την εντολή Rotate instance και την εντολή Translate Instance το μοντέλο απέκτησε κοινό σύστημα συντεταγμένων με αυτό του πλοίου. ενώ μεταφέρθηκε παράλληλα και στην πραγματική διαμήκη θέση όπου βρίσκεται στην πραγματικότητα όπως φαίνεται και στην εικόνα 38.



Εικόνα 38 Σύστημα συντεταγμένων πλοίου

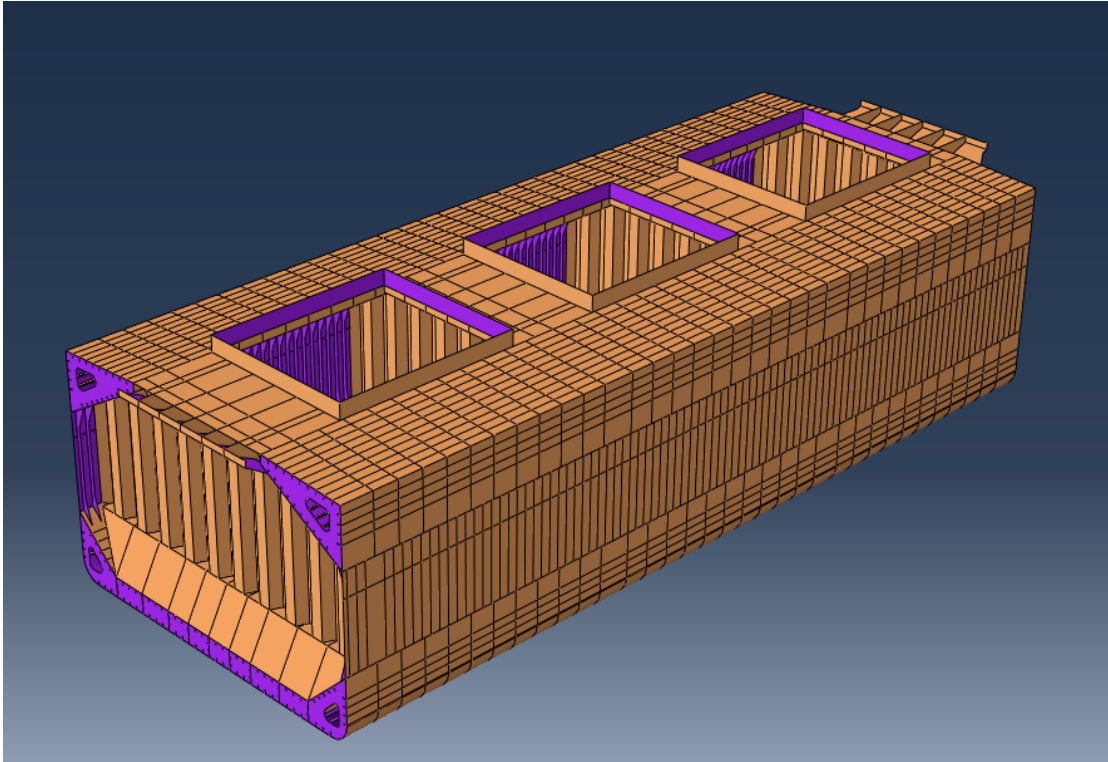
Τέλος με την εντολή Merge δημιουργείται ένα νέο part στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη.



Εικόνα 39 Νέο part

8.1.2 Orientation

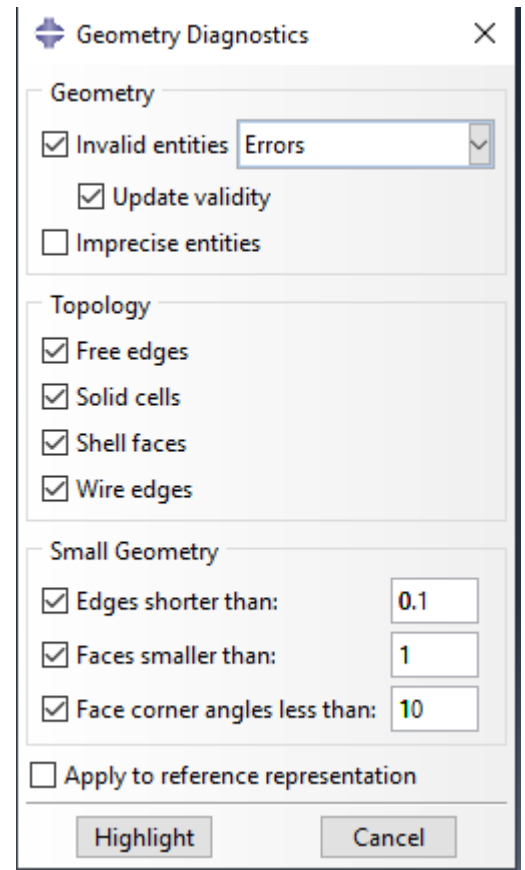
Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομοιομορφία του μοντέλου κατά την επιβολή των πιέσεων στη συνέχεια, καθορίζεται και ο προσανατολισμός των ελασμάτων ως θετικά (πορτοκαλί χρώμα) και αρνητικά (μωβ χρώμα) έτσι ώστε και τα διανύσματα των πιέσεων να θεωρηθούν στη συνέχεια θετικά ή αρνητικά.



Εικόνα 40 Orientation

8.1.3 Έλεγχος της τελικής γεωμετρίας

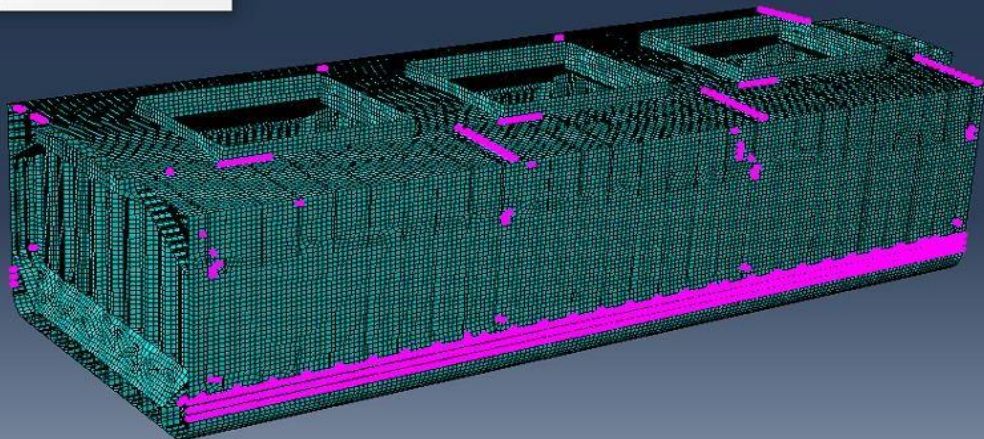
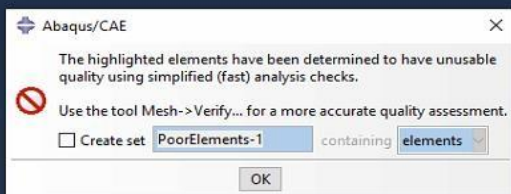
Αφού ολοκληρωθεί η επιθυμητή γεωμετρία γίνεται ο έλεγχος με τις παρακάτω προδιαγραφές όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Με ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφού δεν υπήρξε ένδειξη για κανένα error.



Εικόνα 41 Έλεγχος της τελικής γεωμετρίας

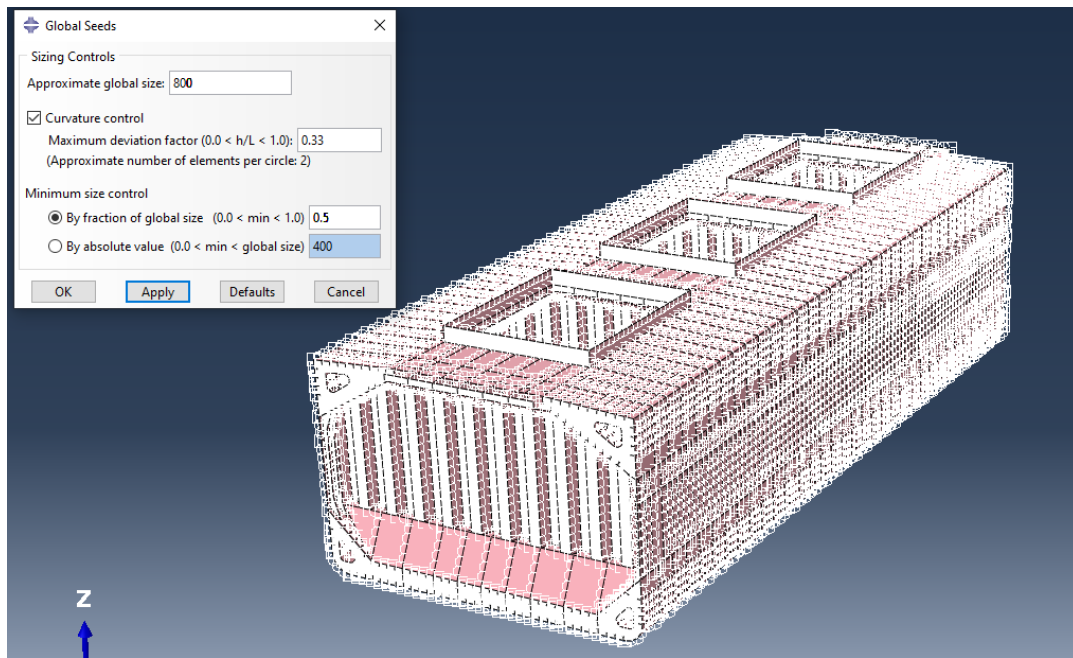
8.1.4 Mesh

Αφού δημιουργηθεί το ολοκληρωμένο Part επόμενο βήμα είναι η διακριτοποίηση του. Οι βασικές παράμετροι της διακριτοποίησης δόθηκαν κατά τον ορισμό των Global Seeds, δηλαδή της επιθυμητής πυκνότητας πλέγματος. Αρχικά επιλέχθηκε το approximate global size ίσο με το frame spacing του πλοίου, δηλαδή επιλέχθηκε ίση με 870 [mm]. Ωστόσο το πρόγραμμα Abaqus/ CAE υπέδειξε ορισμένες ενδείξεις τύπου error οι οποίες δεν θα επέτρεπαν στη συνέχεια την μελέτη της γεωμετρίας καθώς κάποιες περιοχές απέτυχαν να διακριτοποιηθούν. Στη συνέχεια επιλέχθηκε ως global size το μισό του frame spacing δηλαδή 435 [mm]. Το error αυτή τη φορά σχετιζόταν με το ότι η ποιότητα του mesh δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Ορισμένες από τις ενδείξεις errors φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 42 Error Mesh

Η επιθυμητή ποιότητα του πλέγματος δίνεται στις δύο επόμενες επιλογές για τον λόγο των πλευρών των στοιχείων και το ελάχιστο μέγεθος στοιχείων. Όπως φαίνεται στην αμέσως επόμενη φωτογραφία αφού δόθηκε η τιμή στο approximate global size των 800 [mm].

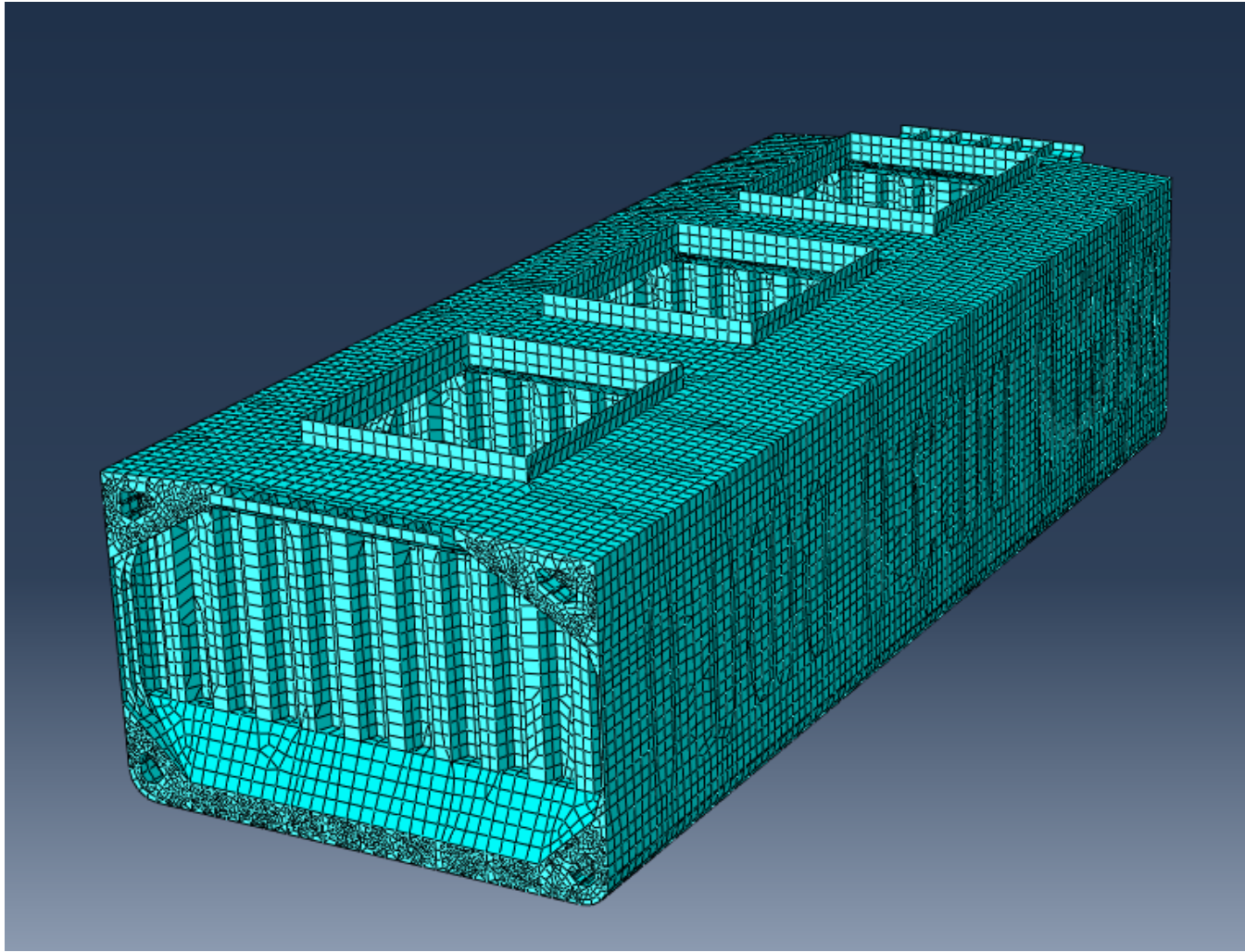


Εικόνα 43 New Mesh

Η διακριτοποίηση έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα και συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες. Οι τύποι S4R για τετράπλευρα στοιχεία (linear, 6DOF reduced integration) και S3 για τριγωνικά στοιχεία (linear, 6DOF, reduced integration). Ο αριθμός και το ποσοστό επί του συνολικού αριθμού στοιχείων της κάθε κατηγορίας φαίνεται στον πίνακα 15.

Element Type	Element Shape	Elements
S4R	quadrilateral	279246
S3	triangular	24506
Total number of nodes	267912	
Total number of elements	303752	

Πίνακας 15 Mesh Results

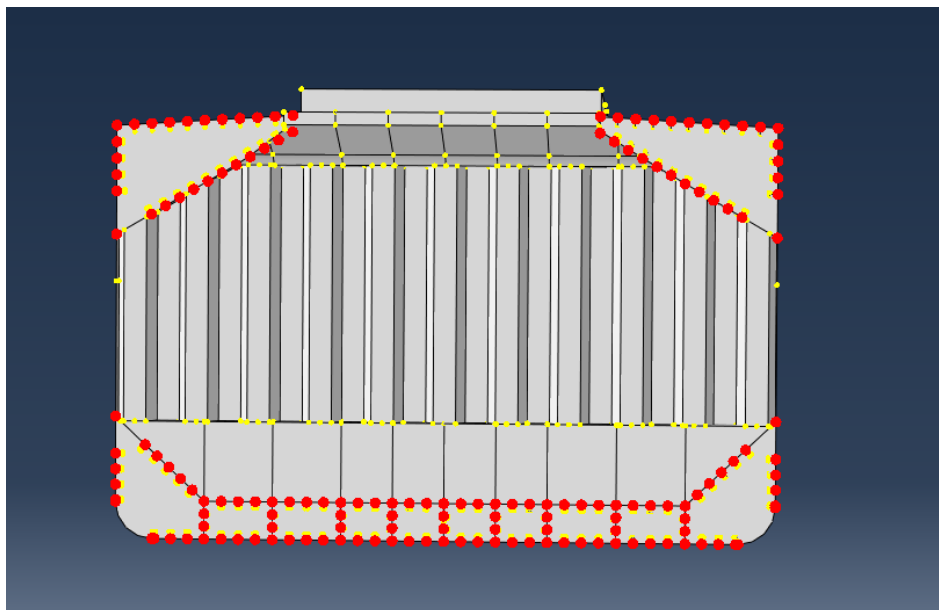


Εικόνα 44 Final Mesh

8.2 Συνοριακές Συνθήκες

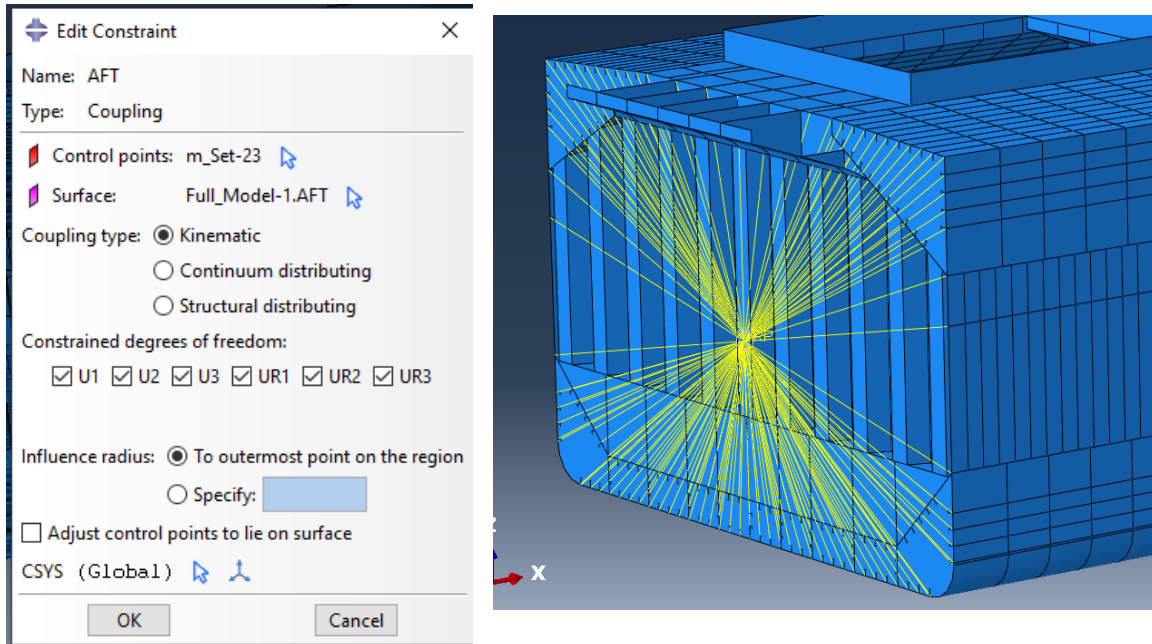
Για τον ορισμό των συνοριακών συνθηκών σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών δημιουργήθηκαν δύο σημειακά αντικείμενα (Point Part) στον ουδέτερο άξονα του μοντέλου, στο πρυμναίο και πρωραίο άκρο του μοντέλου. Ο ουδέτερος άξονας υπολογίζεται από το πρόγραμμα, (Query->Mass->Properties). Τα σημεία αυτά προστέθηκαν στο Assembly ως Reference Points.

Έπειτα δημιουργούνται δύο sets από σημεία (ένα στην πλώρη και ένα στην πρύμνη), στα οποία περιέχονται τα ακραία σημεία των διαμήκων στοιχείων εξαιρούνται, δηλαδή, οι κόμβοι των side frames, Floors, webs και φρακτών.



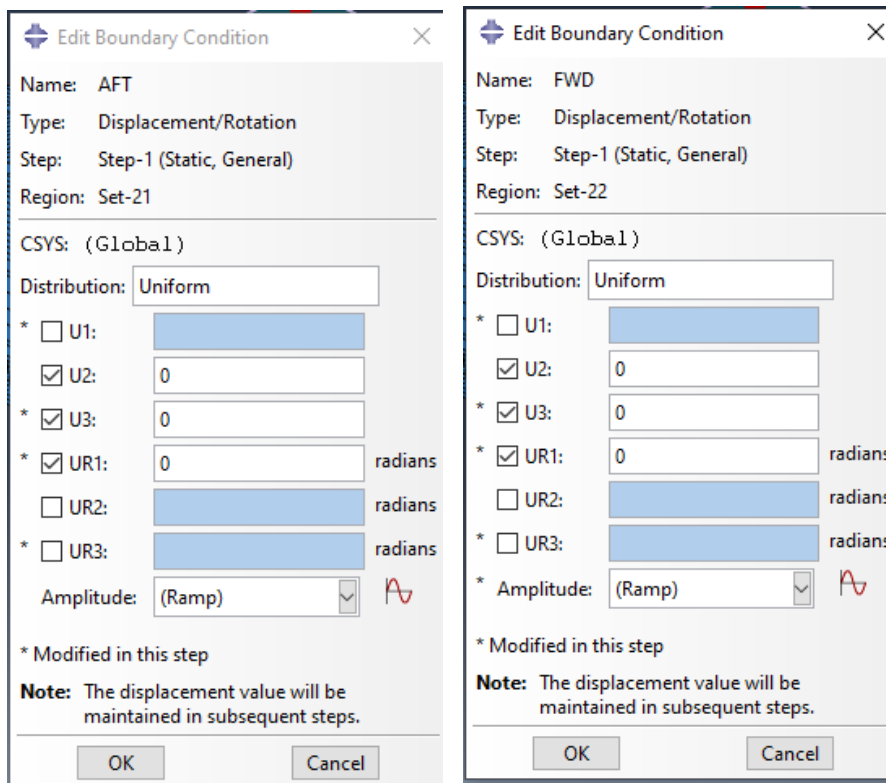
Εικόνα 45 Point Set

Σκοπός είναι να γίνει σύνδεση μεταξύ των sets αυτών και των reference points, έτσι ώστε οι συνοριακές συνθήκες που ασκούνται στα reference points να μεταφέρονται σε όλα τα ακραία στοιχεία του μοντέλου. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με την ιδιότητα Coupling.



Εικόνα 46 Coupling.

Τέλος εφαρμόζονται οι συνοριακές συνθήκες στα control points όπως αναφέρονται παραπάνω στους κανονισμούς.



Εικόνα 47 Συνοριακές συνθήκες

8.3 Έλεγχοι μοντέλου

Αφού πλέον έχει ολοκληρωθεί η σχεδίαση του μοντέλου καθώς επίσης και η διακριτοποίηση, προκειμένου να εξακριβωθεί κάποιο πιθανό λάθος του μελετητή θα γίνουν οι τρεις παρακάτω έλεγχοι. Για τους ελέγχους αυτούς, εφαρμόζονται διαφορετικές συννοριακές συνθήκες από αυτές της μελέτης και από αυτές που ορίζουν οι κανονισμοί. Εδώ εφαρμόζονται συνθήκες πάκτωσης και στα δύο άκρα του μοντέλου.

Έλεγχος Βάρους.

Σύμφωνα με το Trim & Stability του πλοίου, αναμένεται το βάρος της κατασκευής των τριών αμπαριών να πλησιάζει τους 4000 τόνους. Αυτό προκύπτει αθροίζοντας τα επί μέρους βάρη των στοιχείων που συγκροτούν την κατασκευή των πλοίων, όπως για παράδειγμα βάρος ελασμάτων, ενισχυτικών, bulkheads κ.α. όπως αυτά αναγράφονται στα σχέδια του πλοίου. Στο μοντέλο, δεδομένου ότι κατά την σχεδίαση έγιναν ορισμένες απλοποιήσεις για την ομαλή σχεδίαση καθώς επίσης και για την επιτυχημένη διακριτοποίηση, αλλά και επειδή δεν λαμβάνεται υπόψη από το πρόγραμμα ορισμένα στοιχεία (όπως για παράδειγμα το βάρος της συγκόλλησης) οποιαδήποτε απόκλιση εντός των ορίων της τάξης του 20% θεωρείται αποδεκτή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος και την χρήση των εντολών Query -> Mass Properties προκύπτει ότι το βάρος του μοντέλου είναι 3858 [t] όπου βρίσκεται εντός των ορίων.

Έλεγχος αντιδράσεων στα σημεία στήριξης σύμφωνα με το βάρος.

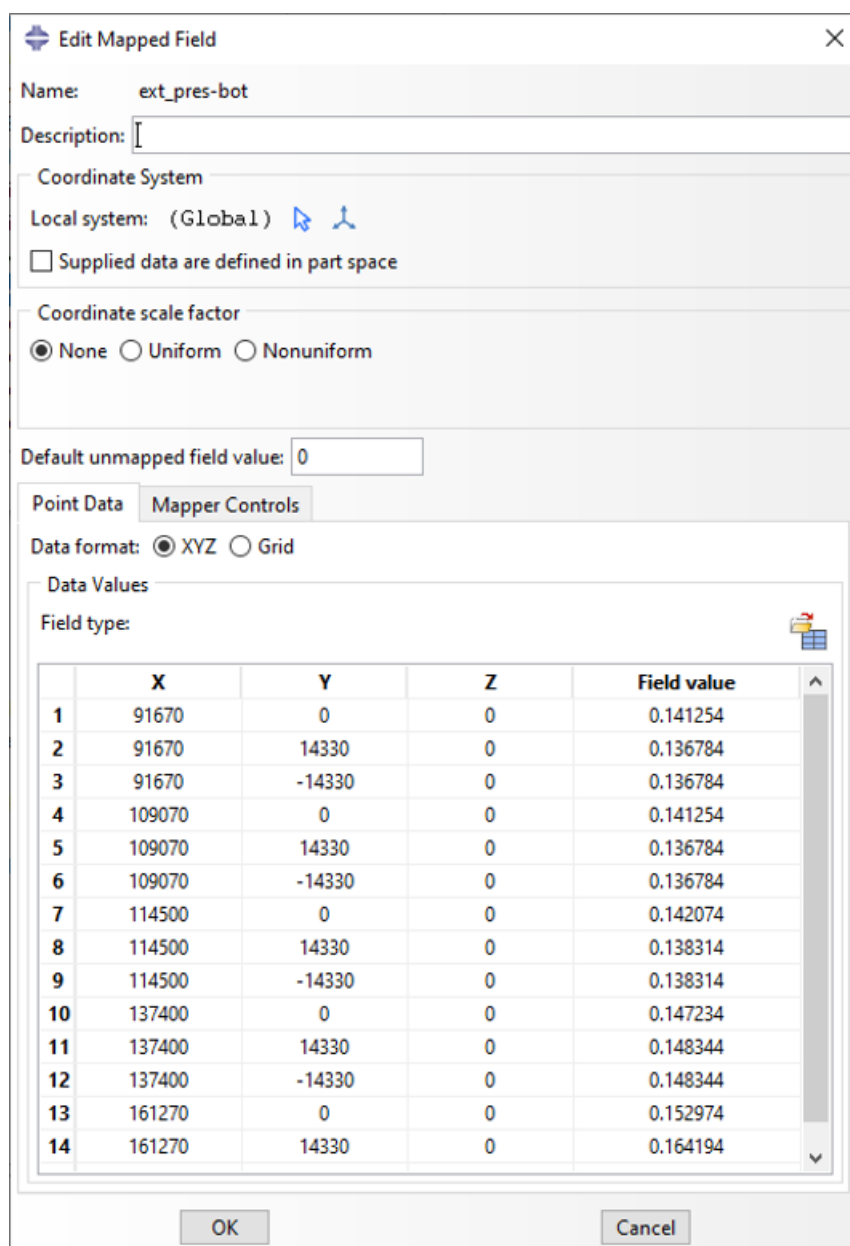
Αμέσως μετά πραγματοποιείται έλεγχος ασκώντας στο μοντέλο την επιτάχυνση της βαρύτητας $g=9,81 \text{ m/s}^2$ έτσι ώστε να ελεγχθεί αν οι αντιδράσεις στα άκρα αντιστοιχούν στο βάρος της κατασκευής κατά μέτρο, καθώς επίσης και ότι η φορά τους είναι κατακόρυφη στον άξονα Z και δεν παράγονται αντιδράσεις σε κάποιον από τους άλλους δύο άξονες (X,Y). Έπειτα από τον έλεγχο προκύπτουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα ως προς το μέτρο Reaction Force (RF) = $1,93 \times 10^7 \text{ [N]}$ και ως προς τη διεύθυνση η οποία είναι μόνο στην διεύθυνση του κατακόρυφου άξονα Z).

Έλεγχος αντιδράσεων στα σημεία στήριξης σύμφωνα την υδροστατική πίεση.

Παρόμοιος έλεγχος με τις αντιδράσεις στα σημεία στήριξης από την άσκηση του βάρους γίνεται με την άσκηση υδροστατικής πίεσης. Ομοίως αναμένεται πως οι αντιδράσεις θα έχουν διεύθυνση μόνο κατά τον άξονα Z, δηλαδή οι οριζόντιες δυνάμεις εφόσον το μοντέλο είναι συμμετρικό ως προς τον διαμήκη άξονα θα είναι μηδενικές και το μέτρο τους θα ισούται με την υδροστατική πίεση που ασκείται στον πυθμένα. Σημειώνεται πώς στον υπολογισμό της αναμενόμενης αντίδρασης εκτός του προγράμματος, δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς οι πιέσεις στο κοίλο σημείο της γάστρας, αφού ασκούνται υπό διαφορετικές κλίσεις επομένως αναμένεται κάποια μικρή απόκλιση.

8.4 Εφαρμογή πιέσεων και φορτίσεων

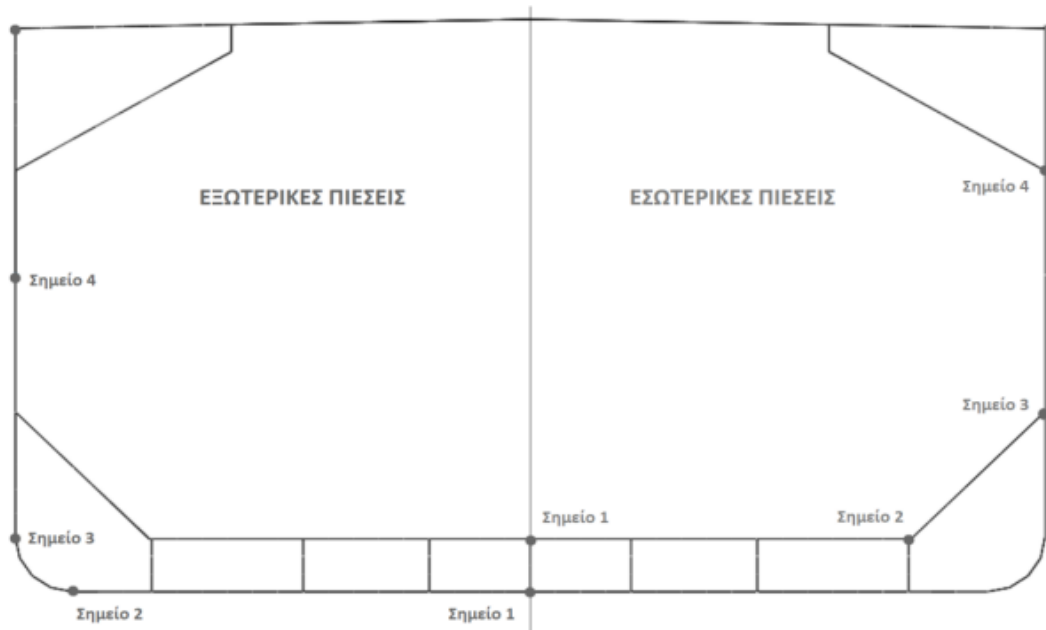
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή των πιέσεων που ασκούνται στο μοντέλο, οι οποίες υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Προκειμένου να γίνει η εισαγωγή των πιέσεων στο πρόγραμμα, δημιουργήθηκαν *Mapped Analytical Fields* στο ABAQUS/CAE. Με αυτό τον τρόπο εισαγωγής, η αναπαράσταση των πιέσεων γίνεται με πίνακες. Σε κάθε γραμμή του πίνακα, υπάρχουν τέσσερις στήλες. Οι τρεις πρώτες περιέχουν πληροφορία για τις συντεταγμένες του φορτίου και η 4^η στήλη περιέχει την τιμή της πίεσης. Για τις συντεταγμένες ισχύει το global system το οποίο συμπίπτει ακριβώς με αυτό της πραγματικότητας έπειτα από την μεταφορά και περιστροφή που έγινε κατά το assemble. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, επειδή δεν γίνεται καθορισμός των μονάδων μέτρησης, οι τιμές που θα εισαγάγουμε πρέπει να είναι σε χιλιοστά, οι συντεταγμένες και σε Newton ανά τετραγωνικό χιλιοστό οι πιέσεις N/mm^2 . Για τις ενδιάμεσες τιμές το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα μια γραμμική κατανομή.



	X	Y	Z	Field value
1	91670	0	0	0.141254
2	91670	14330	0	0.136784
3	91670	-14330	0	0.136784
4	109070	0	0	0.141254
5	109070	14330	0	0.136784
6	109070	-14330	0	0.136784
7	114500	0	0	0.142074
8	114500	14330	0	0.138314
9	114500	-14330	0	0.138314
10	137400	0	0	0.147234
11	137400	14330	0	0.148344
12	137400	-14330	0	0.148344
13	161270	0	0	0.152974
14	161270	14330	0	0.164194

Εικόνα 48 Mapped Analytical Field

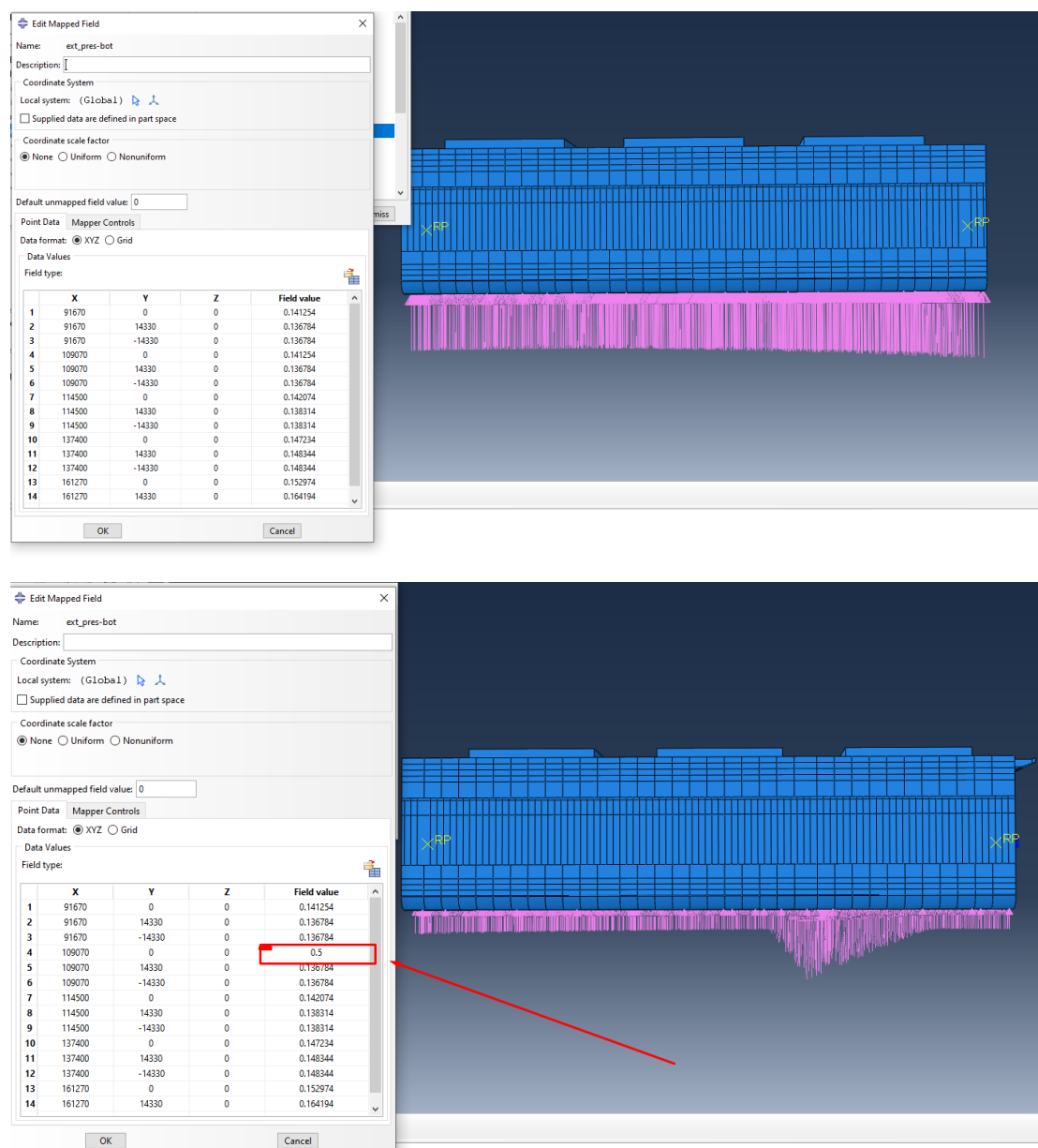
Οι συντεταγμένες Y & Z των σημείων στα οποία θα εισαχθούν οι πιέσεις φαίνονται στην αμέσως επόμενη φωτογραφία. Για την συντεταγμένη X, γίνεται η επιλογή τους σύμφωνα με τα σημεία αλλαγής του τύπου, των διαφόρων συντελεστών.



Εικόνα 49 Οι συντεταγμένες Y & Z

Έλεγχος εισαγωγής πιέσεων

Πριν γίνει η εισαγωγή των πιέσεων πραγματοποιείται ένας έλεγχος έτσι ώστε να πιστοποιηθεί η σωστή εφαρμογή, εισαγωγή και κατανομή των πιέσεων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται μεταβάλλοντας την τιμή της πίεσης σε ένα σημείο, αναμένοντας να αλλάξει και η αναπαράσταση των διανυσμάτων.



Εικόνα 50 Έλεγχος εισαγωγής πιέσεων

Στις παραπάνω φωτογραφίες είναι ξεκάθαρο πως οι γραμμικές κατανομές των πιέσεων, συνάδουν με τους πίνακες εισαγωγής δεδομένων, καθώς στο σημείο 4, που φαίνεται στην εικόνα 50, στην τιμή της πίεσης έγινε εισαγωγή της τιμής $0,5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$. Πρόκειται για μία τιμή αρκετά μεγαλύτερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες προκειμένου να δώσει αισθητές διαφορές στην αποτύπωση των διανυσμάτων από το πρόγραμμα.

Βάρος κατασκευής

Για το βάρος της κατασκευής, αρκεί να εφαρμοστεί ένα φορτίο / Gravity, το οποίο δημιουργείται ασκώντας την επιτάχυνση της βαρύτητας (με σωστές μονάδες μέτρησης) $g=9810 \text{ mm/s}^2$, στον άξονα Z.

Ο υπολογισμός γίνεται από το πρόγραμμα το οποίο λαμβάνει υπόψη την πυκνότητα του υλικού η οποία έχει εισαχθεί από τις ιδιότητες του υλικού, την πυκνότητα δηλαδή, κατά τον σχεδιασμό της γεωμετρίας.

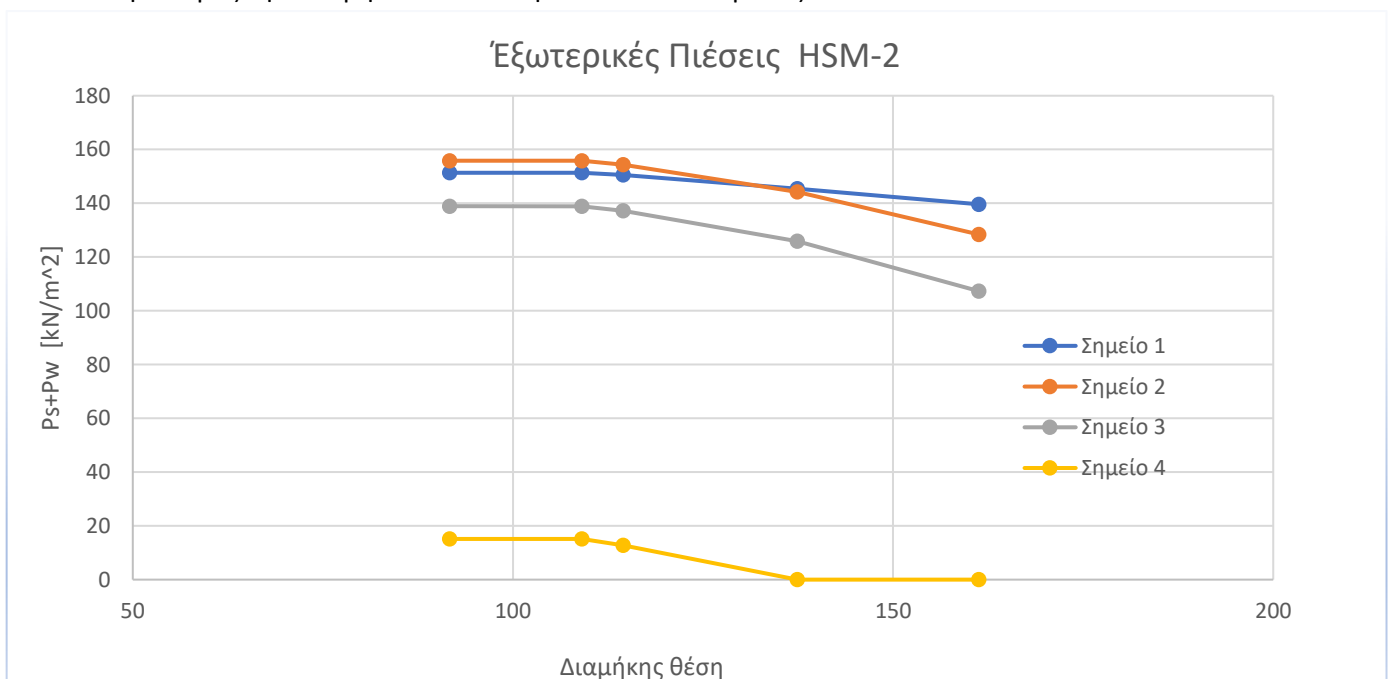
$$\rho_{st}=7,8 \frac{t}{m^3} =7,8 \cdot 10^{-9} \frac{t}{mm^3}.$$

Πιέσεις θάλασσας

Οι πιέσεις της θάλασσας είναι εξωτερικές και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

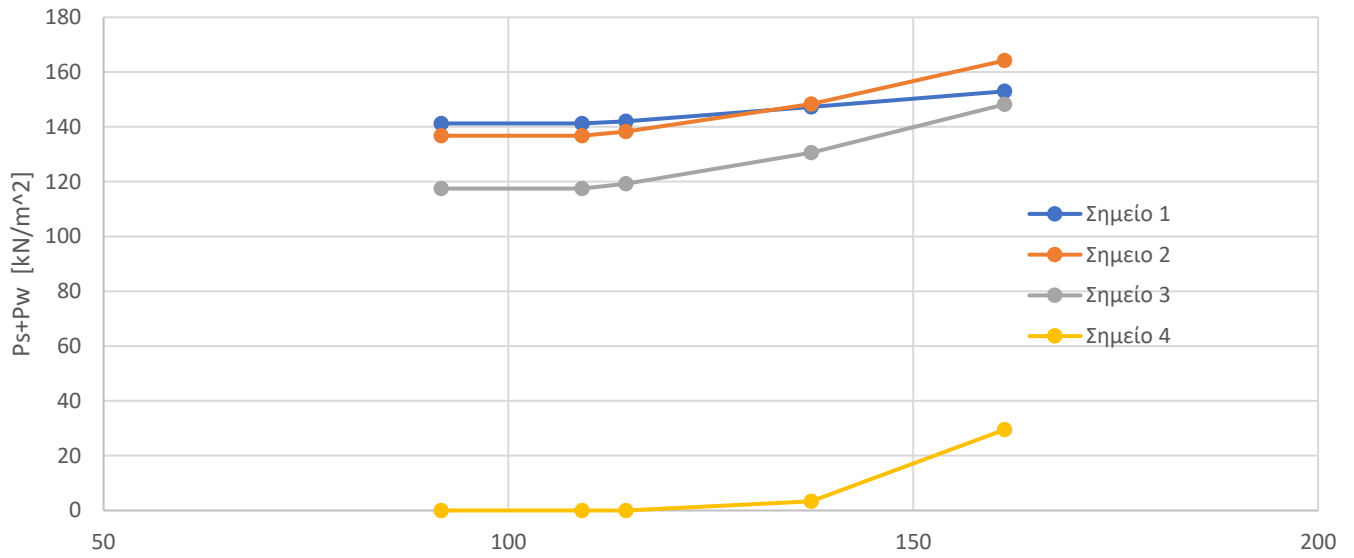
- Την στατική πίεση η οποία είναι σταθερή κατά το διάμηκες το πλοίου και μεταβάλλεται μόνο κατά το ύψος – βύθισμα, λαμβάνοντας υπόψη το βύθισμα και την πυκνότητα του νερού.
- Την δυναμική πίεση η οποία έχει αναλυθεί κατά τον υπολογισμό του εύρους τάσης με την μέθοδο Simplified Stress Analysis.

Η κατανομή τους δίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα, για τις καταστάσεις HSM-1 & HSM-2. Στα διαγράμματα 2 και 3 παρουσιάζονται οι συνιστάμενες των πιέσεων που αναφέρονται παραπάνω, δηλαδή η συνισταμένη της στατικής και της δυναμικής πίεσης. Οι πιέσεις αυτές έχουν ίδια διεύθυνση επομένως το αποτέλεσμα προκύπτει από το αλγεβρικό τους άθροισμα. Έπειτα, στις εικόνες 43 και 44 παρουσιάζονται οι πιέσεις όπως αποτυπώνονται από το πρόγραμμα ABAQUS/CAE. Όπως είναι αναμενόμενο, οι πιέσεις στην κατάσταση HSM-1 Sagging αυξάνονται καθώς κινούμαστε προς την πλήρη αψού κινούμαστε προς την κορυφή του κυματισμού. Αντίστοιχα στην κατάσταση HSM-2 μειώνεται η πίεση αφού προς την πλήρη συναντάται η κοιλιά του κύματος.

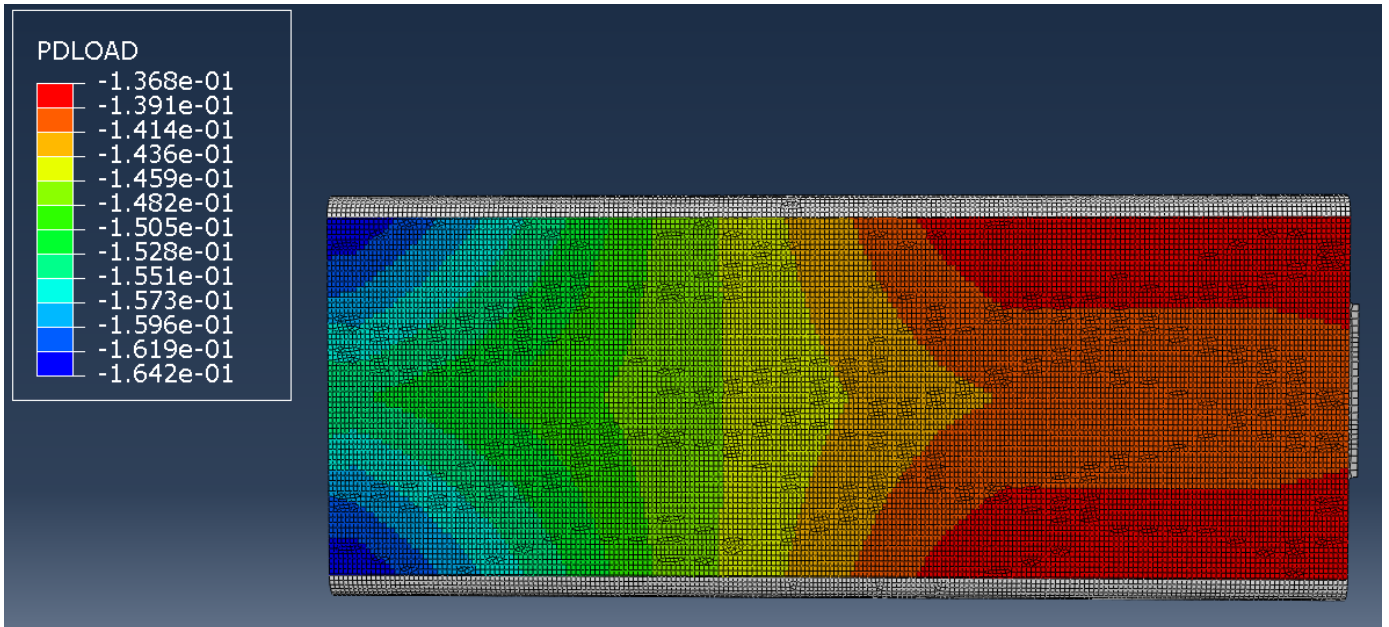


Διάγραμμα 1 Έξωτερικές Πιέσεις HSM-1

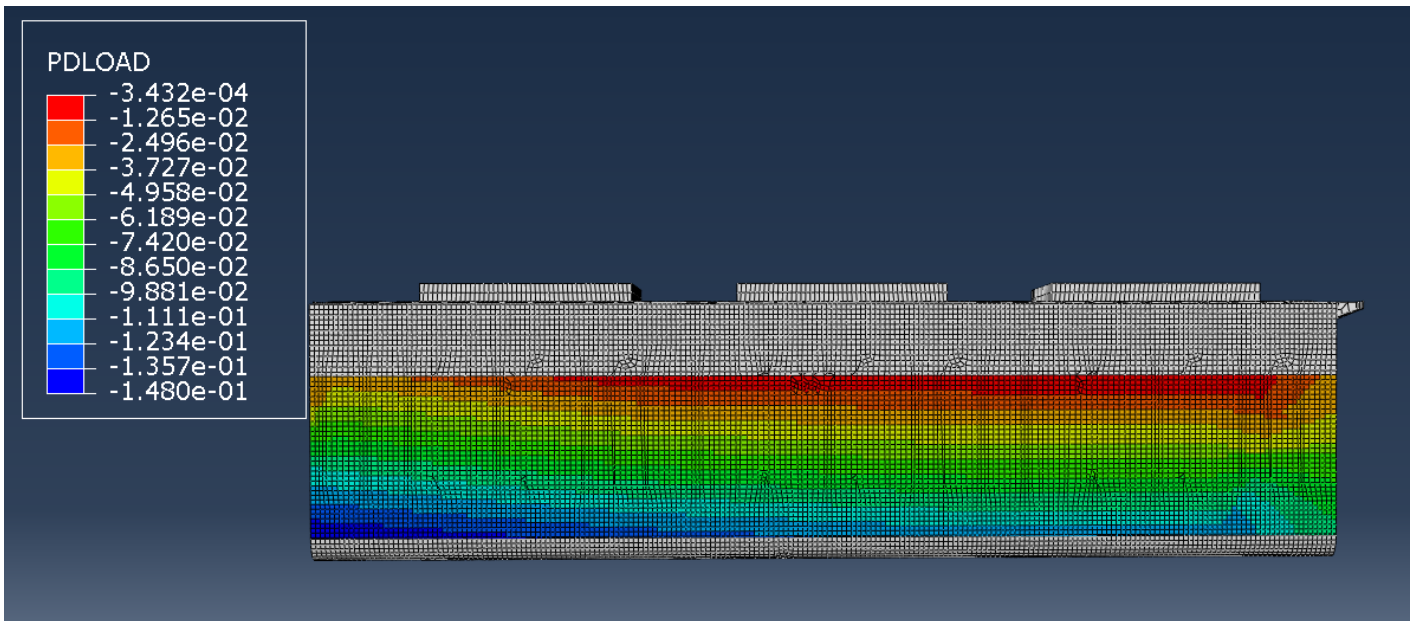
Έξωτερικές Πιέσεις HSM-1



Διάγραμμα 2 Έξωτερικές Πιέσεις HSM-2



Εικόνα 51 Πιέσεις Πυθμένα



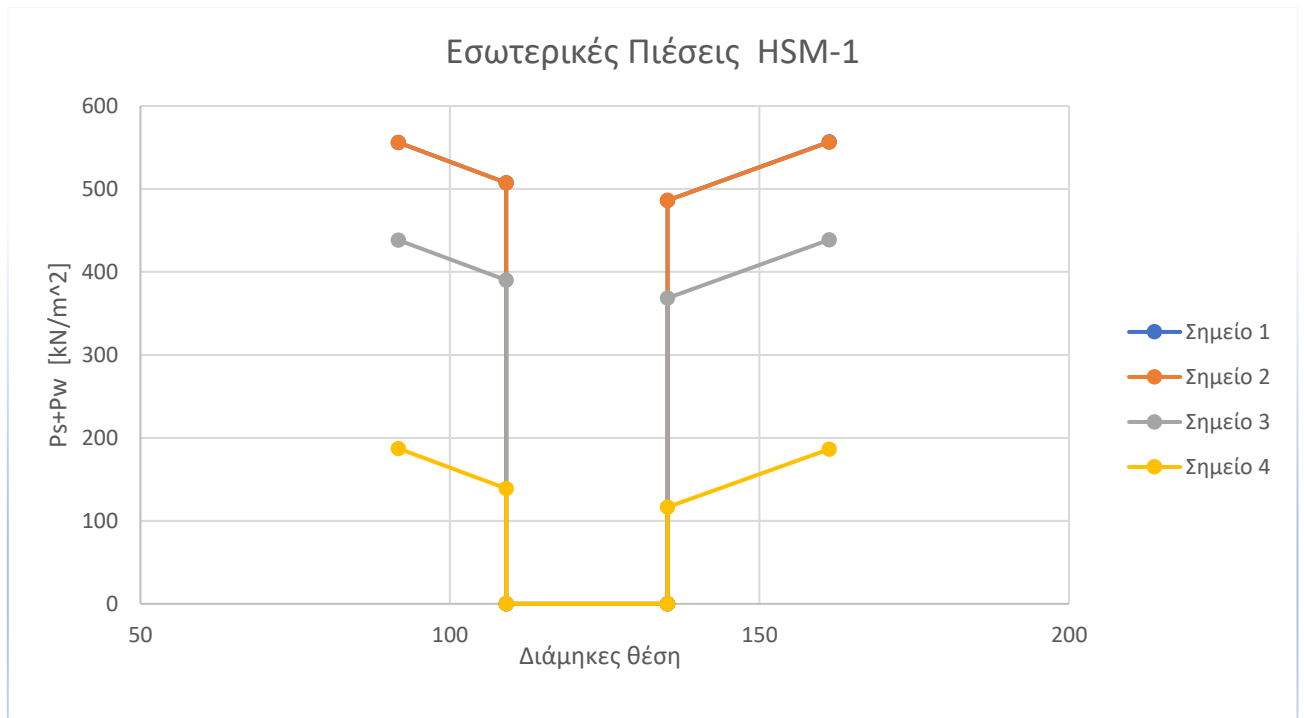
Εικόνα 52 Πλευρικές Πιέσεις

Πιέσεις φορτίου

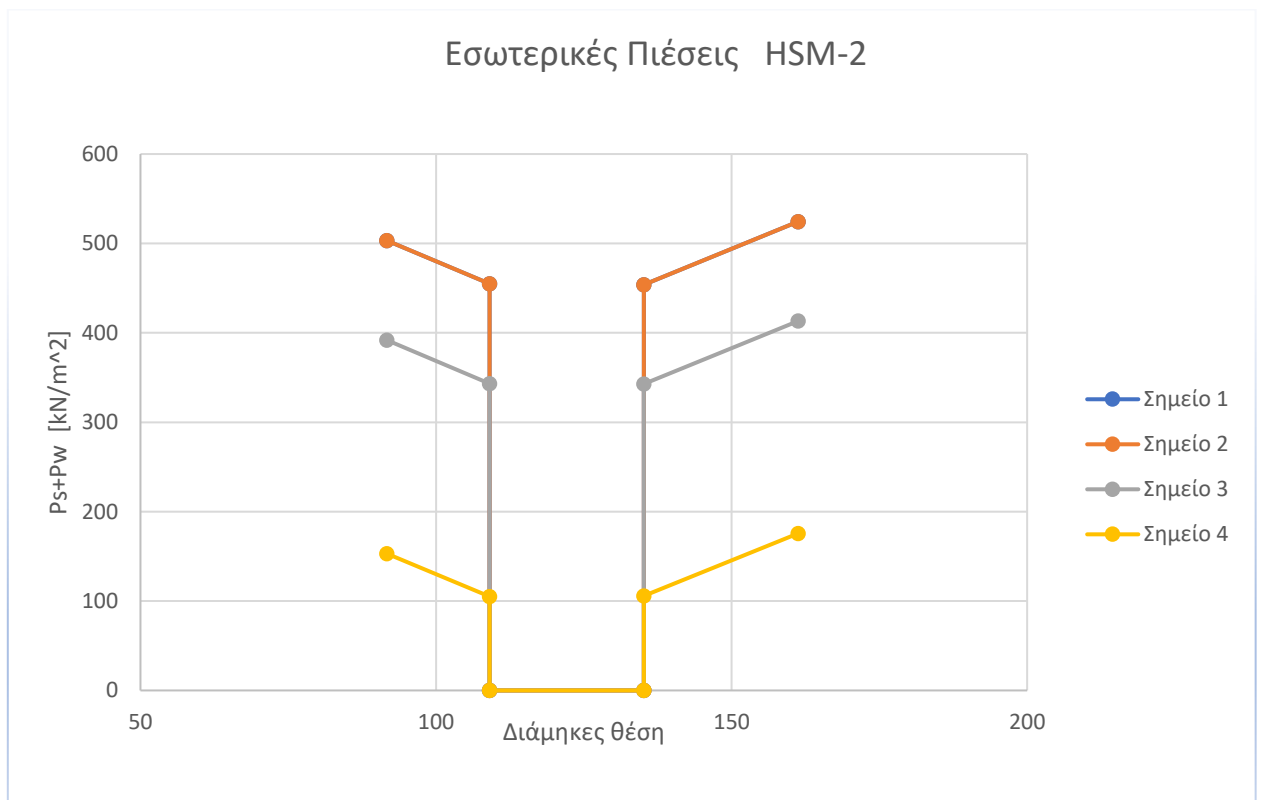
Οι πιέσεις του φορτίου είναι εσωτερικές και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

- Την στατική πίεση η οποία είναι σταθερή κατά το διάμηκες το πλοίου και μεταβάλλεται μόνο κατά το ύψος, λαμβάνοντας υπόψη το ύψος στο σημείο έχει φορτωθεί το αμπάρι και την πυκνότητα του φορτίου. Σημειώνεται ότι η πίεση του φορτίου λαμβάνεται από το Trim & Stability του πλοίου.
- Την δυναμική πίεση φορτίου η οποία έχει αναλυθεί κατά τον υπολογισμό του εύρους τάσης με την μέθοδο Simplified Stress Analysis.

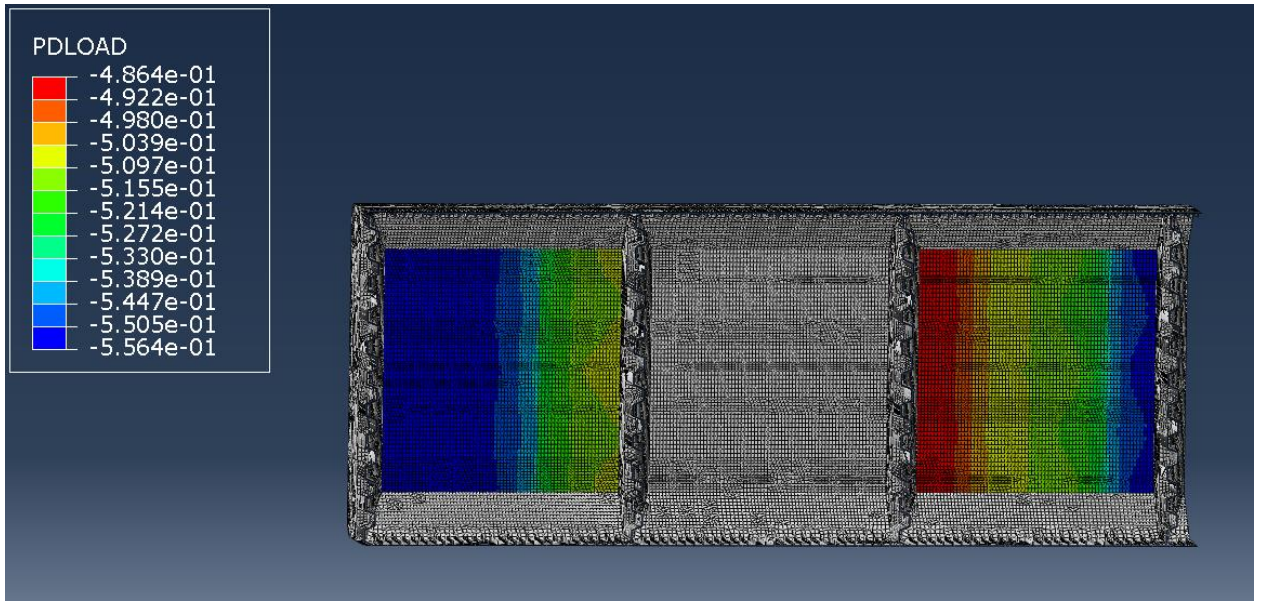
Η κατανομή τους δίνεται από τα παρακάτω διαγράμματα, για τις καταστάσεις HSM-1 & HSM-2. Όπως και στις εξωτερικές πιέσεις οι τιμές προκύπτουν από το αλγεβρικό άθροισμα της δυναμικής και της στατικής πίεσης του φορτίου. Σημειώνεται πως η τιμές στα σημεία 1 και 2 είναι ίδιες, καθώς έχουν την ίδια στατική πίεση φορτίου και την ίδια επιτάχυνση για την μεταβολή της δυναμικής πίεσης φορτίου. (Η επιτάχυνση για τις καταστάσεις HSM δεν μεταβάλλεται στον εγκάρσιο άξονα). Έπειτα, στις εικόνες 45,46 και 47 παρουσιάζονται οι πιέσεις αυτές όπως αποτυπώνονται από το πρόγραμμα.



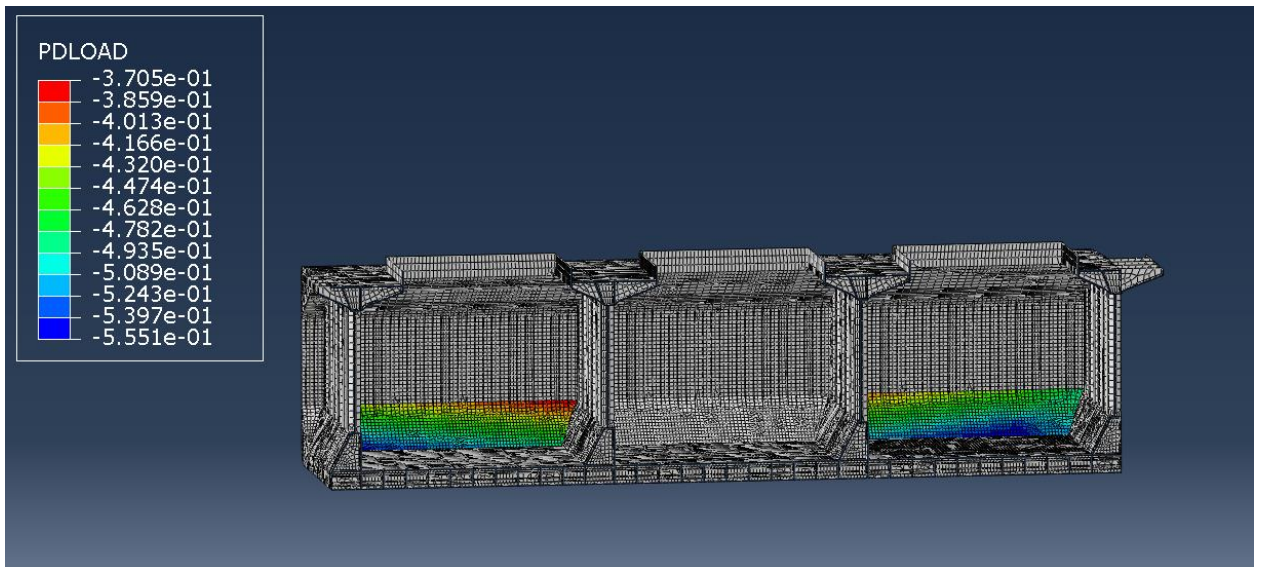
Διάγραμμα 3 Εσωτερικές Πιέσεις HSM-1



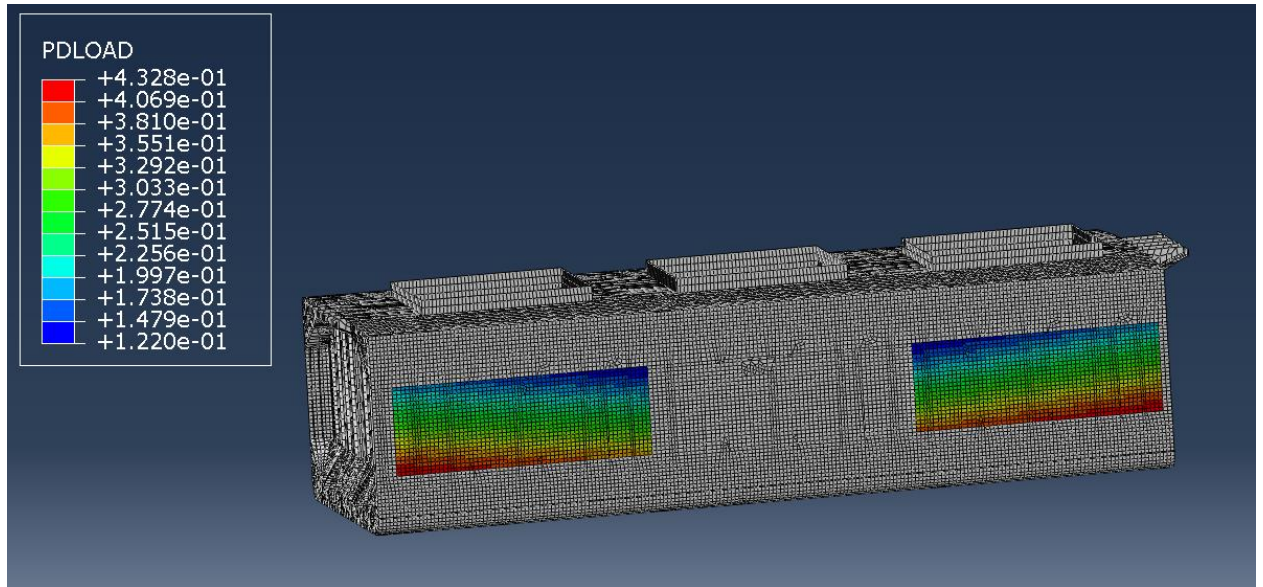
Διάγραμμα 4 Εσωτερικές Πιέσεις HSM-2



Εικόνα 53 Πιέσεις πυθμένα κύτους



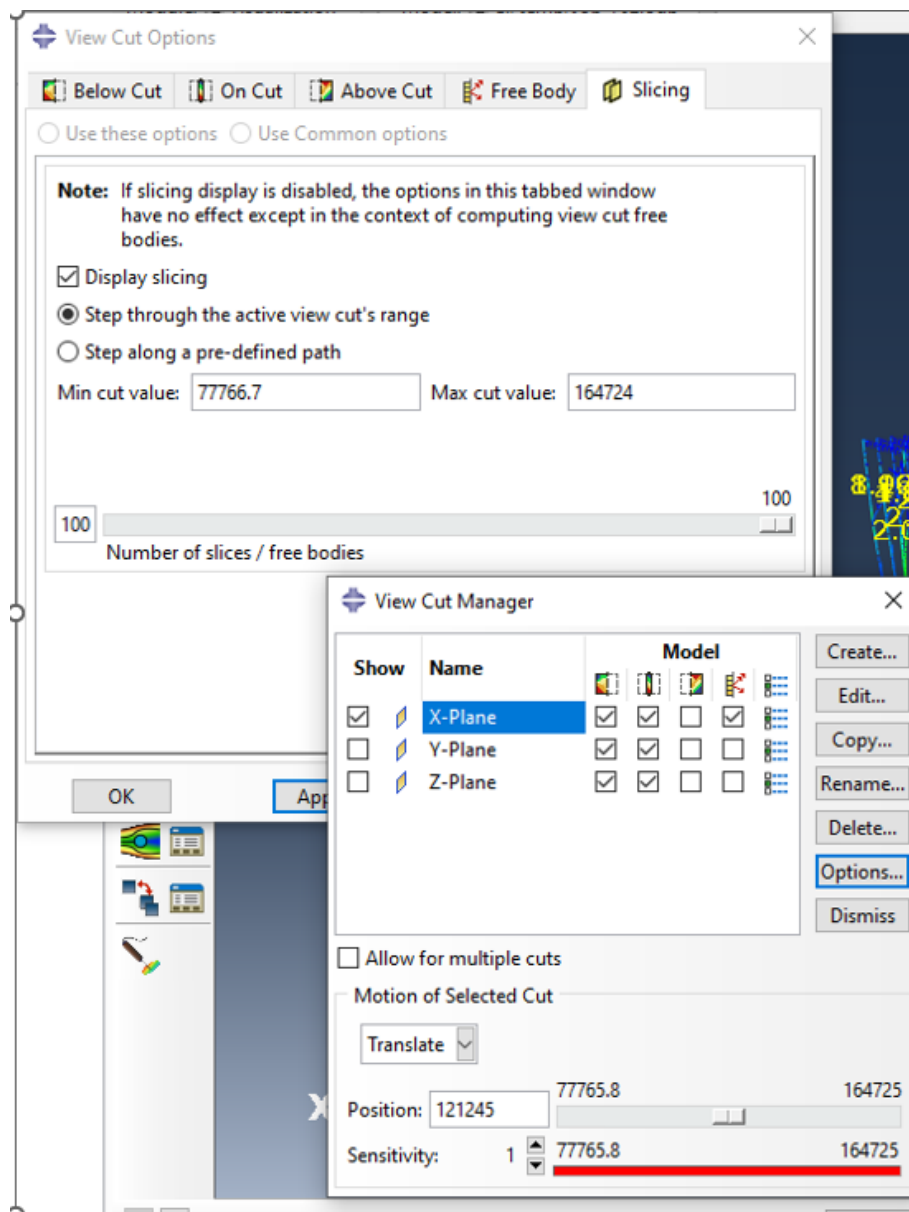
Εικόνα 54 Πιέσεις ελάσματος



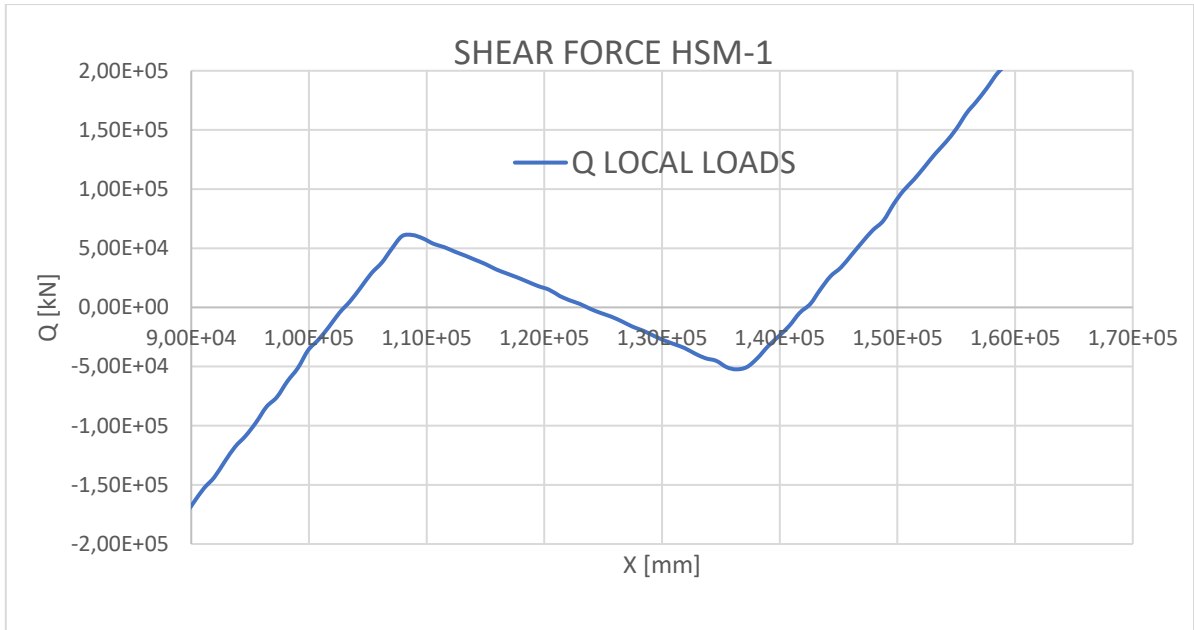
Εικόνα 55 Πιέσεις πλευρικού ελάσματος

Κεφάλαιο 9 Διορθώσεις - Adjustments

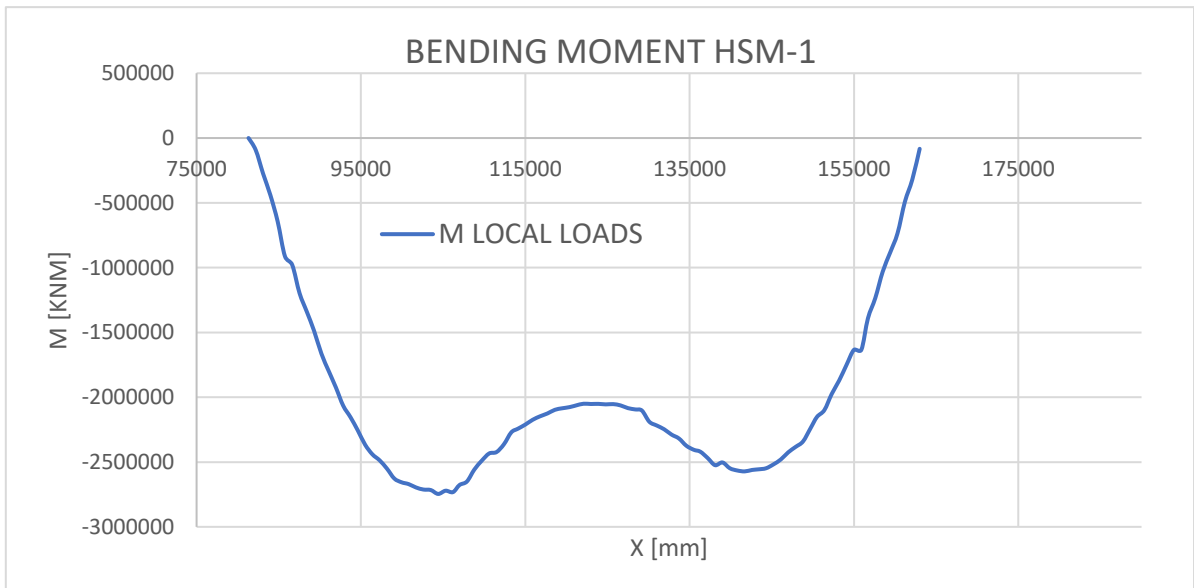
Έχοντας μοντελοποιήσει όλες τις τοπικές φορτίσεις, πραγματοποιείται η πρώτη επεξεργασία των δεδομένων από το πρόγραμμα. Από αυτό το πρώτο « τρέξιμο » λαμβάνονται τα διαγράμματα διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών στο κέντρο κάθε διατομής, τα οποία θα διορθωθούν προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές (target values). Για την παραγωγή των διαγραμμάτων δημιουργούνται 100 εγκάρσια Slices στο Visualization Module, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται οι καταστάσεις HSM-1 & HSM-2.



Εικόνα 56 Δημιουργία 100 Slices



Διάγραμμα 5 SHEAR FORCE HSM-1



Διάγραμμα 6 BENDING MOMENT HSM-1

9.1 Διόρθωση Διατμητικών Δυνάμεων

Έπειτα με τη εφαρμογή της πρώτης μεθόδου από τις δύο που περιγράφονται σε προηγούμενο κεφάλαιο Μέθοδος 1 (M1) ασκώντας δυο ροπές στα άκρα του μοντέλου, ίδιου μέτρου και ίδιας διεύθυνσης, $M_{Y_aft} = M_{Y_fore}$, θα διορθωθεί η διατμητική δύναμη στην πρώτη φρακκή του μεσαίου κύτους. Για τον συνδυασμό της εναλλάξ φόρτωσης και της δυναμικής κατάστασης HSM – 1 που έχουν επιλεχθεί, προκύπτει μέγιστη ποσοστό διατμητικής δύναμης $C_{SF-LC}=1$ καθώς και ότι $C_{BM-LC} = 0$ δηλαδή, έχουμε μηδενική συνεισφορά της συνιστώσας σε ήρεμο νερό στη συνολική ροπή κάμψης. Αμέσως μετά, εφαρμόζονται οι ροπές στα άκρα του μοντέλου προκειμένου να γίνουν οι διορθώσεις στην καμπτική ροπή στο μεσαίο κύτος (No.4)

$$Q_{targ-aft} = C_{SF-LC} Q_{SW-pos} + \Delta Q_{swa} + f\beta |C_{QW}| Q_{WV-pos}$$

$$Q_{targ-fwd} = C_{SF-LC} Q_{SW-neg} - \Delta Q_{swf} + f\beta |C_{QW}| Q_{WV-neg}$$

$$M_{V-targ} = C_{BM-LC} * M_{SW} + M_{WV-LC}$$

HSM1	Target	FEM
Qaft [kn]	32667,46	43640,00
Mv-targ	-601208,2782	

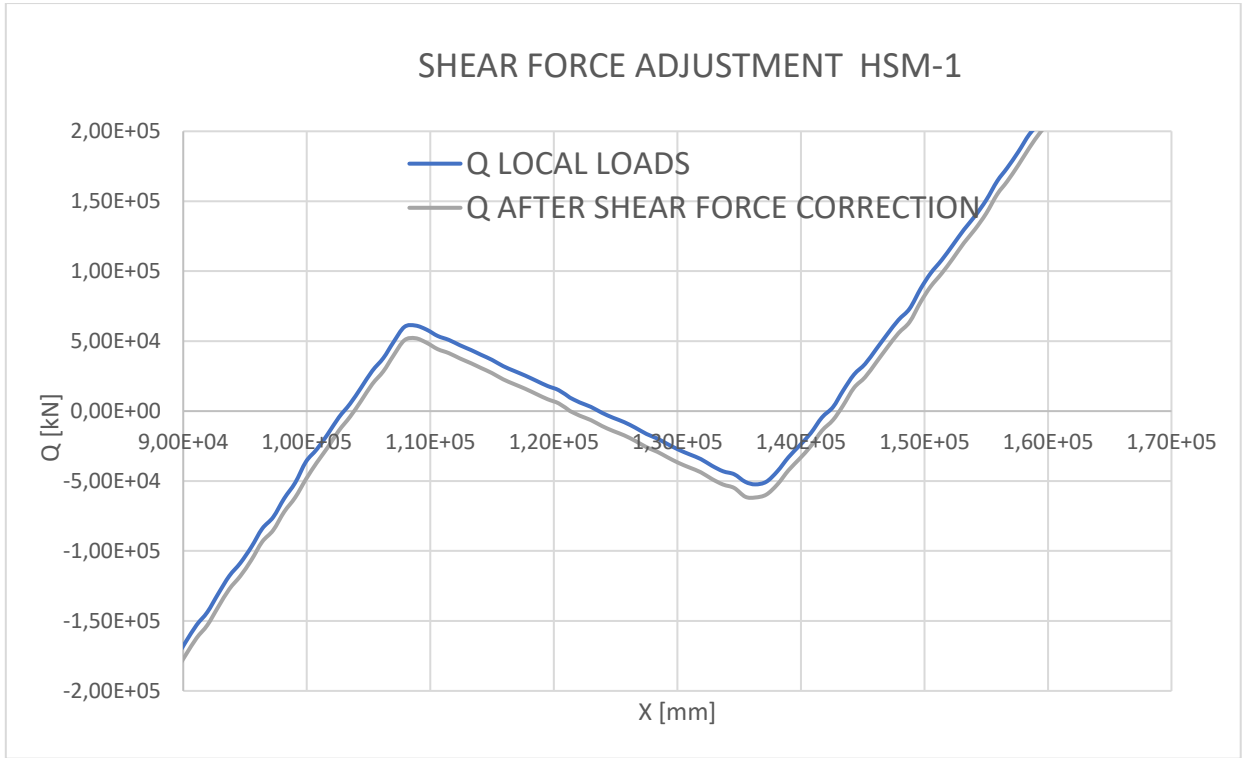
Οι ροπές υπολογίζονται με τον παρακάτω τύπο όπου, x_{fore} & x_{aft} είναι τα άκρα του μοντέλου, και Q_{aft} είναι η τιμή της διατμητικής δύναμης στο aft bulkhead του μεσαίου hold. (hold 4)

$$M_{Y-AFT} = M_{Y-FOR} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2} * (Q_{targ-aft} - Q_{aft})$$

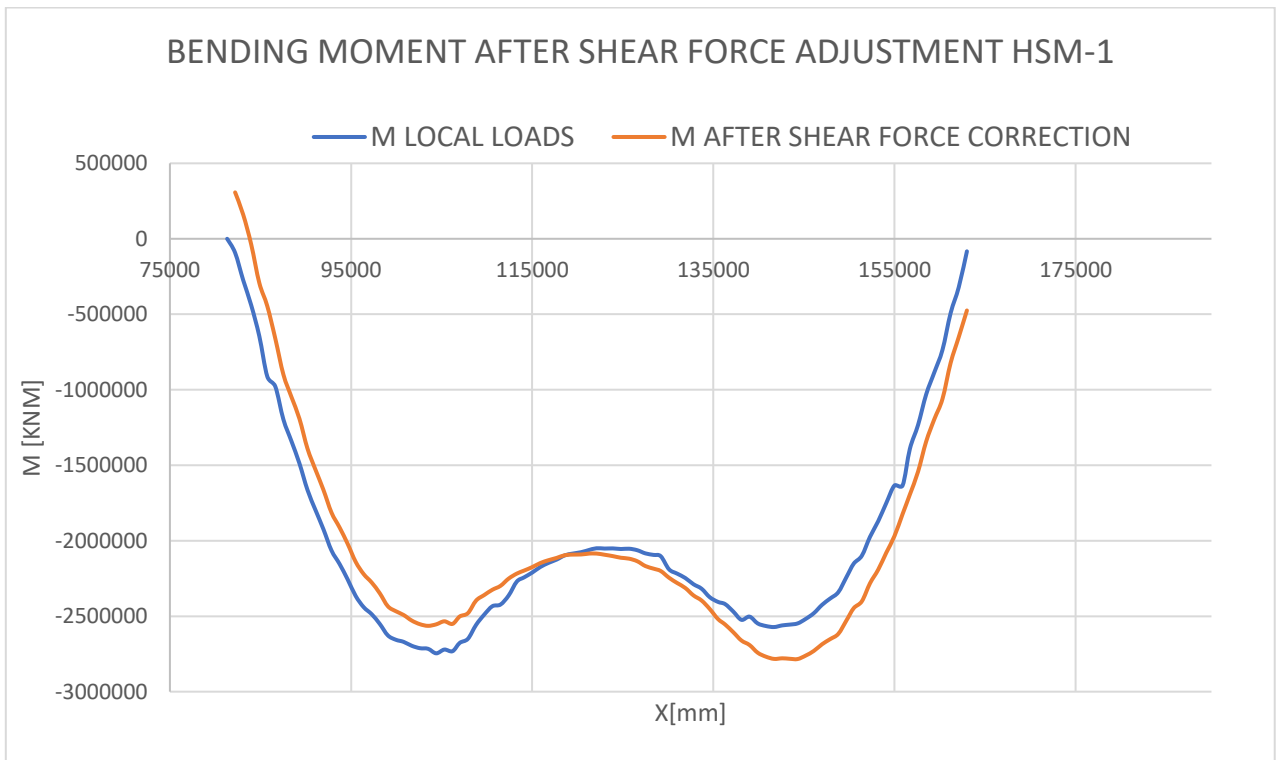
$$M_{Y-AFT} = M_{Y-FOR} = \frac{(x_{fore} - x_{aft})}{2} * (Q_{targ-fwd} - Q_{fwd})$$

	[kN*m]	[N*mm]
M_{Y_AFT}	-384038,9	-3,84039E+11
M_{Y_FWD}	-384038,9	-3,84039E+11

Η διόρθωση αυτή μεταβάλλει και διορθώνει την διατμητική δύναμη επιτυγχάνοντας το target value. Επιπλέον όμως προκαλεί και μεταβολή στην κατανομή των καμπτικών ροπών, στις οποίες θα ασκηθεί επιπλέον διόρθωση για να επιτευχθεί και εκεί η target value, στο σημείο που παρουσιάζεται η ελάχιστη διατμητική δύναμη στο μεσαίο αμπάρι μετά την 1 η διόρθωση.



Διάγραμμα 7 SHEAR FORCE ADJUSTMENT HSM-1



Διάγραμμα 8 BENDING MOMENT AFTER SHEAR FORCE ADJUSTMENT HSM-1

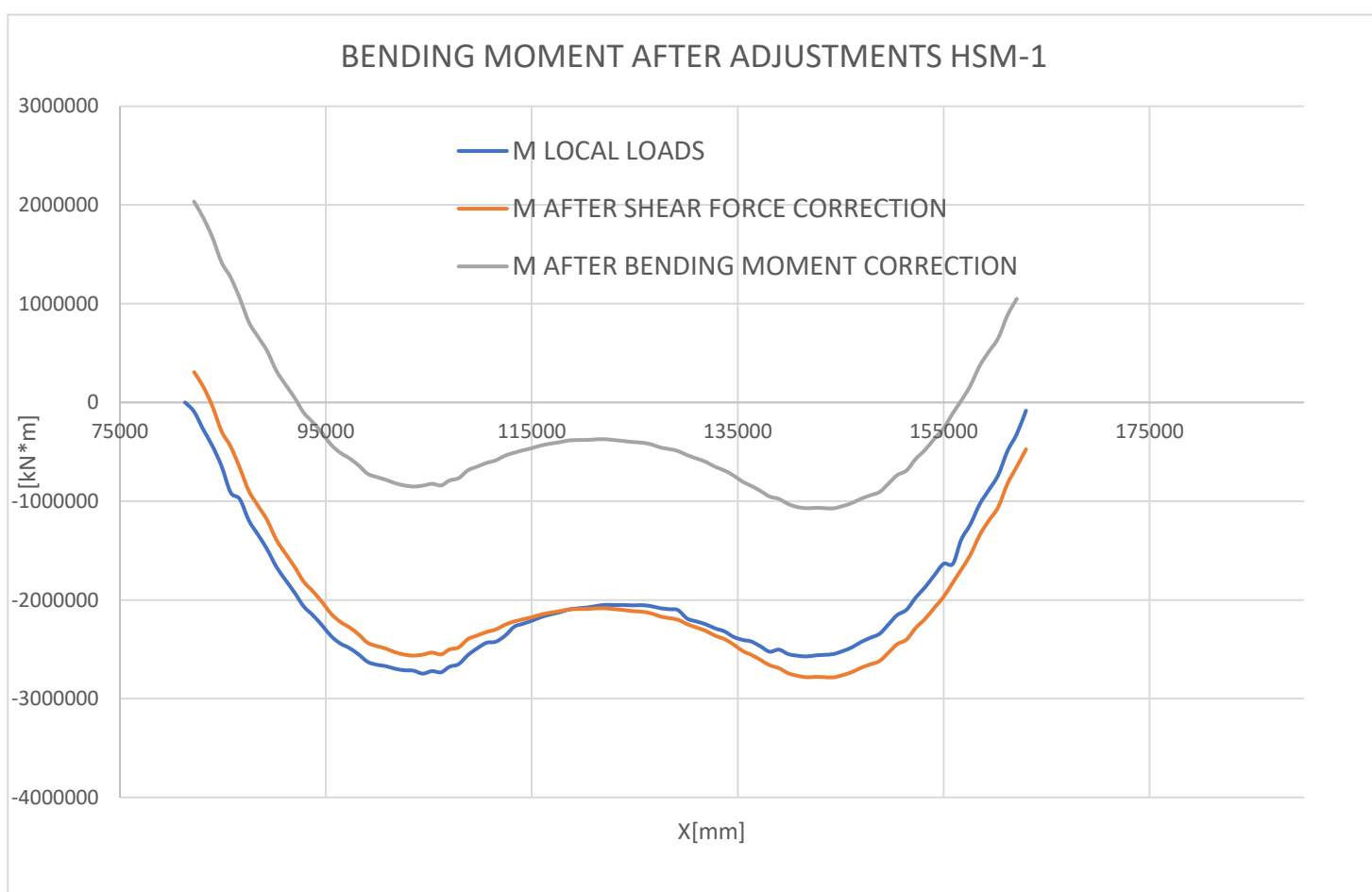
9.2 Διόρθωση Καμπτικών Ροπών

Η διόρθωση της καμπτικής ροπής γίνεται, εφαρμόζοντας στο μοντέλο μια ροπή κάμψης M_{v-end} . Η ροπή αυτή δεν μεταβάλλει το διάγραμμα διατμητικών δυνάμεων γιατί ασκούνται αντίθετες ροπές, οι οποίες παράγουν ίσες και αντίθετες δυνάμεις.

Η ροπή που θα ασκηθεί δίνεται με τον παρακάτω τύπο

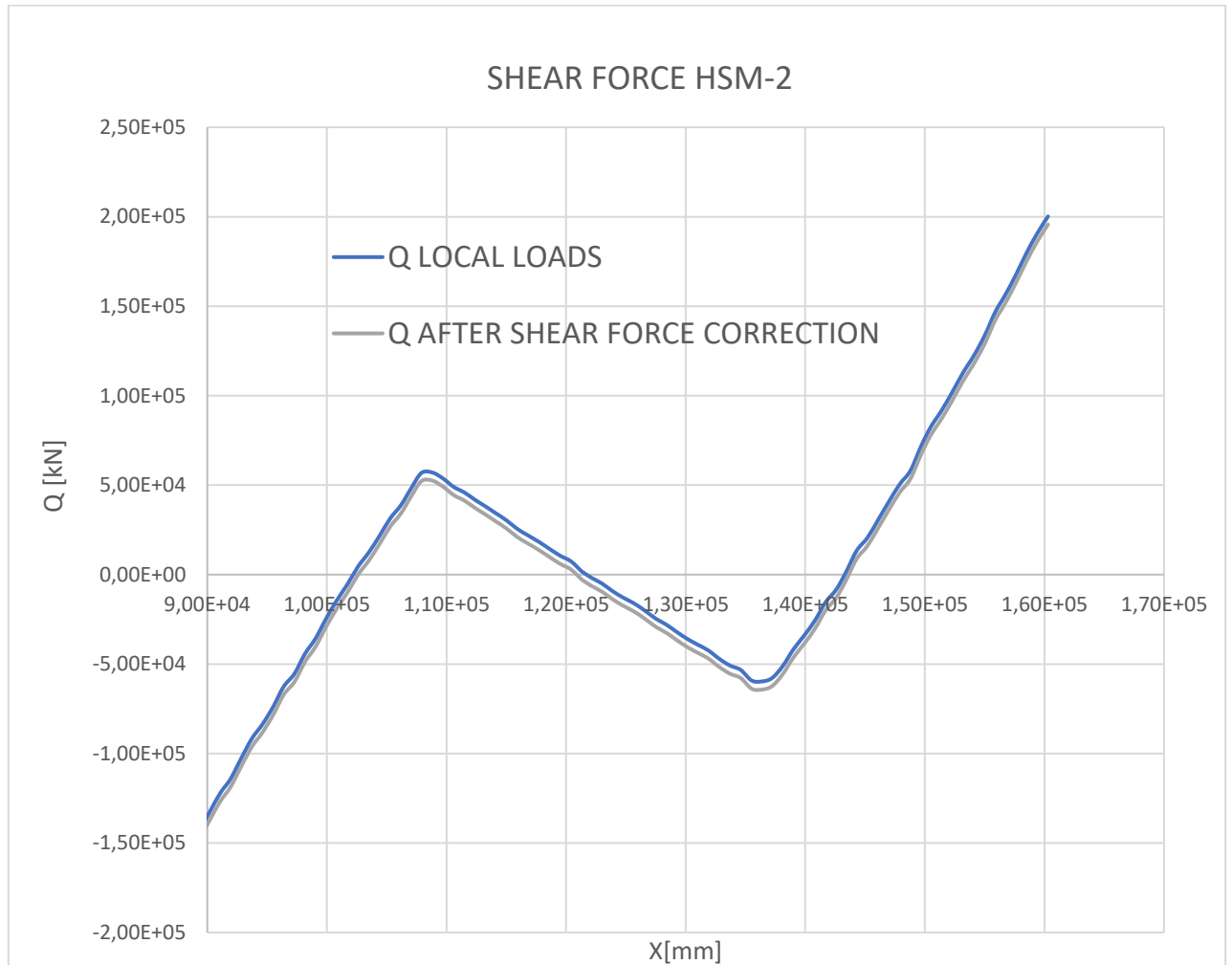
$$M_{v-end} = M_{v-targ} - M_{v-peak}$$

$$M_{v-end} \text{ [kN*m]} = 1,71E+06 \text{ [kN*m]}$$

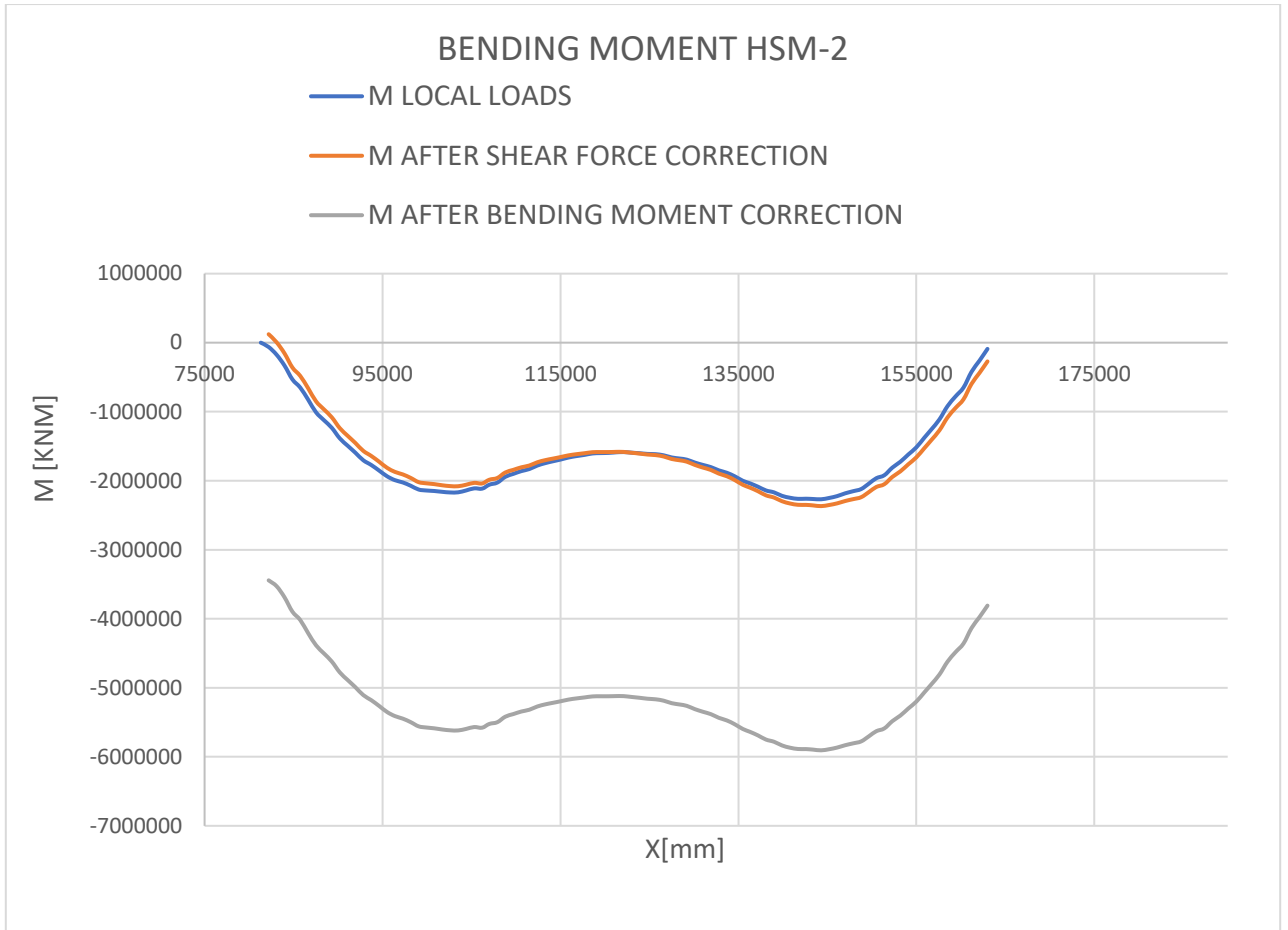


Διάγραμμα 9 BENDING MOMENT AFTER ADJUSTMENTS HSM-1

Αντίστοιχα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για την κατάσταση HSM-2.



Διάγραμμα 10 SHEAR FORCE HSM-2



Διάγραμμα 11 BENDING MOMENT HSM-2

Επίλυση

Το αριθμητικό πρόβλημα επιλύεται με την το πρόγραμμα ABAQUS. Προκειμένου να εξαχθεί το εύρος τάσεις, θα γίνει η εξής μελέτη. Θα γίνει η εφαρμογή των φορτίων για την κατάσταση HSM-1, έπειτα για την κατάσταση HSM-2 και οι τάσεις που θα αναπτυχθούν να προστεθούν κατά απόλυτη τιμή.

Πρόκειται για μια στατική ανάλυση, η οποία εξάγει ως αποτέλεσμα την μακροπρόθεσμη συμπεριφορά της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη τις φορτίσεις και τις συνοριακές συνθήκες. Η απόκριση αυτή θεωρείται γραμμική συνάρτηση των φορτίσεων. Για κάθε κατάσταση γίνεται ταυτόχρονη επιβολή φορτίσεων στο μοντέλο αφού χρησιμοποιείται ένα μόνο STEP. Για την δημιουργία του Step επιλέχθηκε

Procedure Type: General → Step: Static, General.

Έπειτα, ορίζεται στο Job Module, οι μεταβλητές που θα υπολογίσει το πρόγραμμα.

Field Output Requests

- ✓ Principal Stresses: S
- ✓ Mises Equivalent Stress: MISES
- ✓ Total Strains: E – Translations and rotations: U
- ✓ Reaction Forces and Moments: CF
- ✓ Section Forces and Moments: SF

Το πρόγραμμα επιλύεται σε υπολογιστή με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Λειτουργικό Windows 10
- RAM 16 GB
- CPU 64-bit Intel Core i7 @ 2.50 GHz

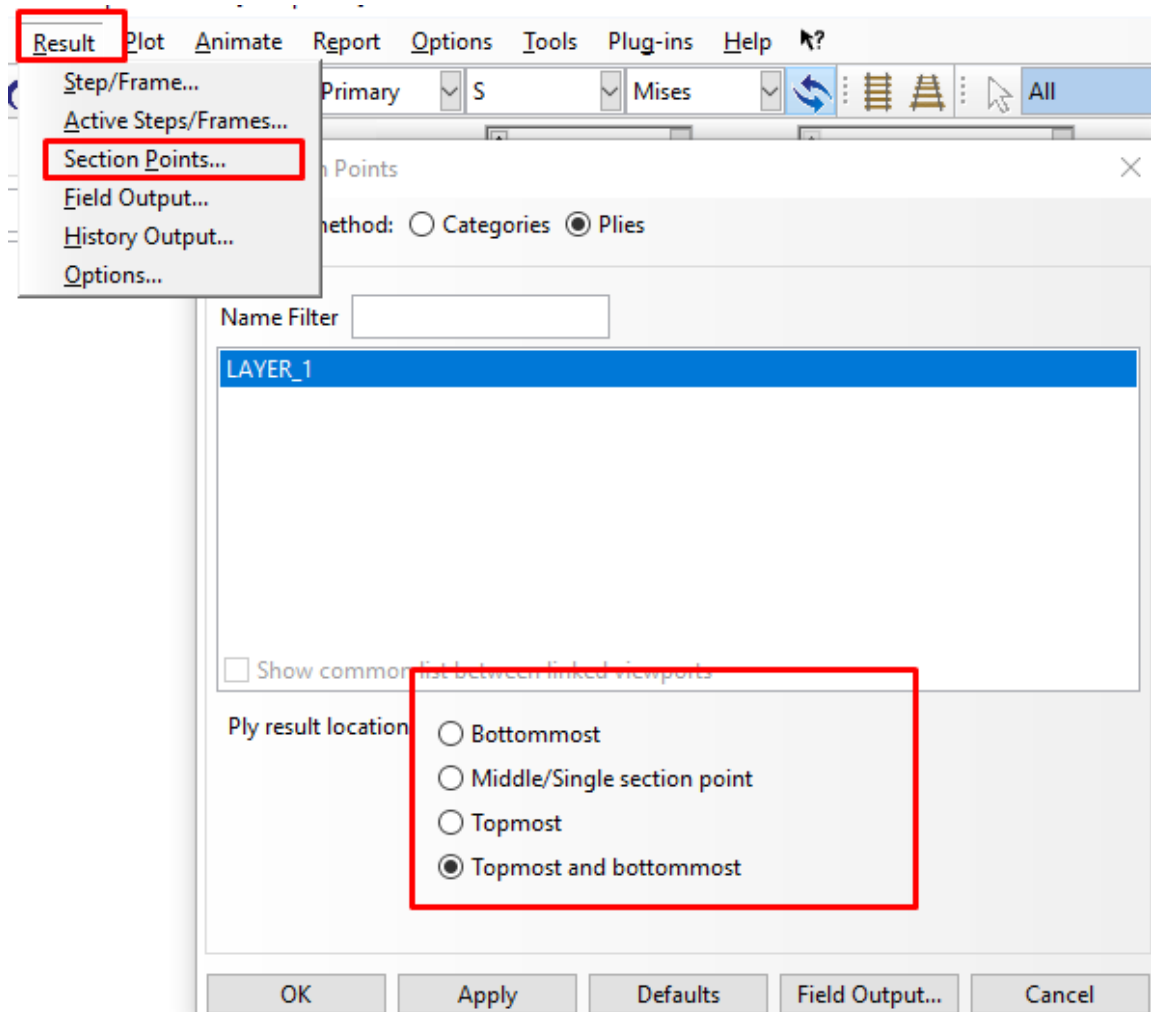
Κεφάλαιο 10 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Αμέσως μετά γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και η σύγκριση τους με την μέθοδο Simplified Stress Analysis. Για να επιτευχθεί η σύγκριση εξάγονται οι τάσεις στα ίδια σημεία, όπου και ελέγχθηκαν και προηγουμένως. Σημειώνεται πως με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, τα αποτελέσματα λαμβάνονται ως εξής. Πραγματοποιείται ένα «τρέξιμο» του προγράμματος για την κατάσταση HSM-1 και ένα δεύτερο για την κατάσταση HSM-2. Από τις τάσεις που προκύπτουν στα σημεία ενδιαφέροντος για κάθε μια από τις δύο εξεταζόμενες καταστάσεις προκύπτει και το εύρος τάσης.

Επειδή πρόκειται για μελέτη έναντι κοπώσεως, οι τιμές στις οποίες πρέπει να δοθεί προσοχή και να ληφθούν υπόψη είναι οι τιμές οι οποίες :

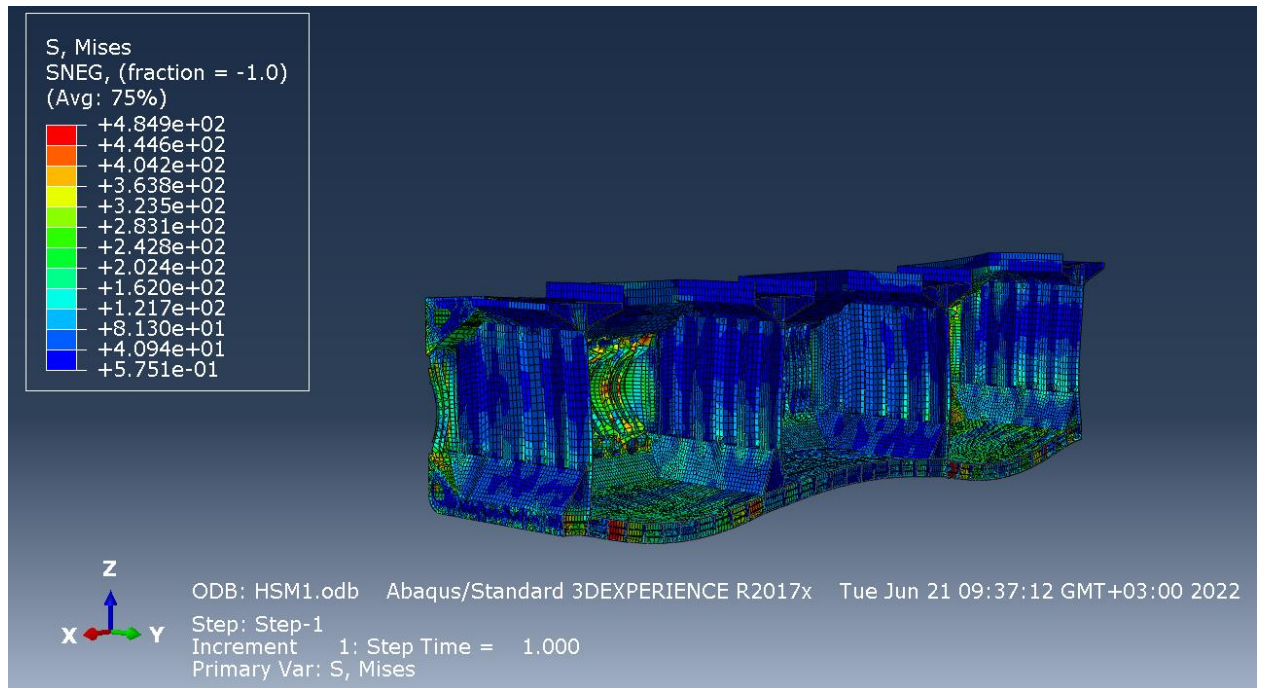
- ❖ Βρίσκονται στην επιφάνεια του ελάσματος, καθώς εκεί βρίσκονται οι ρωγμές.
- ❖ Έχουν κατεύθυνση κάθετη στην ραφή της συγκόλλησης των ελασμάτων του πλοίου.

Επομένως πρέπει να γίνει η επιλογή, μίας εκ των σ_x ή σ_y , καθώς επίσης, επειδή το πρόγραμμα by default υποδιαιρεί το κάθε στοιχείο (έλασμα) κατά το πάχος του και παρουσιάζει τις τάσεις στο μέσον του ελάσματος (κατά το πάχος), χρειάζεται να ληφθεί η τιμή από την ίδια εξωτερική μεριά του ελάσματος που υπολογίστηκε και στην απλοποιημένη μέθοδο ελάσματος. Αυτό ρυθμίζεται από το χειριστή με τις εξής αλλαγές στις ρυθμίσεις .

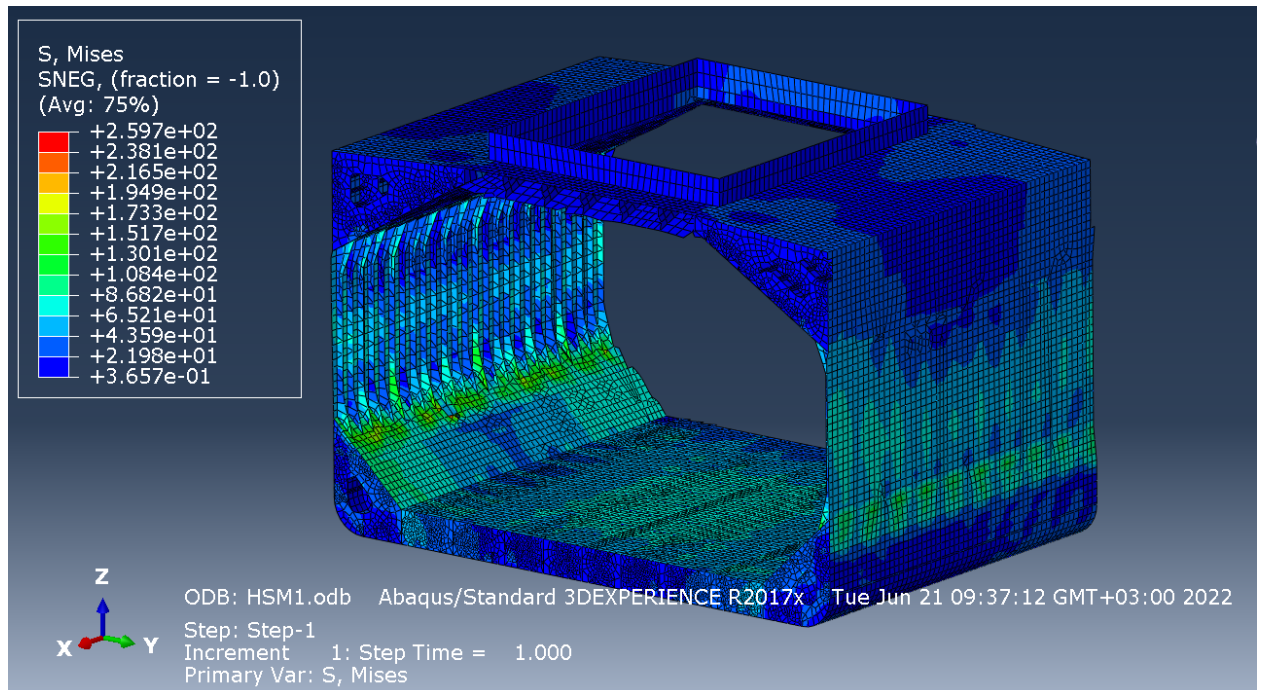


Εικόνα 57 Αλλαγή Ρυθμίσεων για επιθυμητά αποτελέσματα

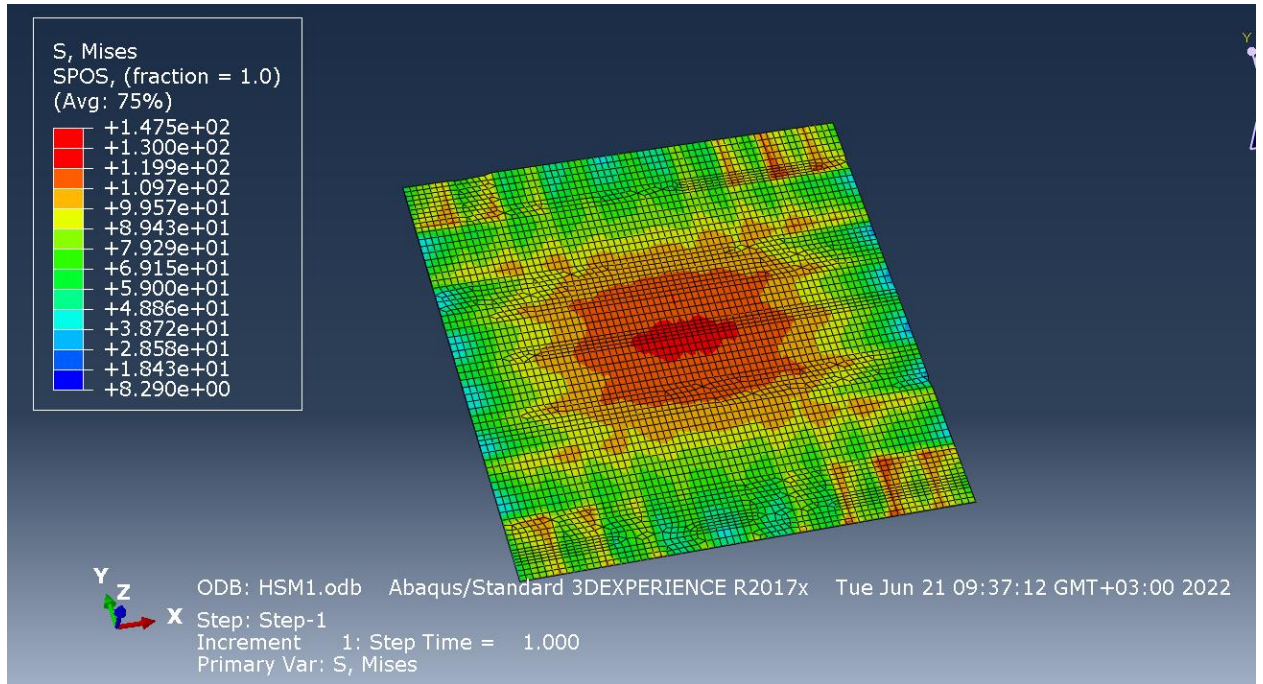
10.1 Αποτελέσματα του προγράμματος για την κατάσταση HSM-1



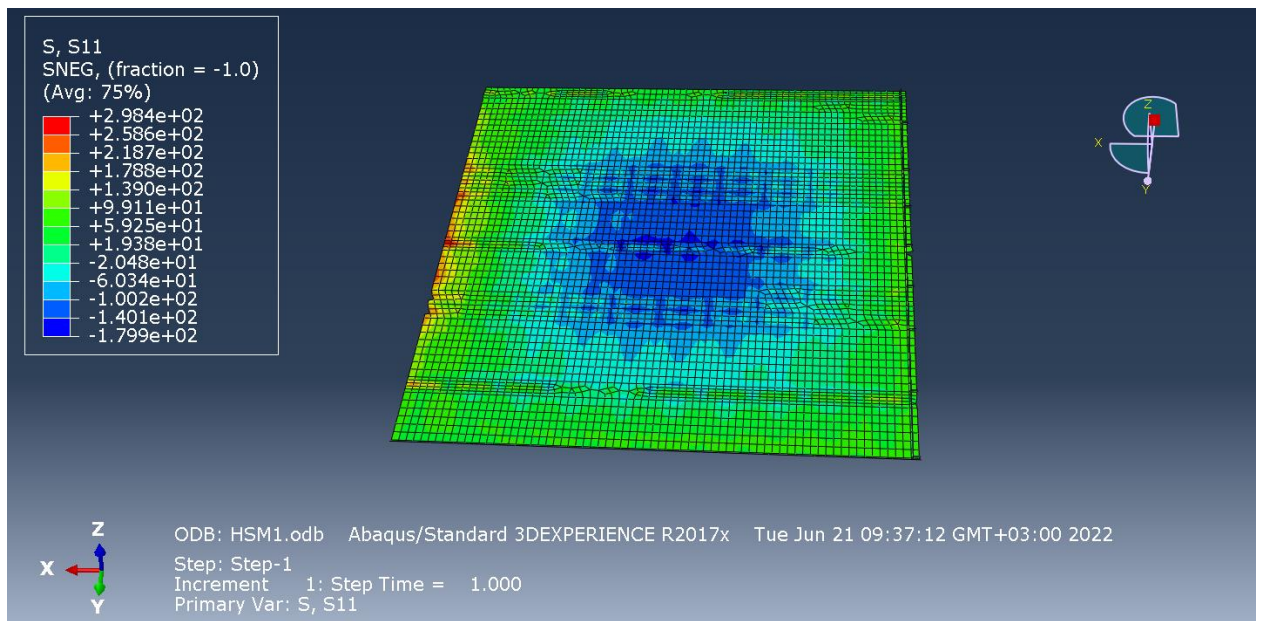
Εικόνα 58 Συνολική απόκριση μοντέλου: Τάση Mises, deformed, κατάσταση HSM1



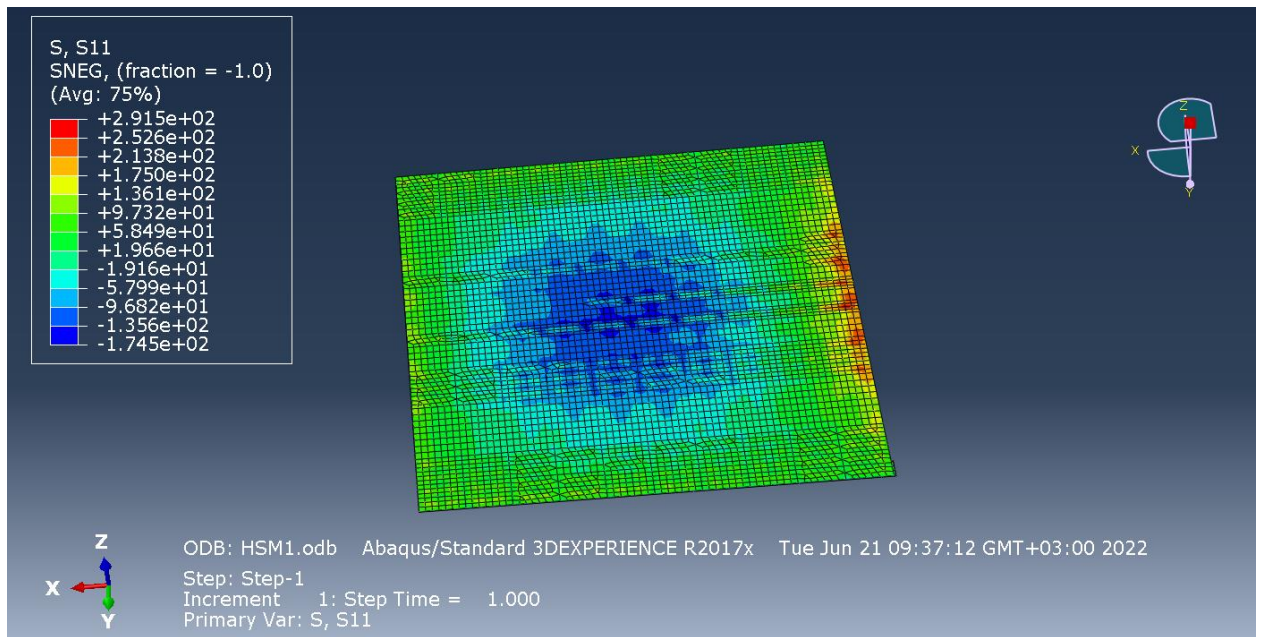
Εικόνα 59 Απόκριση Mid-Hold: τάση Mises, undeformed, κατάσταση HSM1



Εικόνα 60 Απόκριση Inner Bottom: Τάση Mises, undeformed κατάσταση HSM1, μεσαίο αμπάρι

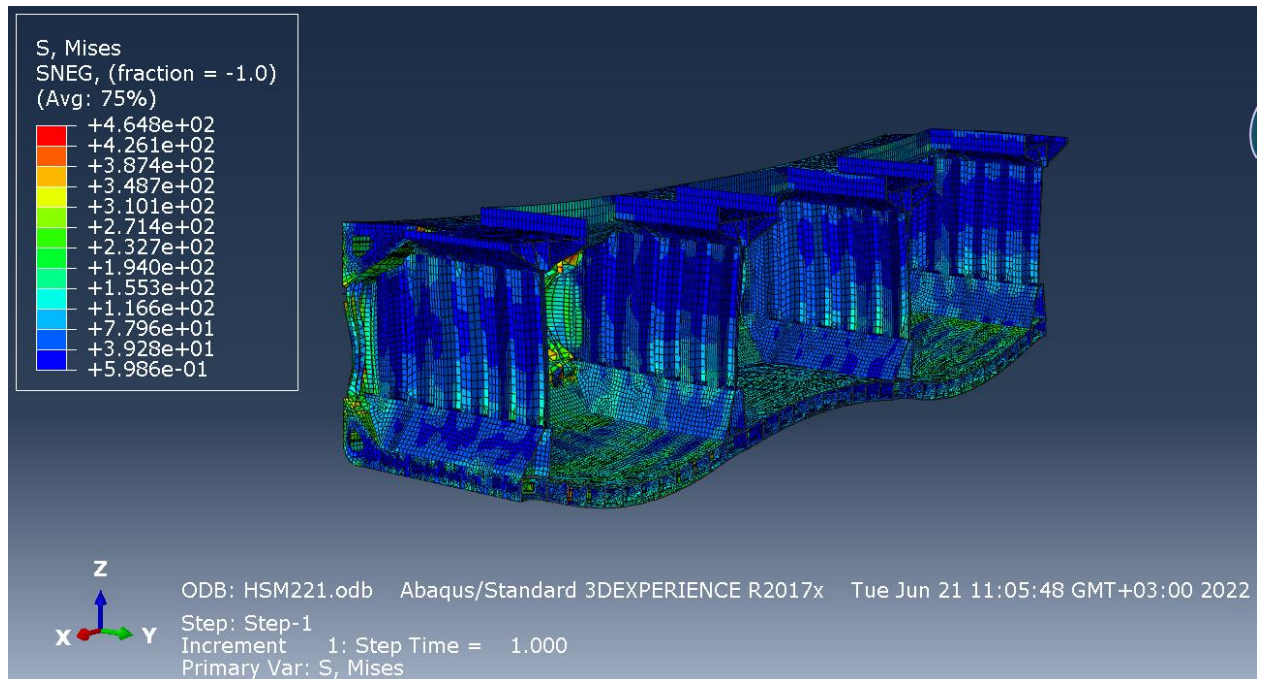


Εικόνα 61 Απόκριση Inner Bottom: Τάση S11, undeformed κατάσταση HSM1, αμπάρι No.3

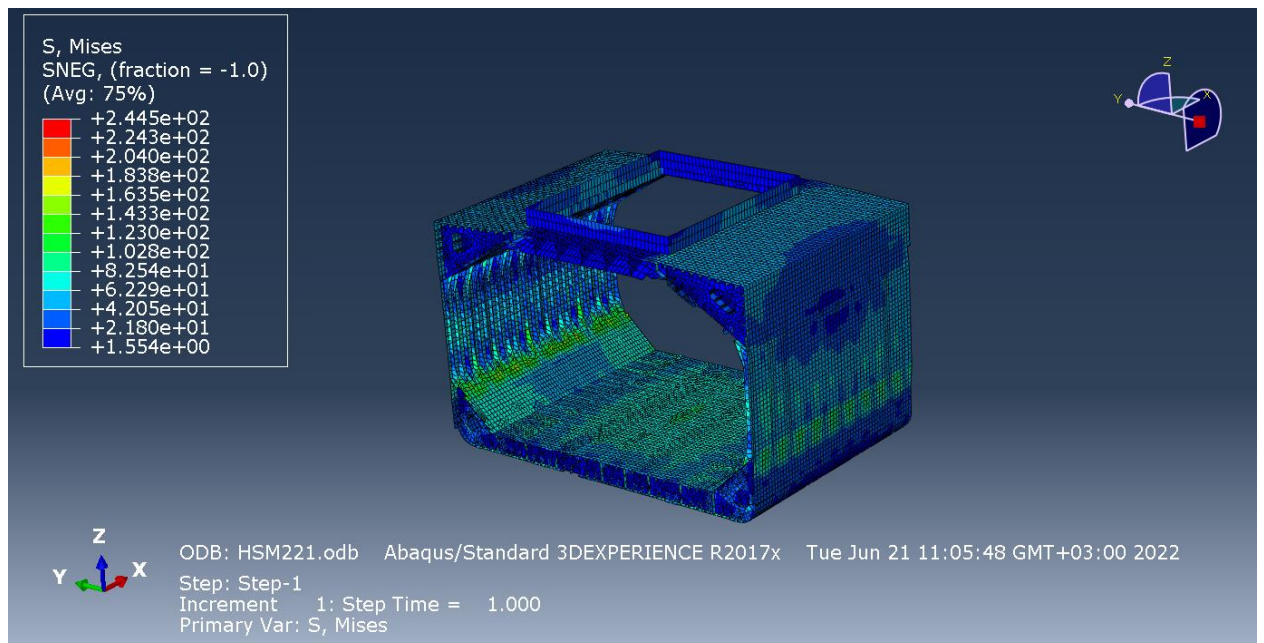


Εικόνα 62 Απόκριση Inner Bottom: Τάση S11, undeformed κατάσταση HSM1, αμπάρι No.5

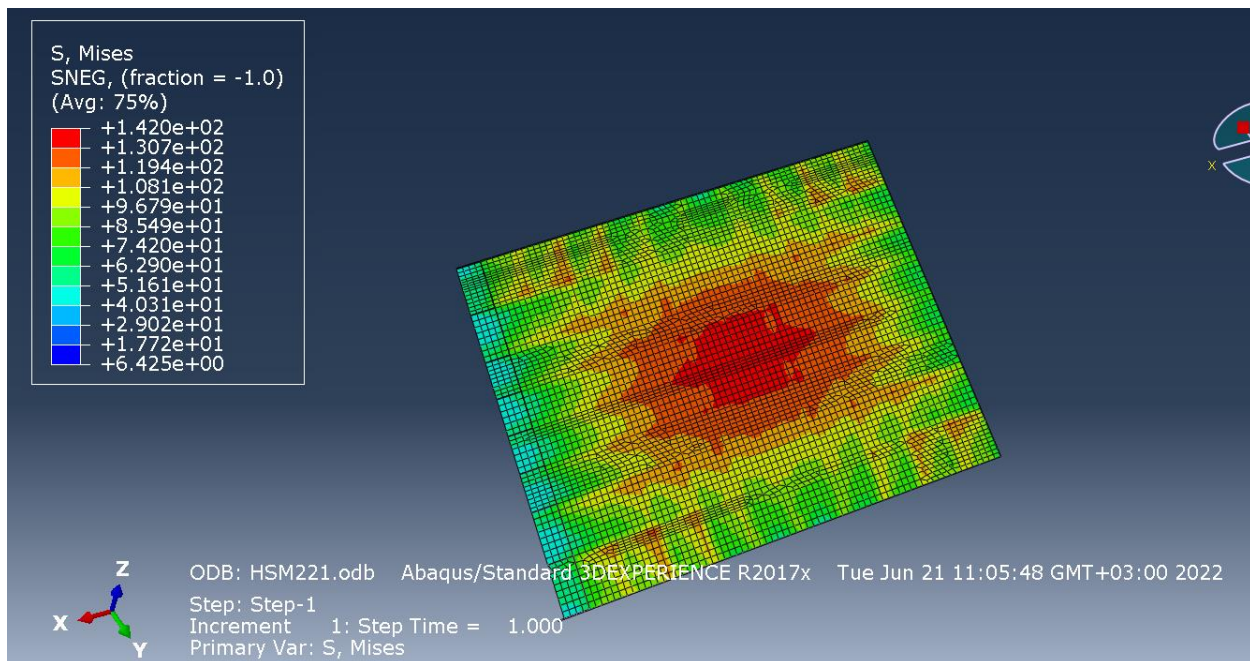
10.2 Αποτελέσματα του προγράμματος για την κατάσταση HSM-2



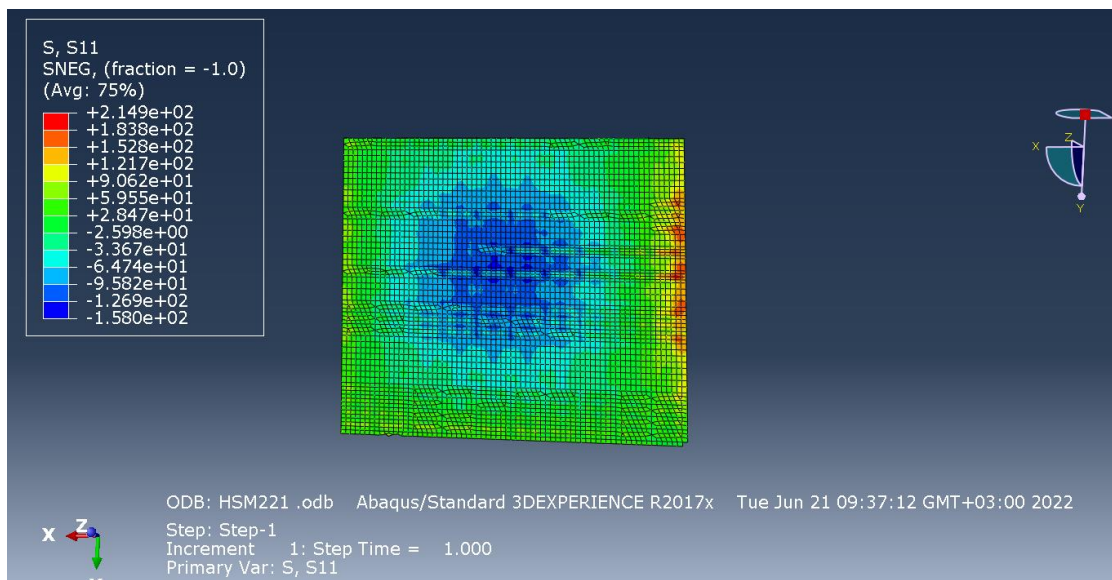
Εικόνα 63 Συνολική απόκριση μοντέλου: Τάση Mises, deformed, κατάσταση HSM2



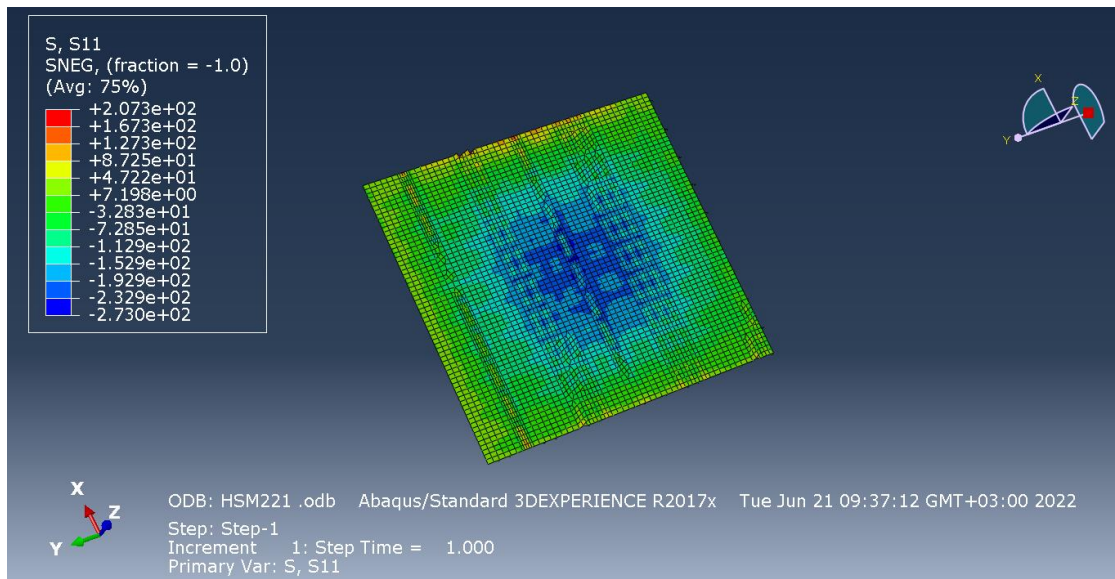
Εικόνα 64 Απόκριση Mid-Hold: τάση Mises, undeformed, κατάσταση HSM2



Εικόνα 65 Απόκριση Inner Bottom: Τάση Mises, undeformed κατάσταση HSM2, μεσαίο αμπάρι



Εικόνα 66 Απόκριση Inner Bottom: Τάση S11, undeformed κατάσταση HSM2, αμπάρι No.5



Εικόνα 67 Απόκριση Inner Bottom: Τάση S11, undeformed κατάσταση HSM2, αμπάρι No.3

Όπως φαίνεται από τον πίνακα στις εικόνες των αποτελεσμάτων, όπου παρουσιάζεται ολόκληρο το μοντέλο, η μέγιστη τιμή της τάσης ξεπερνάει το όριο διαρροής του χάλυβα. Αυτό συμβαίνει μεμονωμένα σε σημεία, μακριά από τα σημεία μελέτης, όπου είναι δύσκολο να επιτευχθεί καλύτερη διακριτοποίηση. Επιπλέον επειδή τα γειτονικά σημεία παρουσιάζουν ομαλή συμπεριφορά και επειδή δεν διερευνάται περισσότερο το φαινόμενο αυτό.

10.3 Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων

Σύμφωνα με το orientation που έχουν αποκτήσει τα ελάσματα κατά την δημιουργία του μοντέλου όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, πρέπει να επιλεχθεί η κατάλληλη τάση. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, η τάση αυτή είναι η longitudinal, παράλληλη στον άξονα X και αποδίδεται από το πρόγραμμα ως S11. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων επιλέγεται η τάση στο κέντρο των δυο elements(αριθμός που προέκυψε από το meshing) της φλάτζας και για να ληφθεί η τιμή γίνεται interpolation. Επιπλέον τα read out points είναι μετατοπισμένα από την ραφή της συγκόλλησης κατά το πάχος της συγκόλλησης και το μισό πάχος του ελάσματος[Part 1,Ch.9 Sec5, 4.2.1]. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους δύο παρακάτω πίνακες. Προκειμένου να παραχθεί το εύρος τάσης από την μέθοδο με τα πεπερασμένα στοιχεία, αφαιρούνται οι τιμές που προκύπτουν σε κάθε σημείο από τις καταστάσεις HSM-1 και HSM-2[Part 1, Ch9, Sec3, 3.1.3]. Στους πίνακες περιέχονται οι συντεταγμένες των σημείων που ελέγχθηκαν καθώς επίσης και το εύρος τάσης που προκύπτει από κάθε μέθοδο. Όσο αφορά τον υπολογισμό των ετών της ζωής των δομικών στοιχείων του πλοίου, με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, καθώς δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το εύρος τάσης χρειάζεται περεταίρω μελέτη για τον ακριβή υπολογισμό. Ωστόσο αναμένεται τα αποτελέσματα να είναι ανάλογα της απλοποιημένης μεθόδου, καθώς για μικρές τιμές στο εύρος τάσης αναμένεται γραμμικότητα στα αποτελέσματα των ετών ζωής των δομικών στοιχείων.

Hold 3							
Σημείο	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Δσ [N/ mm ²] F.E.A.	Δσ [N/ mm ²] S.S.A.	Ποσοστιαία Διαφορά	
1	139610	2520	0	188,4	196,6	4,3 %	
2	139610	8400	1850	168,8	184,7	9%	
3	139610	16130	1900	145,7	159,5	9%	
4	139610	16130	18600	157,1	163,8	4,2%	
5	139610	10955	17896	175,0	181,7	3,8%	

Πίνακας 16 Αποτελέσματα για το αμπάρι No.3

Hold 5							
Σημείο	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Δσ [N/ mm ²] F.E.A.	Δσ [N/ mm ²] S.S.A.	Ποσοστιαία Διαφορά	
1	105890	2520	0	184,9	188,7	2,1%	
2	105890	8400	1850	169,7	175,2	3,2%	
3	105890	16130	1900	153,4	157,3	2,5%	
4	105890	16130	18600	155,6	161,1	3,5%	
5	105890	10955	17896	171,3	179,4	4,6%	

Πίνακας 17 Αποτελέσματα για το αμπάρι No.5

Σύγκριση Αποτελεσμάτων και Μεθόδων

Από την σύγκριση των δύο μεθόδων αντλούνται τα παρακάτω συμπεράσματα.

Σημείωση Για τα αποτελέσματα αναφέρεται πως δεν αντιπροσωπεύουν μία πραγματική κατάσταση καθώς όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, εξετάζεται μόνο η δυναμική κατάσταση HSM. Επομένως το εύρος τάσης και η διάρκεια ζωής των δομικών στοιχείων είναι ενδεικτικός για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

- ❖ Οι διαφορές των δύο μεθόδων είναι αποδεκτές καθώς σε κανένα από τα δέκα εξεταζόμενα σημεία δεν παρουσιάστηκε διαφορά μεγαλύτερη του 10%.
- ❖ Η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των μεθόδων αναμένεται να μεταβληθεί καθώς μελετώνται συνδυαστικά περισσότερες περιπτώσεις φόρτισης (Load Cases).
- ❖ Η Simplified Stress Analysis δίνει μεγαλύτερες τιμές εύρους τάσης από αυτές που λαμβάνονται από την μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων.
- ❖ Με την Simplified Method λαμβάνεται υπόψη η φορά και το είδος της τάσης που μελετάται, ωστόσο γίνεται η παραδοχή ότι στο εύρος τάσης υπολογίζεται κυρίως από τη διαμήκη τάση.
- ❖ Με Simplified Method υπολογίζεται κατευθείαν το εύρος τάσης σύμφωνα με τους τύπους και τους συντελεστές των κανονισμών ενώ με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, υπολογίζονται οι δύο ακραίες τιμές των τάσεων για τις καταστάσεις Sagging και Hogging και έπειτα εξάγονται τα αποτελέσματα.
- ❖ Με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων οι τιμές που λαμβάνονται είναι πιο λεπτομερείς καθώς μπορούν να αναλυθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια σε διαμήκης, εγκάρσιες και διατμητικές και να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες τάσεις για τον υπολογισμό του εύρους τάσης. Υπενθυμίζεται πως στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι επιθυμητές τάσεις είναι οι διάμηκες αξονικές τάσεις, δηλαδή αυτές που βρίσκονται στον άξονα Χ.
- ❖ Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι πρέπει να εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι κανονισμοί C.S.R. δεν καλύπτουν την εξεταζόμενη περίπτωση (π.χ. πρωτότυπη σχεδίαση / νέος τύπος (γεωμετρία ενισχυτικού), καθώς με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μπορούν να εξεταστούν συγκεκριμένες περιπτώσεις.
- ❖ Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί πολύ χρόνο, με αποτέλεσμα ο συνεχής έλεγχος των βημάτων της διαδικασίας να είναι απαραίτητος.
- ❖ Για τον τελικό υπολογισμό του υπολογισμού ζωής, σε κάθε μέθοδο χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συντελεστές για να πολλαπλασιαστούν με τα υπολογισμένα εύρη τάσεων.
- ❖ Για την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων στον υπολογισμό της ζωής και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητες ορισμένες λεπτομέρειες (π.χ. πάχος συγκόλλησης).
- ❖ Στο υπολογιστικό πρόγραμμα όπου πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί της επίλυσης των εξισώσεων για τα πεπερασμένα στοιχεία, είναι αρκετά δύσκολο να αποτυπωθεί ακριβώς η γεωμετρία των τριών αμπαριών. Στοιχεία όπως ανθρωποθυρίδες, ορισμένα ενισχυτικά (όπως για παράδειγμα στο εσωτερικό των Bulkheads), συνήθως αποφεύγονται με αποτέλεσμα να υπάρξει ένα μικρό περιθώριο διόρθωσης των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 11 - Συμπεράσματα

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων σημείων της ανάλυσης. Προκειμένου να εξεταστεί ως προς την κόπωση ένα πλοίο Bulk Carrier εφαρμόζονται δύο διαφορετικές μεθοδολογίες. Η μελέτη αφορά την dynamic load case HSM όπου το πλοίο συναντά τους κυματισμούς μετωπικά. Η περίπτωση αυτή επιλέχθηκε καθώς κυρίως στην κατάσταση αυτή προσπαθούν πλέον τα πλοία για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ανατροπής.

Αρχικά υπολογίζεται το εύρος τάσης με την μέθοδο « Simplified Stress Analysis» σε συγκεκριμένα σημεία σε δυο διατομές του πλοίου. Με την μέθοδο αυτή ελέγχονται δύο διαφορετικές καταστάσεις φόρτωσης. Η Full Load Alternate και η Normal Ballast. Ο υπολογισμός του εύρους τάσεις πραγματοποιείται με την χρήση συντελεστών και τύπων από τους διεθνείς κανονισμούς I.A.C.S. (2017, January 01). "Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers".

Έπειτα πάλι ακολουθώντας τους ίδιους κανονισμούς, με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, υπολογίζεται εκ νέου το εύρος τάσης για την κατάσταση Full Load Alternate προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Για τη μέθοδο αυτή, είναι απαραίτητο να γίνει σχηματική αναπαράσταση των τριών αμπαριών στο μέσο του πλοίου. Δηλαδή στα αμπάρια 3, 4 και 5. Το πλοίο στο οποίο γίνεται η μελέτη είναι ένα Bulk Carrier με μεταφορική ικανότητα 82000 DWT. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το μοντέλο να αναπαρασταθεί όσο το δυνατόν καλύτερα, ενώ ταυτόχρονα να παραληφθούν ορισμένα μικρά δομικά στοιχεία, όπου μπορεί στη συνέχεια να οδηγήσουν σε δυσκολίες. Στην αναπαράσταση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές διαστάσεις ως προς το πάχος και για τις δυο μελέτες.

Τα φορτία που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο υπολογίζονται αναλυτικά σύμφωνα με τους κανονισμούς I.A.C.S. (2017). Πρόκειται για φορτία που προκαλούνται από την θάλασσα, από το μεταφερόμενο φορτίο και από το ίδιο το βάρος της κατασκευής. Οι πιέσεις από το φορτίο και από την θάλασσα αναλύονται σε δυναμικές και στατικές.

Επιπλέον κατανομές των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών που παράγονται από τα παραπάνω φορτία, πρέπει να διορθωθούν, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές, σύμφωνα με τους κανονισμούς, τιμές target values. Για την διατμητική δύναμη ελέγχεται η τιμή της στην πρυμναία φρακτή του μεσαίου και για να επιτευχθεί η επιθυμητή δύναμη εφαρμόζονται δύο ίσες ροπές στα άκρα του μοντέλου. Για την επίτευξη της target value για την καμπτική ροπή, ελέγχεται η μέγιστη τιμή κατά μήκος του μεσαίου κύτους και για να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή εφαρμόζεται ένα ζεύγος ροπών, πάλι στα άκρα τη μοντέλου. Το ζεύγος αυτό δεν μεταβάλλει την κατανομή των διατμητικών δυνάμεων. Για τα αποτελέσματα του εύρους τάσης σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος, γίνεται πρόσθεση των τιμών από τις δύο καταστάσεις HSM-1 και HSM-2.

Έχοντας τις τιμές από το εύρος τάσης και από τις δύο μεθόδους μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα. Σημειώνεται πως τα σημεία που ελέγχθηκαν επιλέχθηκαν με σκοπό να σχηματιστεί εικόνα για το πως μεταβάλλεται το εύρος τάσης σύμφωνα με την εγκάρσια ή διαμήκη θέση του σημείου, την απόσταση του από τον ουδέτερο άξονα, το πάχος του ελάσματος, τις διαστάσεις των ενισχυτικών και τις πιέσεις που δέχεται αναλόγως αν βρίσκεται σε δεξαμενή έρματος ή φορτίου. Για τις διαφορές στα αποτελέσματα των δύο

μεθόδων προκύπτει ότι τα αποτελέσματα δεν έχουν κάποια σημαντική απόκλιση καθώς η μεγαλύτερη διαφορά είναι μικρότερη της τάξης του 10%. Ωστόσο οι τιμές που προκύπτουν από την μέθοδο Simplified Stress Analysis υπερεκτιμούν το εύρος τάσης καθώς, αφού δεν είναι δυνατόν παρέχουν μεγάλη ακρίβεια, αφήνουν έναν άτυπο συντελεστή ασφαλείας. Η μελέτη με πεπερασμένα στοιχεία παρέχει τη δυνατότητα μεγαλύτερης ακρίβειας στους υπολογισμούς ωστόσο είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία για κάποιον ο οποίος δεν έχει εμπειρία με το λογισμικό πρόγραμμα. Ο υπολογισμός της ζωής των δομικών στοιχείων ελέγχεται ακολουθώντας την μεθοδολογία των κανονισμών, όπως αναγράφεται στο κεφάλαιο 6. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, αναμένεται, εφόσον η διαφορά στους υπολογισμούς να είναι η τελική τιμή του εύρους τάσης που προκύπτει από κάθε μέθοδο, αφού πολλαπλασιάζεται με διαφορετικούς συντελεστές, τα αποτελέσματα της ζωής για την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων να έχουν γραμμική συνάφεια με αυτά της απλοποιημένης μεθόδου.

11.1 Προτεινόμενη διπλωματική εργασία

Μία διπλωματική εργασία που θα μπορούσε να διεξαχθεί στο μέλλον είναι, πέρα από την μελέτη της δυναμικής κατάστασης HSM, η μελέτη κόπωσης και των υπόλοιπων δυναμικών καταστάσεων προκειμένου η μελέτη έναντι κόπωσης να είναι πλήρης. Ακόμα μία μελέτη που μπορεί να διεξαχθεί είναι η μελέτη κόπωσης σε μετωπικούς κυματισμούς όπου τα φορτία θα μεταβάλλονται σε πραγματικό χρόνο και το πλοίο θα μεταβαίνει από την κατάσταση Sagging στην κατάσταση Hogging με μία χρονικά μεταβαλλόμενη εξίσωση. Σημειώνεται πως μια τέτοια μελέτη θα απαιτεί άδεια από κατάλληλο λογισμικό και εξοπλισμό ικανό να επεξεργαστεί τα δεδομένα και τα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

- [1] I.A.C.S. (2017, January 01). "Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers".
- [2] I.A.C.S. (2016, December 01). CSR Technical Background Documents.
- [3] Καρύδης, Π. (2000). Η Μεταλλική Κατασκευή του Πλοίου. Αθήνα.
- [4] Abaqus : Getting Started with Abaqus Version 6.8, SIMULIA.
- [5] I.A.C.S. (2015, January). "Classification societies - Their key role". London: I.A.C.S.
- [6] General Arrangement Plan.
- [7] Trim and Stability Booklet.
- [8] Review of Fatigue Assessment Methods for Welded Steel Structures.
- [9] Lectures in Fracture Mechanics Fractures/Failures of Materials
- [10] IMO.org

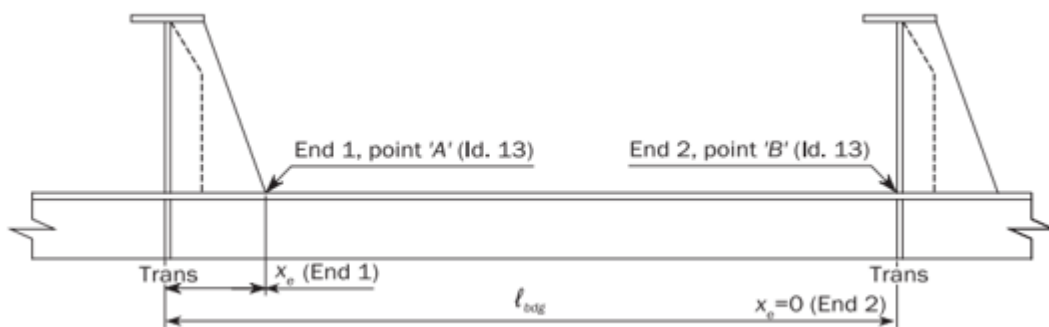
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Στις επόμενες σελίδες ακολουθεί ο αναλυτικός υπολογισμός του εύρους τάσης ενός σημείου. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα βρίσκονται στο Κεφάλαιο 5, Παράγραφος 5.2.

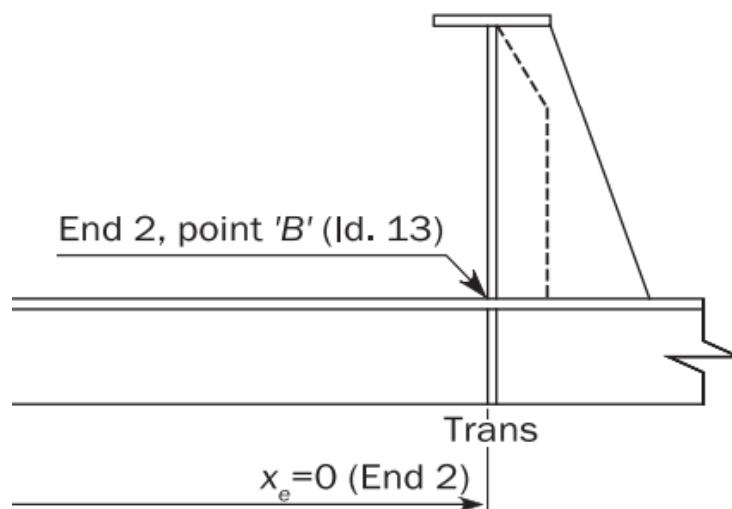
Για το υπό μελέτη πλοίου σύμφωνα με το σχέδιο μέσης τομής για τον πυθμένα η εγκάρσια ενίσχυση παρατηρείται κάθε 4,35 [m] στο κατάστρωμα και κάθε 2,61 [m] στον πυθμένα και στα ελάσματα των κυτών. Ακόμα η απόσταση μεταξύ των ενισχυτικών S είναι 0,84 [m]. Επομένως το S και l_{bdg} που είναι το δρών μήκος μεταξύ εγκαρσίων ενισχυτικών, λαμβάνουν τις τιμές :

$$l_{bdg} = 2.61 [m]$$

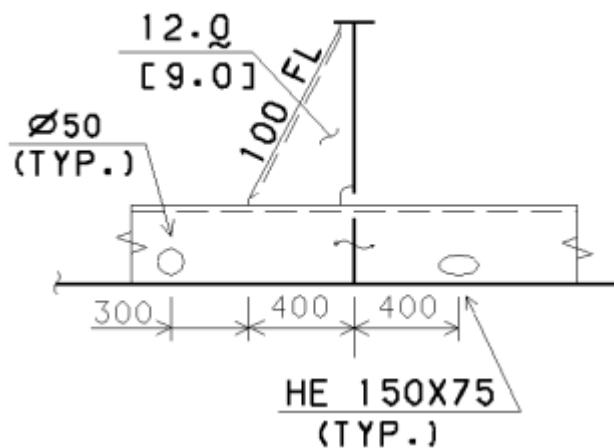
$$S = 840 [mm]$$



Το συγκεκριμένο σημείο χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τους κανονισμούς I.A.C.S. ως σημείο τύπου Β «Point B».



Επιπλέον σύμφωνα με το σχέδιο μέσης τομής του πλοίου, για το σημείο αυτό, η σύνδεση μεταξύ εγκάρσιου ενισχυτικού ελάσματος και φλάντζας έχει την παρακάτω μορφή :



Εικόνα 68 Πληροφορία από το σχέδιο μέσης τομής του πλοίου

Επομένως η τιμή του X_e όπου είναι η απόσταση του υπό εξέταση σημείου από την πιο κοντινή άκρη του διαστήματος l_{bdg} , λαμβάνεται ως

$$X_e = 0.4 \text{ [m]}$$

Παρακάτω βρίσκονται οι διαστάσεις των ενισχυτικών στην εξεταζόμενη περιοχή :

Διαστάσεις ενισχυτικού "Γ" [mm]			
Κορμός		Πέλμα	
Μήκος	Πάχος	Μήκος	Πάχος
300	11	140	18

Υπολογισμός Εύρους Τάσης.

Το εύρος τάσης οφείλεται σε δυναμικά φορτία τα οποία εξαρτώνται, από την περίπτωση καταπόνησης καθώς επίσης και από την από την κατάσταση φόρτωσης στην οποία βρίσκεται το πλοίο. Οι μονάδες μέτρησης είναι σε $[\frac{N}{mm^2}]$.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζονται οι περιπτώσεις καταπόνησης (i)

- HSM-1
- HSM-2

καθώς και οι εξής καταστάσεις φόρτωσης (j)

- Full Load Alternate και
- Normal Ballast

$$\Delta\sigma_{HS i (j)} = | \sigma_{GD, i1 (j)} + \sigma_{LD i1, (j)} + \sigma_{dD, i1(j)} - \sigma_{GD, i2 (j)} - \sigma_{LD,i2 (j)} - \sigma_{dD,i2(j)} |$$

- σ_{GD} Τάση που οφείλεται στην κάμψη του πλοίου λόγω κυματισμών $[\frac{N}{mm^2}]$.
- σ_{LD} : Τάση που οφείλεται στην τοπική δυναμική πίεση $[\frac{N}{mm^2}]$.
- σ_{dD} : Τάση που οφείλεται στην σχετική μετατόπιση των στοιχείων της διατομής $[\frac{N}{mm^2}]$.

Υπολογισμός τάσης που οφείλεται στην κάμψη του πλοίου λόγω κυματισμών
(Πρωτεύουσες Τάσεις)

$$\sigma_{GD,ik(j)} = f_c * K_a * \left(\frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} * (Z - Z_n) * f_{NA} - \frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} * y \right) * 10^{-3}, \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

M_{wv-LC} , [kN * m]: Κατακόρυφη ροπή κάμψης λόγω κυματισμών στην οποία λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση κατά την οποία το πλοίο συναντάει τα κύματα με την χρήση του συντελεστή c_{wv} .

$$M_{wv-LC} = f_\beta * c_{wv} * M_{wv-h} \quad c_{wv} \geq 0$$

$$M_{wv-LC} = f_\beta * c_{wv} * |M_{wv-s}| \quad c_{wv} < 0$$

$c_{wv} = -1$, για HSM -1

$c_{wv} = 1$, για HSM -2

$$M_{wv-h} = 0.19 * f_{nl-vh} * f_m * C_w * L^2 * B * c_B$$

$$M_{wv-s} = -0.19 * f_{nl-vh} * f_m * C_w * L^2 * B * c_B$$

M_{wh-LC} , [kN*m]: Οριζόντια ροπή κάμψης λόγω κυματισμών στην οποία λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση κατά την οποία το πλοίο συναντάει τα κύματα με την χρήση του συντελεστή c_{WH} .

$$M_{wh-LC} = f_\beta * c_{WH} * M_{wh}$$

$c_{WH} = 0$, για HSM -1

$c_{WH} = 0$, για HSM -2

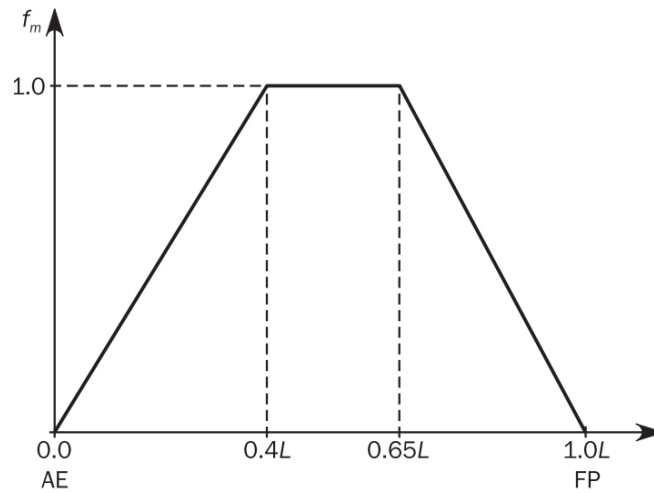
$$M_{wh} = f_{nlh} * f_p * f_m * C_w * L^2 * T_{LC} * c_B * \left(0.31 + \frac{L}{2800} \right)$$

C_w : Συντελεστής κυματισμού εξαρτώμενος από το μήκος του πλοίου.

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{1.5} \quad \text{για } 90 \leq L \leq 300$$

$$C_w = 10.06$$

$f_m = 0.776$, συντελεστής κατανομής κατακόρυφης ροπής κάμψης κατά το διάμηκες του πλοίου.



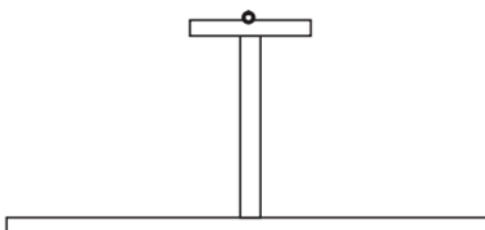
- $f_{nl-vh} = 1$, συντελεστής που σχετίζεται με μη γραμμική επίδραση (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως).
- $f_\beta = 1$, παράγοντας διόρθωσης πορείας (Για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως).
- $K_a = 1.52$, γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσης, για αξονικές φορτίσεις, εξαρτώμενος από τον τύπο της σύνδεσης ενισχυτικού – ελάσματος
- $f_c = 0.95$, διορθωτικός συντελεστής
- $I_y-n50 = 376.05 \text{ [m}^4\text{]}$ ροπή αδράνειας ως προς τον οριζόντιο ουδέτερο άξονα.
- $Z_n = 10.59 \text{ [m]}$, απόσταση ουδέτερου άξονα από τον πυθμένα / βασική γραμμή.

Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast - Departure	
$\sigma_{GD, HSM-1}$ [Mpa]	$\sigma_{GD, HSM-2}$ [Mpa]	$\sigma_{GD, HSM-1}$ [Mpa]	$\sigma_{GD, HSM-2}$ [Mpa]
81,01	-81,01	81,01	-81,01

Πίνακας 12 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα Πρωτευουσών Τάσεων

Τάση που οφείλεται στην τοπική δυναμική πίεση για ενισχυτικά που βρίσκονται σε οριζόντια ελάσματα (Δευτερεύουσες Τάσεις)

$$\sigma_{LD,ik(j)} = \frac{K_b * K_n * s * l_{bdg}^2 (\eta_w * f_{NL} * P_{w,ik(j)} + \eta_{bd} * P_{ld,ik(j)} + \eta_{ld} * P_{ld,ik(j)}) * \left(1 - \frac{6 * x_e}{l_{bdg}} + \frac{6 * x_e^2}{l_{bdg}^2}\right)}{12 * Z_{eff-n50}}$$



b_{eff} : Συνεργαζόμενο μήκος ελάσματος με το ενισχυτικό για την παραλαβή των τάσεων.

$$\bullet \quad b_{eff} = s * \min \left(\frac{1.04}{1 + \frac{\left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right)^{1.35}}{3}}, 1 \right) \quad \text{για } \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right) \geq 1$$

$$\bullet \quad b_{eff} = \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right) \quad \text{για } \left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right) < 1$$

Για $l_{bdg} = 2,61 [m]$ & $S = 840 [mm]$ προκύπτει ότι $\left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right) = 1.31$.

Επιπλέον, $\frac{1.04}{1 + \frac{\left(\frac{l_{bdg}}{s} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) * 10^3\right)^{1.35}}{3}} = 0,34$.

$$\text{Άρα } b_{eff} = s * \min(0.34, 1) = 0.34 * s$$

$$b_{eff} = 284 [mm]$$

$Z_{eff-n50} [cm^3]$: Ροπή αντίστασης συνεργαζόμενου ελάσματος και ενισχυτικού λαμβάνοντας υπόψη το b_{eff} .

Εμβαδόν : 109.3 [cm^2]

Ύψος ουδέτερου άξονα : 13.03 [cm]

Ροπή αδράνειας : 21588.3 [cm^4]

Επομένως η μέγιστη ροπή αντίστασης λαμβάνεται ως $Z_{eff-n50} = 1049.56 [cm^3]$

$K_b = 1.67$ γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης τάσης, για πλευρική πίεση, εξαρτώμενος από τον τύπο της σύνδεσης ενισχυτικού – ελάσματος.

$K_n = 1$, γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης για τάσης μη συμμετρικά ενισχυτικά.

$\eta_w, \eta_{bd}, \eta_{id}$: Συντελεστές πίεσης.

- $\eta = 1$ Όταν η πίεση ασκείται από την μεριά των ενισχυτικών
- $\eta = -1$ Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.
- $\eta = 0$ Όταν η πίεση που έχει υπολογιστεί δεν υφίσταται στον υπολογισμό. Για παράδειγμα όταν υπολογίζεται η πίεση λόγω υγρού φορτίου στην περιοχή του διπύθμενου (δεξαμενή έρματος)
 $\eta = 1$ σε κατάσταση Ballast, αφού υπάρχει έρμα στην εν λόγω περιοχή
 $\eta = 0$ σε έμφορτη κατάσταση, αφού δεν υπάρχει έρμα στην εν λόγω περιοχή.

$P_{w,ik(j)}$: Δυναμική πίεση λόγω κυματισμού, $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$.

Κατάσταση Φόρτισης	$z \leq T_{LC}$
HSM -1	$P_w = \max(-P_{HS}, \rho * g * (z - T_{LC}))$
HSM -2	$P_w = \max(P_{HS}, \rho * g * (z - T_{LC}))$

$$P_{HS} = f_p * f_h * k_a * k_p * f_{yz} * C_w * \sqrt{\frac{L_0 + \lambda + 125}{L}}$$

- $f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ βυθίσματος σχεδίασης και βυθίσματος στο μέσο του πλοίου σε συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 0,5
 Επομένως :
 $f_T = 1,001$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $f_T = 0.5$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- f_h : Συντελεστής που λαμβάνεται ως $f_h = 2,75 * (1,21 - 0,66 * f_T)$.
 $f_h = 1,001$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $f_h = 0.5$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- f_{fa} : Συντελεστής κόπωσης που λαμβάνεται ως $f_{fa} = 0.9$
- f_p : Συντελεστής που λαμβάνεται ως
 $f_p = f_{fa} * [(0.21 + 0.02 * f_T) + (6 - 4 * f_T) * L * 10^{-5}]$
 $f_p = 0.1954$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $f_p = 0.2012$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- $f_{yB} = \frac{|2 * y|}{B_x} = 0.077$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ εγκάρσιας συντεταγμένης του υπό μελέτη σημείου και του χυτού πλάτους B_x του πλοίου.

- k_a : Συντελεστής πλάτους στη διαμήκη διεύθυνση του πλοίου

k_a : Amplitude coefficient in the longitudinal direction of the ship, to be taken as:

$$k_a = (0.5 + f_T) \left\{ (3 - 2\sqrt{f_{yB}}) - \frac{20}{9} f_{xL} (7 - 6\sqrt{f_{yB}}) \right\} + \frac{2}{3} (1 - f_T) \quad \text{for } f_{xL} < 0.15$$

$$k_a = 1.0 \quad \text{for } 0.15 \leq f_{xL} < 0.7$$

$$k_a = 1 + (f_{xL} - 0.7) \left\{ \left(\frac{40}{3} f_T - 5 \right) + 2(1 - f_{yB}) \left[\frac{18}{C_B} f_T (f_{xL} - 0.7) - 0.25(2 - f_T) \right] \right\} \quad \text{for } f_{xL} \geq 0.7$$

Όπου

$f_{xL} = \frac{x}{L} = 0,7282$, Συντελεστής αναλογίας μεταξύ διαμήκους συντεταγμένης του υπό μελέτη σημείου και του μήκους του πλοίου L.

Επομένως $k_a = 2,57$

- λ [m] : Μήκος κύματος, $\lambda = 0.6 * (1 + f_T) * L$
 $\lambda = 444,78$ [m] για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $\lambda = 33.6$ [m] για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- $L_0 = 229$ [m].
- $f_{yz} = \frac{z}{T_{LC}} + f_{yB} + 1$, Συντελεστής κατανομής περιμέτρου.
 $f_{yz} = 1,078$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $f_{yz} = 1.080$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- k_p : Συντελεστής φάσης, οι τιμές δίνονται από τον παρακάτω πίνακα και οι ενδιάμεσες τιμές υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή.

f_{xL}	k_p
0	$(1-f_T) + (0.5-f_T) f_{yB}$
0,3-0,1*f _T	-1
0,5-0,2*f _T	1
0,9-0,4*f _T	1
0,9-0,2*f _T	-1
1	-1

Επομένως

$k_p = -1$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $k_p = 0.44$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.

Άρα συγκεντρωτικά έχουμε :

	Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast - Departure	
	HSM -1	HSM -2	HSM -1	HSM -2
$P_{HS} [kN/m^2]$	-1,53		8,13	
$P_w [kN/m^2]$	15,53	-15,53	-14,13	14,13

$P_{ld,ik(j)}$: Δυναμική πίεση για δεξαμενές ρευστών, $[kN \frac{kN}{m^2}]$.

$$P_{ld} = f_{\beta} * f_{cd} * \rho_L [\alpha_z * (z_0 - z) + f_{ull-I} * \alpha_x * (x_0 - x) + f_{ull-t} * \alpha_y * (y_0 - y)]$$

- $l_{fs} = 26.97$ [m] Μήκος δεξαμενής φορτίου.
- $b_{top} = 32.36$ [m] Πλάτος δεξαμενής φορτίου.
- f_{fa} : Συντελεστής κόπωσης που λαμβάνεται ως $f_{fa} = 0.9$

- f_p γωνίας ϕ : Συντελεστής που λαμβάνεται για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως

$$f_p \text{ γωνίας } \phi = f_{fa} * [(0.27 + 0.02 * f_T) + (13 - 5 * f_T) * L * 10^{-5}]$$

$$f_p \text{ γωνίας } \phi = 0.21 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$f_p \text{ γωνίας } \phi = 0.23 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

- f_p γωνίας θ : Συντελεστής που λαμβάνεται για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως

$$f_p \text{ γωνίας } \theta = f_{fa} * [0.23 - 4 * f_T * B * 10^{-4}]$$

$$f_p \text{ γωνίας } \theta = 0,19 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$f_p \text{ γωνίας } \theta = 0,21 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

- $f_{BK} = 1.0$ Για πλοία με κοίλη γάστρα

- Γωνία Διαμήκου κλίσης.

$$\phi = 1350 * f_p * L^{-0.94} * \left\{ 1 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{g * L}} \right)^{1.2} \right\}$$

$$\phi = 1.69 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$\phi = 1.74 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

- Γωνία Εγκάρσιας Κλίσης

$$\theta = \frac{9000 * (1,25 - 0,025 * T) * f_p * f_{BK}}{(B + 75) * \pi}$$

$$\theta = 4.62 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$\theta = 8.60 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

- f_{ull-I} Συντελεστής διόρθωσης διαμήκου επιτάχυνσης έναντι κόπωσης, λαμβάνεται :

$$f_{ull-I} = 0,5 + \frac{|z_0 - z|}{l_{fs}} * \frac{180}{\varphi * \pi}$$

$$f_{ull-I} = 0.539 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$f_{ull-I} = 0.538 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

- f_{ull-T} Συντελεστής διόρθωσης εγκάρσιας επιτάχυνσης έναντι κόπωσης, λαμβάνεται :

$$f_{ull-T} = 0,5 + \frac{|z_0 - z|}{b_{top}} * \frac{180}{\theta * \pi}$$

$f_{ull-T} = 0.512$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.

$f_{ull-T} = 0.5306$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.

	HSM-1	HSM-2
C_{XG}	$0.4 * f_T + 0.4$	$-0.4 * f_T + 0.4$
C_{XS}	$-0.2 * f_T + 0.3$	$0.2 * f_T - 0.3$
C_{XP}	-0.9	0.9
C_{YG}	0	0
C_{YS}	0	0
C_{YR}	0	0
C_{ZH}	$0.8 * f_T - 0.15$	$-0.8 * f_T + 0.15$
C_{ZR}	0	0
C_{ZP}	-0.9	0.9
a_{surge}	$-0.2 * f_T + 0.3$	$0.2 * f_T - 0.3$
a_{sway}	0	0
a_{heave}	$0.8 * f_T - 0.15$	$-0.8 * f_T + 0.15$

- $a_{PITCH} = f_p * \left(\frac{3.1}{\sqrt{g * L}} + 1 \right) * \varphi * \frac{\pi}{180} \left(\frac{2 * \pi}{T_\varphi} \right)^2$

$a_{PITCH} = 0,0085$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.

$a_{PITCH} = 0,0125$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST

φ , φωνία διαμήκουσ κλήσης για $F_p = 1$

$$f_{p_a_pitch} = f_{fa} * [0.28 - (5 * f_T * 6) * L * 10^{-5}].$$

$f_{p_a_pitch} = 0,23$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.

$f_{p_a_pitch} = 0,25$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.

$$\lambda_\phi = 0,6 * (1 + f_T) * L$$

$\lambda_\phi = 266,5$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.

$\lambda_\phi = 199,8$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST

$$T_\varphi = \sqrt{\frac{2 * \pi * \lambda_\phi}{g}}$$

$T_\varphi = 13,06$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.

$T_\varphi = 11,31$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST

- $a_{heave} = f_p * g * a_0$

$$f_p = f_{fa} * [(0.27 + 0.02 * f_T) - 17 * L * 10^{-5}]$$

$$f_{p_aheave} = 0,227 \quad \text{για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.}$$

$$f_{p_aheave} = 0,252 \quad \text{για την κατάσταση NORMAL BALLAST.}$$

a_0 : Παράμετρος επιτάχυνσης.

$$a_0 = (1,58 - 0,47 * C_B) * \left(\frac{2,4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} + \frac{600}{L^2} \right) = 0,351$$

- R : Κατακόρυφη συντεταγμένη του κέντρου περιστροφής του πλοίου
 $R = \min \left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2} \right)$
 $R = 10.1$ [m] για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $R = 8.29$ [m] για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- a_x, a_y, a_z επιταχύνσεις στο κέντρο όγκου του κύτους όπου βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο.
- $a_x = -C_{XG} * g * \sin\varphi * + C_{XS} * a_{surge} + C_{XP} * a_{pitch} * (z - R)$
 $a_x = -5.38$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $a_x = -3.91$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- $a_y = C_{YG} * g * \sin\theta * + C_{YS} * a_{sway} + C_{YR} * a_{roll} * (z - R)$
 $a_y = 0$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $a_y = 0$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST
- $a_z = C_{ZH} * a_{heave} + C_{ZR} * a_{roll} * y - C_{ZP} * a_{pitch} * (x - 0.45 * L)$
 $a_z = 0.25$ για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE.
 $a_z = 0.43$ για την κατάσταση NORMAL BALLAST.
- $f_{cd} = 1$, Συντελεστής για κοινή πιθανότητα εμφάνισης πυκνότητας υγρού φορτίου και μέγιστης θαλάσσιας κατάστασης για διάρκεια σχεδιασμού 25 ετών.
- $\rho_L = 1,025$ t/m³ Πυκνότητα υγρού στη δεξαμενή έρματος.

	Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast - Departure	
	HSM -1	HSM -2	HSM -1	HSM -2
Pld [kN/m ²]	0	0	-9,43	9,43

Για την κατάσταση full load alternate ισούται με μηδέν καθώς δεν υπάρχει έρμα στη δεξαμενή.

$P_{bd,ik(j)}$: Δυναμική πίεση για ξυρό φορτίο χύδην $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$.

$$P_{bd} = f_{dc} * \rho_L [0.25 * \alpha_x * (x_G - x) + 0.25 * \alpha_y * (y_G - y) + f_{dc} * K_c * \alpha_z * (z_c - z)]$$

- f_{dc} 0.5, συντελεστής ξηρού φορτίου (λαμβάνεται τιμή για αξιολόγηση έναντι κοπώσεως)
- x_G, y_G, z_G : Συντεταγμένες κέντρου όγκου για το κύτος στο οποίο βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο.
- $\rho_L = 1,025 t/m^3$ Πυκνότητα υγρού στη δεξαμενή έρματος.
- $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ επιταχύνσεις στο κέντρο όγκου του κύτους όπου βρίσκεται το εξεταζόμενο σημείο, ομοίως με την $P_{ld,ik(j)}$
- Ψ : Υποτηθέμενη γωνία απόκρισης $\Psi = 30^\circ$
- $a = 0^\circ$ γωνία μεταξύ μεταξύ του εξεταζόμενου πίνακα και του οριζόντιου επιπέδου.
- $K_c = (\cos a)^2 + (1 - \sin \Psi) * (\sin a)^2 = 2$

	Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast - Departure	
	HSM -1	HSM -2	HSM -1	HSM -2
Pbd [kN/m ²]	-16,5	16,5	0	0

Για την κατάσταση normal ballast, ισούται με μηδέν καθώς δεν υπάρχει φορτίο σε κατάσταση ερματισμού.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με τις δευτερεύουσες τάσεις που προκύπτουν από τα δυναμικά φορτία.

	Full load alternate - DEPARTURE		Normal Ballast - Departure	
	HSM -1	HSM -2	HSM -1	HSM -2
σ_{LD} [N/mm ²]	16,2	-16,2	05,83	-05,83

Ολοκληρώνοντας έχουμε για τις δύο καταστάσεις που μελετάμε τα εξής :

Για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE

$$\eta_w = -1$$

$$\eta_{bd} = 1$$

$$\eta_{ld} = 0$$

Ολοκληρώνοντας έχουμε για τις δύο καταστάσεις που μελετάμε τα εξής :

Για την κατάσταση FULL LOAD ALTERNATE

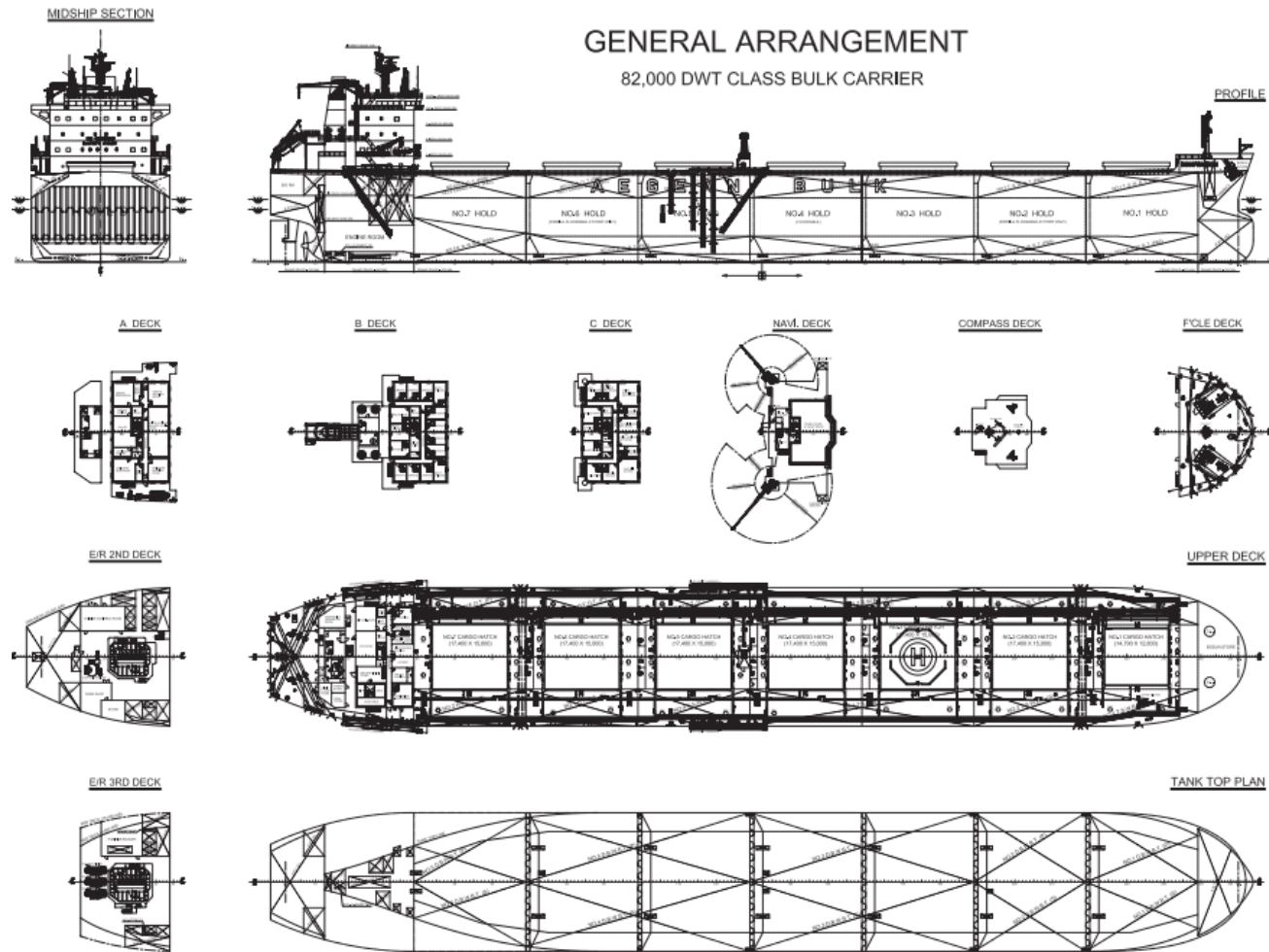
$$\eta_w = -1$$

$$\eta_{bd} = 0$$

$$\eta_{ld} = 1$$

ΠΑΡΤΗΡΗΜΑ Β - ΣΧΕΔΙΑ

GENERAL ARRANGEMENT PLAN



MIDSHIP SECTION