



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη αντοχής ενισχύσεων καταστώματος στην περιοχή εγκατάστασης συστημάτων πρόσδεσης και αγκυροβολίας»

ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Σοφράς Βασίλειος (Α.Μ.:51114093)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. Θεοδουλίδης Αλέξανδρος

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Alexandros
Theodoulidis** Digitally signed by Alexandros
Theodoulidis
Date: 2021.03.04 13:26:37 +02'00'

Θεοδουλίδης Αλέξανδρος, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

**GEORGIOS
LIVANOS**

Digitally signed by GEORGIOS
LIVANOS
Date: 2021.03.04 10:22:24 +02'00'

Λιβανός Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

**Konstantinos
Politis** Digitally signed by
Konstantinos Politis
Date: 2021.03.05 11:14:03
+02'00'

Πολίτης Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σοφράς Βασίλειος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 51114093 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών
Β. Σοφράς

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας ολοκληρώνεται σε πρώτη φάση ο πανεπιστημιακός μου κύκλος και θέλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν σε αυτό.

Αρχικά θέλω να επισημάνω την πολύτιμη βοήθεια του συμφοιτητή-συνάδελφου Ε. Μπακογιάννη για την επίτευξη αυτής της εργασίας αλλά και στη συνεισφορά του καθ' όλη της διάρκειας των κοινών μας σπουδών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον καθηγητή μου Δρ. Α. Θεοδουλίδη για την ανιδιοτελή προσφορά του, για τον σημαντικό χρόνο που μου αφιέρωσε και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας αλλά και των ακαδημαϊκών χρόνων.

Τέλος να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη τους όλα τα χρόνια της πορείας μου στο πανεπιστήμιο.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αντοχή των ενισχύσεων καταστρώματος υπάρχοντος πλοίου στην περιοχή εγκατάστασης συστημάτων πρόσδεσης και αγκυροβολίας. Συγκεκριμένα εξετάζεται αν η αντοχή των προαναφερθέντων κατασκευών πληροί τις προϋποθέσεις που απαιτούνται έτσι ώστε οι τάσεις που αναπτύσσονται να μην αποτελούν κίνδυνο για το πλοίο. Για την ανάλυση της κατασκευής και τον προσδιορισμό των τάσεων και παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων (ΜΠΣ). Η αξιοπιστία της συγκεκριμένης μεθόδου την χρήζει ως καταλληλότερη για την διεξαγωγή μίας τόσο σημαντικής μελέτης, η οποία αποτελεί βασικό προαπαιτούμενο για την ασφάλεια του πληρώματος και του περιβάλλοντος. Η εξασφάλιση ορθών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων είναι ίσως η πιο σημαντική πρόκληση που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε καθώς μία λανθασμένη εκτίμηση μπορεί να αποβεί μοιραία. Επιπροσθέτως, η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων συνίσταται για την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος δεδομένων, και σχεδιασμό κατασκευών με πολύπλοκη γεωμετρία, όπως αυτή που χαρακτηρίζει ένα πλοίο. Το πλοίο που παρουσιάζεται είναι μεταφοράς αργού πετρελαίου, τύπου “*Aframax*”. Η εταιρεία που το διαχειρίζεται πήρε την απόφαση να κάνει ορισμένες κατασκευαστικές μετατροπές έτσι ώστε το πλοίο να συμβιβάζεται με τους κανόνες ρυμούλκησης της Αρχής της Διώρυγας του Παναμά (*ACP*) για την εξασφάλιση ασφαλούς διέλευσης από την επέκταση του καναλιού. Μεγάλο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει τη σχεδίαση μέρους της γάστρας, του καταστρώματος καθώς και των ελασμάτων που πρέπει να μελετηθούν ως προς την αντοχή τους. Γι’ αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης (*Rhinoceros 3D*). Επόμενο βήμα είναι η ανάλυση της κατασκευής και ο προσδιορισμός των τάσεων υπό κάθε συνθήκη. Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε είναι το “*ANSYS*”. Ο όγκος και ο χρόνος εξαγωγής και διάθεσης των αποτελεσμάτων ήταν οι περιορισμοί που, περισσότερο από άλλους, δυσκόλεψαν την εκπόνηση της εργασίας καθώς οι δυνατότητες των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται δεν συμβάλλουν στην εύκολη λήψη αποφάσεων. Οι αναλύσεις που παρατίθενται, προσπαθούν να μιμηθούν της καταστάσεις ρυμούλκησης του πλοίου και οι δυνάμεις που ασκούνται αναπαριστούν τις πραγματικές δυνάμεις κατά τη διαδικασία αυτή. Στο

τελευταίο κομμάτι της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης και η σύγκριση με τους περιορισμούς. Η μελέτη των αποτελεσμάτων έγινε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο έγινε μελέτη της αντοχής της μεταλλικής κατασκευής χωρίς τα επιπλέον ενισχυτικά που απαιτεί η Αρχή της διώρυγας του Παναμά για την διέλευση από την επέκταση της διώρυγας. Παρ' όλα αυτά οι δυνάμεις που ασκήθηκαν στο μοντέλο προσομοιάζουν εκείνες που αναπτύσσονται στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου κατά την ρυμούλκηση του από την επέκταση της διώρυγας. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν πως μία τέτοια διαδικασία επιφέρει μεγάλους κινδύνους ως προς την κατασκευή, το πλήρωμα και το περιβάλλον καθώς οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται είναι πολύ μεγάλες. Η αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού έγινε με την προσθήκη των ενισχυτικών που απαιτούνται από τους κανονισμούς (βλέπε παράρτημα 1). Η αντοχή της τροποποιημένης αυτής κατασκευής, που αποτελεί και το δεύτερο στάδιο της μελέτης, έδειξε πως οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται είναι σαφώς μικρότερες και συμφωνούν πλέον με τους κανονισμούς.

Abstract

This thesis deals with the strength of the deck reinforcements of an existing ship in the area of installation of mooring and anchoring systems. In particular, it is examined whether the strength of the above structures meets the requirements needed so that the trends that develop do not pose a risk to the ship. The Finite Element Method was used to analyze the construction and determine the stresses and deformations. The reliability of this method makes it the most suitable for conducting such an important study, which is a basic prerequisite for the safety of the crew and the environment. Ensuring accurate and reliable results is perhaps the most important challenge we are faced with as a misjudgment can be fatal. In addition, the Finite Element Method is recommended for solving problems that require particularly large amounts of data, and for designing structures with complex geometry, such as that of a ship. The ship as presented is a crude oil carrier, type "Aframax". Its managing company decided to make some construction modifications so that the ship complies with the towing rules of the Panama Canal Authority (ACP) to ensure safe passage through the canal extension. Much of the work involves designing part of the hull, the deck as well as the plates to be studied for their strength. A 3D digital modeling program (Rhinoceros 3D) was used for this process. The next step, is to analyze the construction and determine the trends under each condition. The finite element program used is "ANSYS". The volume and time of extraction and distribution of results were the constraints that, more than others, made the work difficult as the capabilities of the programs used do not facilitate the decision-making process. The analyzes presented below try to imitate the towing conditions of the ship and the forces exerted represent the real forces in this process. The last part of this paper presents the results of the study and the comparison with the constraints. The study of the results was made in two stages. In the first stage, the strength of the metal structure was studied without the additional reinforcements required by the Panama Canal Authority to cross the canal extension. Nevertheless, the forces exerted on the model resemble those developed in the ship's metal construction during towing by the canal extension. The results of the study show that such a process poses great risks in terms of construction, crew and the environment as the trends and deformations that develop are very large. This phenomenon has been addressed by

adding the aid required by the regulations (see Annex 1). The strength of this modified construction, which is the second stage of the study, showed that the trends and deformations that develop are clearly smaller and now comply with regulations.

Περιεχόμενα

Περίληψη	vii
Abstract.....	ix
Εισαγωγή	1
1 ΤΟ ΠΛΟΙΟ	5
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	5
1.1.1 Κύρια Μέρη Πλοίου	6
1.1.2 Βασικές Γεωμετρικές Έννοιες	7
1.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΩΝ	8
1.3 ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	12
1.3.1 Επιλογή Υλικού	13
1.4 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ.....	15
1.4.1 Σχεδίαση	15
1.4.2 Αρχές	15
1.4.3 Φορτίσεις Μεταλλικής Κατασκευής.....	16
2 ΔΙΩΡΥΓΑ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ	17
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	17
2.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΩΡΥΓΑΣ	18
2.3 ΑΡΧΙΚΗ ΣΚΕΨΗ.....	19
2.4 ΠΡΩΤΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	20
2.5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	21
2.6 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	22
2.6.1 Υδραυλικό σύστημα	23
2.6.2 Πίνακας Ελέγχου	25
2.7 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ.....	26
2.8 Στόχος	28
2.9 Διαστάσεις.....	28
2.10 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΗΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ	29
2.10.1 Τροφοδότηση νερού	29
2.10.2 Πύλες	31

2.10.3	Τρόπος ρυμούλκησης.....	33
2.11	Απαιτήσεις συστημάτων πρόσδεσης Αρμόδιας Αρχής Παναμά για την διέλευση από την επέκταση της Διώρυγας.....	35
3	ΜΕΛΕΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	41
3.1	ΓΕΝΙΚΑ	41
3.2	Η ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Π.Σ.)	42
3.3	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ “ANSYS”	43
3.4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	44
3.5	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	45
3.6	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	46
3.7	ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΣΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΒΟΛΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	46
3.8	ΦΟΡΤΙΑ	47
3.9	ΚΡΙΤΗΡΙΟ “VON MISES”	47
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	49
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	49
4.2	ΣΤΑΔΙΟ 1 ^ο : Κατασκευή γεωμετρίας	50
4.3	ΣΤΑΔΙΟ 2 ^ο : Βελτιστοποίηση και διακριτοποίηση της γεωμετρίας και επιβολή οριακών συνθηκών	54
4.4	ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	56
4.4.1	Μελέτη συμπεριφοράς όλης της κατασκευής	58
4.4.2	Μελέτη τμήματος της μεταλλικής κατασκευής	58
4.5	ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “ANSYS”	59
4.5.1	Πεπερασμένα στοιχεία για ναυπηγικές κατασκευές.....	59
5	ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	61
5.1	ΓΕΝΙΚΑ	61
5.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ.....	63
5.3	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	68
5.4	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	73
5.5	ΑΡΧΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78

5.6	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α3	82
5.7	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C3	87
5.8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
5.9	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α1	94
5.10	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α2	100
5.11	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α3	106
5.12	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β1	112
5.13	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β2	118
5.14	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β3	124
5.15	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C1	130
5.16	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C2	136
5.17	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C3	142
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	148
6.1	ΓΕΝΙΚΑ	148
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	157

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διάκριση των Tankers με βάση το φορτίο	10
Εικόνα 2: Διάκριση των Tankers με βάση τις διαστάσεις	12
Εικόνα 3: Δομή της διώρυγας του Παναμά.....	19
Εικόνα 4: Θάλαμοι της διώρυγας του Παναμά.....	23
Εικόνα 5: Επίδραση της βαρύτητας	24
Εικόνα 6: Άδειοι θάλαμοι της διώρυγας του Παναμά	25
Εικόνα 7: Επέκταση της διώρυγας του Παναμά	27
Εικόνα 8: Διαφορές επιτρεπόμενων διαστάσεων των πλοίων μεταξύ της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της	29
Εικόνα 9: Διαφορές διαστάσεων και υδραυλικού συστήματος της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της	30
Εικόνα 10: Πύλες σε σχήμα "V"	31
Εικόνα 11: Διαφορές των πυλών μεταξύ της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της.....	32
Εικόνα 12: Οχήματα ρυμούλκησης στη διώρυγα του Παναμά	33
Εικόνα 13: Ρυμούλκηση πλοίου στην επέκταση της διώρυγας του Παναμά	34
Εικόνα 14: πάνω δεξιά "Deck Chock", πάνω αριστερά "Bulwark Chock", στη μέση "Double Chock" και κάτω το "Safe Working Load"	40
Εικόνα 15: Κάτοψη μέρους της πρύμνης με τα νέα ενισχυτικά	51
Εικόνα 16: Τομή της πρύμνης χωρίς ενίσχυση	51
Εικόνα 17: Πλάγια άνοψη καταστρώματος με τα διαμήκη ενισχυτικά.....	52
Εικόνα 18: Πλάγια άνοψη καταστρώματος με τα κύρια ενισχυτικά	53
Εικόνα 19: Τρισδιάστατη μοντελοποίηση στο πρόγραμμα Rhinoceros	54
Εικόνα 20: Κάτοψη καταστρώματος στην περιοχή της πρύμνης	54
Εικόνα 21: Έμφαση στα σημεία όπου τοποθετούνται οι διαδοκίδες.....	57
Εικόνα 22: Κατευθύνσεις δυνάμεων ρυμούλκησης και αγκυροβολίας ανά περίπτωση	62
Εικόνα 23: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση	63
Εικόνα 24: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	64
Εικόνα 25: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	64
Εικόνα 26: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	65
Εικόνα 27: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής	65
Εικόνα 28: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	66
Εικόνα 29: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	66
Εικόνα 30: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	67
Εικόνα 31: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση	68

Εικόνα 32: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	69
Εικόνα 33: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	69
Εικόνα 34: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	70
Εικόνα 35: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	70
Εικόνα 36: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	71
Εικόνα 37: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής.....	71
Εικόνα 38: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	72
Εικόνα 39: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	72
Εικόνα 40: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση	73
Εικόνα 41: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	74
Εικόνα 42: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	74
Εικόνα 43: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	75
Εικόνα 44: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	75
Εικόνα 45: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	76
Εικόνα 46: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση.....	76
Εικόνα 47: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής.....	77
Εικόνα 48: Πλάγια κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	77
Εικόνα 49: Ιδιότητες υλικού (χάλυβας).....	79
Εικόνα 50: Ομάδες ενισχυτικών.....	81
Εικόνα 51: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A3	82
Εικόνα 52: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	83
Εικόνα 53: πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	83
Εικόνα 54: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	84
Εικόνα 55: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	84

Εικόνα 56: Τομή καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	85
Εικόνα 57: Τομή πλάγιας όψης καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	85
Εικόνα 58: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	86
Εικόνα 59: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	86
Εικόνα 60: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C3	87
Εικόνα 61: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	88
Εικόνα 62: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	88
Εικόνα 63: Άνοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	89
Εικόνα 64: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	89
Εικόνα 65: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	90
Εικόνα 66: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	90
Εικόνα 67: Τομή καταστώματος περίπτωσης C3 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	91
Εικόνα 68: Τομή καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	91
Εικόνα 69: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A1	94
Εικόνα 70: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	95
Εικόνα 71: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	95
Εικόνα 72: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	96
Εικόνα 73: Τομή καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	96
Εικόνα 74: Τομή καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	97
Εικόνα 75: Τομή καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	97
Εικόνα 76: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A1 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	98
Εικόνα 77: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	98
Εικόνα 78: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή.	99
Εικόνα 79: Άνοψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή.....	99
Εικόνα 80: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A2	100
Εικόνα 81: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	101

Εικόνα 82: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	101
Εικόνα 83: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	102
Εικόνα 84: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	102
Εικόνα 85: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	103
Εικόνα 86: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του σημείου που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	103
Εικόνα 87: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	104
Εικόνα 88: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής ισοδύναμης τάσης.....	104
Εικόνα 89: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	105
Εικόνα 90: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	105
Εικόνα 91: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A3	106
Εικόνα 92: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	107
Εικόνα 93: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	107
Εικόνα 94: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	108
Εικόνα 95: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	108
Εικόνα 96: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	109
Εικόνα 97: Τομή πλάγιας όψης καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	109
Εικόνα 98: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης....	110
Εικόνα 99: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	110
Εικόνα 100: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	111
Εικόνα 101: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	111
Εικόνα 102: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης B1	112
Εικόνα 103: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	113
Εικόνα 104: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	113

Εικόνα 105: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	114
Εικόνα 106: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	114
Εικόνα 107: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	115
Εικόνα 108: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	115
Εικόνα 109: Πλάγια κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης χωρίς την εμφάνιση του καταστρώματος	116
Εικόνα 110: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	116
Εικόνα 111: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	117
Εικόνα 112: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης B2	118
Εικόνα 113: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	119
Εικόνα 114: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	119
Εικόνα 115: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	120
Εικόνα 116: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	120
Εικόνα 117: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	121
Εικόνα 118: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	121
Εικόνα 119: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	122
Εικόνα 120: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	122
Εικόνα 121: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	123
Εικόνα 122: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	123
Εικόνα 123: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης B3	124
Εικόνα 124: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	125
Εικόνα 125: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	125
Εικόνα 126: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	126

Εικόνα 127: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	126
Εικόνα 128: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B3 με εστίαση στο σημείο μέγιστης παραμόρφωσης.....	127
Εικόνα 129: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	127
Εικόνα 130: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	128
Εικόνα 131: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	128
Εικόνα 132: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	129
Εικόνα 133: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C1	130
Εικόνα 134: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	131
Εικόνα 135: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	131
Εικόνα 136: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	132
Εικόνα 137: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	132
Εικόνα 138: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	133
Εικόνα 139: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης ..	133
Εικόνα 140: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	134
Εικόνα 141: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	134
Εικόνα 142: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	135
Εικόνα 143: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C2	136
Εικόνα 144: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	137
Εικόνα 145: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	137
Εικόνα 146: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	138
Εικόνα 147: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	138
Εικόνα 148: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης	139
Εικόνα 149: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης.....	139

Εικόνα 150: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	140
Εικόνα 151: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	140
Εικόνα 152: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	141
Εικόνα 153: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	141
Εικόνα 154: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C3	142
Εικόνα 155: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	143
Εικόνα 156: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	143
Εικόνα 157: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	144
Εικόνα 158: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης.....	144
Εικόνα 159: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	145
Εικόνα 160: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης	145
Εικόνα 161: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C3 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση	146
Εικόνα 162: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	146
Εικόνα 163: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή	147

Εισαγωγή

Βασικός παράγοντας για την ανάπτυξη μίας οικονομίας και βασικό προαπαιτούμενο για οποιαδήποτε μορφή δράσης είναι η ενέργεια. Σήμερα βασική πηγή ενέργειας αποτελεί το πετρέλαιο. Η σταδιακή αντικατάσταση του άνθρακα από το πετρέλαιο αλλά και η αυξανόμενη εξάρτηση της παγκόσμιας οικονομίας από αυτό, είναι οι λόγοι που η μεταφορά μαύρου χρυσού θεωρείται ένας από τους σπουδαιότερους τομείς του εμπορίου. Ο συνηθέστερος τρόπος μεταφοράς πετρελαίου είναι μέσω της θαλάσσιας οδού, με τη χρήση ειδικά κατασκευασμένων για αυτή τη δραστηριότητα πλοίων, των δεξαμενοπλοίων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας καθώς και η προσπάθεια των πλοιοκτητών για μείωση των διαδρομών και ταυτόχρονα μεταφορά μεγαλύτερου όγκου φορτίου, οδήγησαν στην θεαματική αύξηση των διαστάσεων των πλοίων. Τα σημερινά δεξαμενόπλοια, λόγω του μεγέθους τους, βρίσκουν δυσκολίες κατά την πρόσβασή τους σε λιμένες και διώρυγες. Επιπλέον, η φύση του φορτίου που μεταφέρουν, καθιστά τον χειρισμό τους εξαιρετικά μεγάλης σημασίας. Ατυχήματα τέτοιου είδους πλοίων είναι καταστροφικά για το περιβάλλον και πολύ επικίνδυνα για τις ανθρώπινες ζωές που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις. Για τον λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί αυστηροί κανονισμοί για την αποφυγή τέτοιου είδους συμβάντων.

Στην συγκεκριμένη μελέτη εξετάζεται εάν δεξαμενόπλοιο μήκους 244, πλάτους 42 και βυθίσματος 21 μέτρων, τύπου “*Aframax*” συμφωνεί με τους περιορισμούς της αρμόδιας Αρχής για την ασφαλή διέλευσή του από την επέκταση της διώρυγας του Παναμά. Η διώρυγα του Παναμά βρίσκεται στη δεύτερη θέση σχετικά με τον αριθμό των θαλάσσιων μεταφορών. Ο μεγάλος χρόνος αναμονής, αλλά και η τάση αύξησης των διαστάσεων των πλοίων που θέλουν να τη διασχίσουν, ήταν οι λόγοι που στις 26 Ιουνίου του 2016 εγκαινιάστηκε επίσημα η επέκταση της διώρυγας. Η νέα αυτή σειρά θαλάμων είναι μεγαλύτερης χωρητικότητας, και δίνει τη δυνατότητα διέλευσης σε μεγαλύτερα πλοία.

Η εναλλακτική που δημιουργήθηκε μέσω της επέκτασης της διώρυγας ανάγκασε πλοία, όπως αυτό που μελετάται στην παρούσα εργασία, να τροποποιήσουν ορισμένα ελάσματα καθώς και κάποια εξαρτήματα επί του καταστρώματος, ενισχύοντας έτσι κάποιες περιοχές που θεωρούνται επικίνδυνες για παραμόρφωση λόγω της καταπόνησης που δέχονται. Σκοπός της μελέτης είναι η διερεύνηση των τάσεων που δημιουργούνται στα ελάσματα

του καταστρώματος στις περιοχές των συστημάτων πρόσδεσης και αγκυροβολίας του πλοίου. Η εκλογή αξιόπιστων αποτελεσμάτων είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας, καθώς η ύπαρξη της συγκεκριμένης μελέτης εγγυάται την ασφάλεια του πληρώματος καθώς και την ασφαλή μετάβαση του συγκεκριμένου πλοίου από τους θαλάμους της διώρυγας. Η μορφολογία ενός πλοίου καθιστά τη διαδικασία ανάλυσης της κατασκευής ως προς την αντοχή του ένα ναυπηγικό πρόβλημα μεγάλης δυσκολίας. Αρχικά οι μηχανικοί έκαναν αποκλειστική χρήση αναλυτικών μεθόδων, χρησιμοποιώντας πολλές απλοποιήσεις και παραδοχές, με μεγάλες αποκλίσεις και καθυστερήσεις στην εξαγωγή αποτελεσμάτων. Η ανάπτυξη των υπολογιστών και των προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων όχι μόνο κατάφερε να προσπεράσει το εμπόδιο της αριθμητικής επίλυσης τέτοιου είδους προβλημάτων, αλλά και να ελαχιστοποιήσει τα περιθώρια λάθους της ανάλυσης. Τέτοιου είδους προγράμματα έχουν ως βασικό στόχο την απλούστευση μίας κατασκευής σε επιμέρους στοιχεία. Ο αριθμός των επιμέρους στοιχείων είναι και ενδεικτικός της ακρίβειας που χαρακτηρίζει την μελέτη. Για να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα η κατασκευή σχεδιάστηκε αρχικά σε πρόγραμμα τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης, και έπειτα μεταφέρθηκε σε ένα διαφορετικό περιβάλλον όπου και έγινε ανάλυση της αντοχής. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν με κριτήρια την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να στηρίξουν καθώς και το κόστος τους. Τα προγράμματα “*Rhinoceros 3D*” και “*ANSYS*” κρίθηκαν καταλληλότερα για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Η σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίστηκε κατά την διάρκεια της μελέτης ήταν ο όγκος των δεδομένων που χρειάστηκε να εισαχθεί στο “*ANSYS*”, με αποτέλεσμα πολλές φορές το πρόγραμμα να μην μπορεί να ανταπεξέλθει. Ο αριθμός των στοιχείων επηρεάζει την ποιότητα της μελέτης αλλά ταυτόχρονα και τον χρόνο εξαγωγής αποτελεσμάτων. Η ισορροπία των δύο αυτών παραγόντων κατέστη εφικτή και κατ’ επέκταση τα αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Τα πρώτα τρία προσπαθούν να κάνουν κατανοητό στον αναγνώστη τον σκοπό και την σημασία της μελέτης καθώς δίνουν μία γενική εικόνα των παραγόντων που επηρέασαν την εκπόνηση της. Τα στοιχεία του πλοίου που μελετάται, ο τρόπος λειτουργίας της διώρυγας του Παναμά και η ανάλυση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι οι πιο σημαντικές έννοιες που αναλύονται.

Τα επόμενα κεφάλαια καταγράφουν την πορεία της μελέτης από την σχεδίαση του μοντέλου μέχρι και την εύρεση αποτελεσμάτων και τελικά την αποτύπωση των συμπερασμάτων.

1

ΤΟ ΠΛΟΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται κάποιοι βασικοί ορισμοί και έννοιες σχετικά με το πλοίο και περιγράφονται οι σημαντικότεροι παράγοντες με βάση τους οποίους γίνεται η σχεδίαση της μεταλλικής κατασκευής. Επιπλέον περιγράφεται η σημασία της αντοχής του πλοίου καθώς και τα είδη των φορτίσεων που αναπτύσσονται σε αυτό. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να κατανοηθούν πληρέστερα κάποιες έννοιες τις οποίες πραγματεύεται αυτή η διπλωματική εργασία.

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πλοίο είναι μία ειδική κατασκευή, σχεδιασμένη για να κινείται με ασφάλεια στο νερό. Τα πλοία διέπονται από τη νομοθεσία αφενός του Ναυτικού Δικαίου, το οποίο και διακρίνεται στο Δημόσιο Ναυτικό Δίκαιο και στο Ιδιωτικό Ναυτικό Δίκαιο, που απαρτίζουν και τους δύο σχετικούς Κώδικες, τον Κώδικα Δημοσίου Ναυτικού Δικαίου (Κ.Δ.Ν.Δ.) και τον Κώδικα Ιδιωτικού Ναυτικού Δικαίου (Κ.Ι.Ν.Δ.) και αφετέρου από το Διεθνές Ναυτικό Δίκαιο.

- Κατά Κ.Δ.Ν.Δ (άρ.1 παρ.1) πλοίο είναι κάθε σκάφος καθαρής χωρητικότητας τουλάχιστον 10 κόρων, προορισμένο να κινείται αυτόνομα στη θάλασσα.

- Κατά Κ.Ι.Ν.Δ. (άρ.3 παρ.1) πλοίο είναι κάθε σκάφος προορισμένο να μετακινείται στο νερό για μεταφορά προσώπων ή πραγμάτων, ρυμούλκηση, επιθαλάσσια αρωγή, αλιεία, αναψυχή, επιστημονικές έρευνες ή άλλο σκοπό.

Το πλοίο είναι μία κατασκευή με πολύπλοκη μορφολογία, ο σχεδιασμός της οποίας αποτελεί πρόκληση για τους ναυπηγούς μέχρι και σήμερα. Η ασφάλεια που διέπει αυτό το μέσο μεταφοράς είναι το πιο σημαντικό προαπαιτούμενο και συγχρόνως το πιο απαιτητικό καθώς το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί χαρακτηρίζεται από την αβεβαιότητα και την απότομη εναλλαγή συνθηκών. Η σχεδίαση της γάστρας και του καταστρώματος πρέπει να πληρούν τους κανονισμούς ασφαλείας που καταρτίζονται από ναυτιλιακούς τεχνικούς οργανισμούς, κοινώς νηογνώμονες. Η ναυτιλιακή βιομηχανία συνεχώς αναπτύσσεται και μαζί της οι κανονισμοί που αφορούν το πλοίο γίνονται όλο και πιο απαιτητικοί.

1.1.1 Κύρια Μέρη Πλοίου¹

- **Γάστρα** (σκάφος, *hull*): το σύνολο όλων των κατασκευαστικών στοιχείων που συνθέτουν το στεγανό μέρος του πλοίου. Αυτό αποτελείται από εξωτερική επικάλυψη που ονομάζεται εξωτερικό περίβλημα (*shell plating*) κατάλληλα υποστηριζόμενο από ένα σύνολο ενισχύσεων που ονομάζεται σκελετός (*framing*). Το εξωτερικό περίβλημα μπορεί να αποτελείται από διαφορετικό υλικό κατασκευής, όπως χάλυβα, ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο. Είναι στεγανό τμήμα και από επάνω έχει ένα συνεχές υδατοστεγές κάλυμμα (κατάστρωμα) το οποίο βρίσκεται έξω από το νερό όταν το πλοίο είναι σε οριζόντια θέση.
- **Ύφαλα:** όλα τα μέρη και εξαρτήματα του πλοίου που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- **Κατάστρωμα:** κατασκευαστικό στοιχείο του σκάφους που περικλείει προς τα πάνω το στεγανό κέλυφος ή το διαιρεί σε επάλληλες οριζόντιες ζώνες.

¹ Γ. Κ. Χατζηκωνσταντής (2010). (*Ναυπηγικό Σχέδιο*) Σημειώσεις Τ.Ε.Ι Αθήνας, Αιγάλεω.

- **Τρόπιδα ή Καρένα:** Είναι η σειρά ελασμάτων που βρίσκεται στον πυθμένα του πλοίου.
- **Λωροί (*Beams*):** Διαμήκεις ενισχυτικοί δοκοί.
- **Φρακτές (*Bulkheads*):** κατακόρυφα διαφράγματα για τον διαχωρισμό των διαμερισμάτων ενός πλοίου που ενισχύουν την ανοχή του.
- **Πλώρη²:** το άκρο που κατά την συνήθη πορεία του πλοίου είναι στραμμένο προς την ίδια κατεύθυνση της κίνησης και συναντά πρώτο το νερό.
- **Πρύμνη:** το αντίθετο άκρο από την πλώρη.
- **Δεξαμενή πλοίου:** Είναι οι χώροι του πλοίου με προορισμό και εξοπλισμό που επιτρέπει την αποθήκευση και φορτο-εκφόρτωση του καυσίμου, του νερού και του λιπαντέλαιου.

1.1.2 Βασικές Γεωμετρικές Έννοιες³

- **Ολικό ή μέγιστο μήκος (*Length overall*):** Είναι η απόσταση μεταξύ του ακρότατου σημείου της πρόρας και του ακρότατου σημείου της πρύμνης εσωτερικά του περιβλήματος, μετρούμενη παράλληλα προς τη BL.
- **Μήκος μεταξύ καθέτων (*Length Between Perpendiculars*):** Είναι η απόσταση μεταξύ της πρυμναίας και της προραιάς καθέτου.
- **Ολικό πλάτος (*Breadth Overall*):** Είναι η απόσταση μεταξύ των ακροτάτων σημείων της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του σκάφους, συμπεριλαμβανομένων των προεξοχών.
- **Βύθισμα (*Draft ή Draught*):** Είναι η απόσταση μεταξύ του βασικού επιπέδου αναφοράς μέχρι την έμφορτη ίσαλο θέρους μετρούμενη σε μέτρα ή πόδια.
- **Ίσαλος (*Water Line*):** Η τομή της επιφάνειας της θάλασσας (ευρισκόμενη σε ηρεμία) με την επιφάνεια αναφοράς του πλοίου μας δίνει την ίσαλο.

² Γ.Κ Χατζηκωσταντής & Α. Πουλης (2003). (*Γεωμετρία του Πλοίου*). Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αιγάλεω.

³ Γ.Κ Χατζηκωσταντής & Α. Πουλης (2003). (*Γεωμετρία του Πλοίου*). Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αιγάλεω.

- **Νομείς⁴ (Frames):** Αποτελούν κατασκευές από δοκούς διατομής 'Γ' ή 'Τ' που ενισχύουν εσωτερικά τα λεπτά ελάσματα του περιβλήματος του πλοίου. Διακρίνονται σε Εγκάρσιους (*transverse*) ή Διαμήκεις Νομείς (*Longitudinal Frames*). Το τμήμα του νομέα που προσαρμόζεται στον πυθμένα του πλοίου ονομάζεται Έδρα (*Floor*), ενώ το τμήμα του νομέα που προσαρμόζεται στο κατάστρωμα ονομάζεται Ζυγό (*Beam*). Η σύνδεση νομέα και ζυγού γίνεται με τους Βραχίονες, Αγκώνες ή Μπρατσόλια (*brackets*), ενώ αυτή μεταξύ του νομέα και της έδρας γίνεται με τους Βραχίονες ή Αγκώνες Κυρτού της γάστρας (*Bilge Brackets*).
- **Εκτόπισμα:** Είναι το βάρος του νερού που εκτοπίζει η βρυχώμενη επιφάνεια (τα ύφαλα) του πλοίου και είναι ίσο με το βάρος του πλοίου
- **Νεκρό Βάρος⁵ “Deadweight”:** Το βάρος αυτό αναφέρεται στο βάρος των καυσίμων και των λιπαντικών, του νερού (τροφοδοτικού, πόσιμου, έρματος), των εφοδίων, των καταναλώσιμων ειδών, του πληρώματος, των επιβατών καθώς και των αποσκευών τους, των εργαλείων και κυρίως του μεταφερόμενου φορτίου. Είναι η διαφορά μεταξύ του έμφορτου και άφορτου εκτοπίσματος. Το μέγιστο πρόσθετο ή νεκρό βάρος του πλοίου ανταποκρίνεται στο μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα.

1.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΩΝ

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν σήμερα αναπόσπαστο κομμάτι του διεθνούς εμπορίου αφού αξιολογούνται ως το πλέον ασφαλές μέσο για την μεταφορά φορτίων. Η κατασκευή και η σχεδίαση ενός πλοίου γίνονται, εκτός των άλλων, με βάση τον σκοπό που αυτό θέλει να εξυπηρετήσει αλλά και τον τύπο του φορτίου που θα διακινεί μελλοντικά. Μία πρώτη διάκριση κατατάσσει τα εμπορικά πλοία στις εξής κατηγορίες:

⁴ Ε. Σ. Τζαννάτος (n.d.). *Τεχνολογία Πλοίου Σημειώσεις*. Ανακτήθηκε Φεβρουάριο 2018 από ιστοσελίδα <https://eclass.snd.edu.gr>

⁵ Ε. Σ. Τζαννάτος (n.d.). *Τεχνολογία Πλοίου Σημειώσεις*. Ανακτήθηκε Φεβρουάριο 2018 από ιστοσελίδα <https://eclass.snd.edu.gr>

- **Φορτηγά πλοία**⁶: οποιοδήποτε πλοίο που κύριος προορισμός του είναι η μεταφορά φορτίων
- **Επιβατηγά πλοία**: πλοία με σκοπό την μεταφορά επιβατών (επί των πλείστων)
- **Πλοία ειδικού προορισμού**⁷: τέτοιου είδους πλοία περιλαμβάνουν πλοία ψυγεία, αλιευτικά, ωκεανογραφικά, τοποθέτησης καλωδίων, εκπαιδευτικά, μετεωρολογικά κ.α.
- **Βοηθητικής Ναυτιλίας**: τα πλοία αυτά δεν μεταφέρουν φορτία ή ανθρώπους αλλά βοηθούν τα υπόλοιπα για την ασφαλή και ομαλή διέλευσή τους.

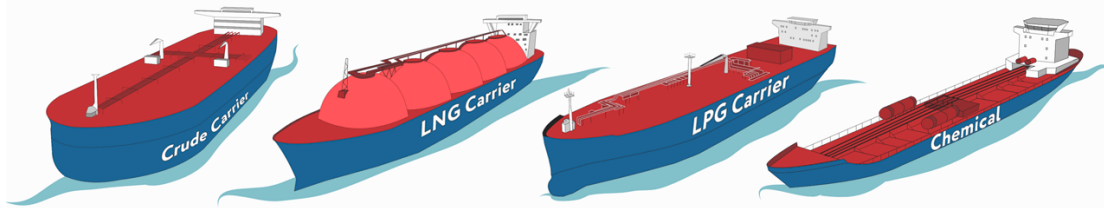
Σε αυτή την διπλωματική εργασία, γίνεται ανάλυση ενός πλοίου μεταφοράς αργού πετρελαίου. Τα πλοία που μεταφέρουν τέτοιου είδους φορτίο ονομάζονται δεξαμενόπλοια και ανήκουν στην κατηγορία των φορτηγών. Συγκεκριμένα, «δεξαμενόπλοιο είναι το πλοίο που μεταφέρει υγρό φορτίο χύδην. Ορισμένοι τύποι τέτοιου φορτίου είναι το αργό πετρέλαιο, τα προϊόντα πετρελαίου, διάφορες χημικές ουσίες, υγροποιημένα αέρια, τετηγμένο θείο κ.α. Η φύση του φορτίου τους απαιτεί ειδικές μορφές κατασκευής και εξοπλισμού»⁸. Με βάση το φορτίο που μεταφέρουν, τα δεξαμενόπλοια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- a) Δεξαμενόπλοια μεταφοράς αργού ή ακάθαρτου πετρελαίου
- b) Δεξαμενόπλοια μεταφοράς προϊόντων πετρελαίου
- c) Εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου “LNG” (*Liquid Natural Gas*), υγραερίου “LPG” (*Natural Petroil Gas*), χημικών κ.α.

⁶ Wikipedia (the free encyclopedia). Ανακτήθηκε Απρίλιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://el.wikipedia.org/wiki>

⁷ e-Nautilia (2016). *Κατηγορίες και είδη πλοίων*. Ανακτήθηκε Απρίλιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.e-nautilia.gr/katigories-kai-eidi-ploiwn/>

⁸ Wärtsilä *Encyclopedia of Marine Technology*. Ανακτήθηκε Μάιο 2018, από ιστοσελίδα <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/tankers>



Εικόνα 1: Διάκριση των Tankers με βάση το φορτίο

Η διάκριση των δεξαμενοπλοίων, όμως, μπορεί να γίνει και βάσει του μεγέθους τους. Βασικό μέτρο σύγκρισης είναι η μεταφορική ικανότητα. Οι τρόποι μέτρησης της χωρητικότητας ποικίλουν, αλλά συνηθέστερος είναι ο όγκος εκτοπίσματος ή αλλιώς “*deadweight*”. Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται σε τόνους και εκφράζει το μέγιστο συνολικό βάρος που μπορεί να μεταφερθεί, τηρώντας τους κανόνες που προβλέπονται σχετικά με το βύθισμα. Σήμερα οι κατηγορίες των δεξαμενοπλοίων με βάση το μέγεθός τους είναι οι εξής:

a) *Ultra Large Crude Carriers (ULCC) 320.000-550.000dwt*

Είναι τα μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια. Το ποσοστό των λιμανιών που μπορούν να τα αποδεχτούν είναι μικρό λόγω του μεγέθους τους αλλά και λόγω έλλειψης εγκαταστάσεων για την αποθήκευση του φορτίου τους.

b) *Very Large Crude Carriers (VLCC) 180.000-320.000 dwt*

Τα πλοία αυτά είναι κατασκευασμένα για τη μεταφορά ακατέργαστου πετρελαίου, ενώ μπορούν να περάσουν από τη διώρυγα του Σουέζ. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για μεταφορές στη Βόρεια Θάλασσα, τη Μεσόγειο και τη Δυτική Αφρική.

c) *Suezmax 120.000-200.000 dwt*

Είναι κατασκευασμένα για την διέλευση από τη διώρυγα του Σουέζ. Οι κυριότεροι περιορισμοί είναι το βύθισμα, καθώς η διώρυγα δεν έχει πύλες, και το ύψος του πρέπει να είναι μικρότερο από τη Γέφυρα του Καναλιού του Σουέζ.

d) *Aframax 80.000-120.000 dwt*

Λόγω του μεγέθους τους, μπορούν να προσεγγίσουν τα περισσότερα λιμάνια. Η ονομασία τους προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων “Average Freight Rate Assessment”. Πρόκειται για ένα σύστημα χρέωσης εμπορευμάτων που δημιουργήθηκε από την “Shell Oil” το 1954 για την απλοποίηση των συμβολαίων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως είναι κατάλληλα για μεταφορά αργού πετρελαίου σε μικρές ή μεσαίες αποστάσεις και το μέγεθός τους επιλέχθηκε με στόχο την προτίμησή τους από τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο αυτό.

e) *New Panamax 90.000-125.000dwt*

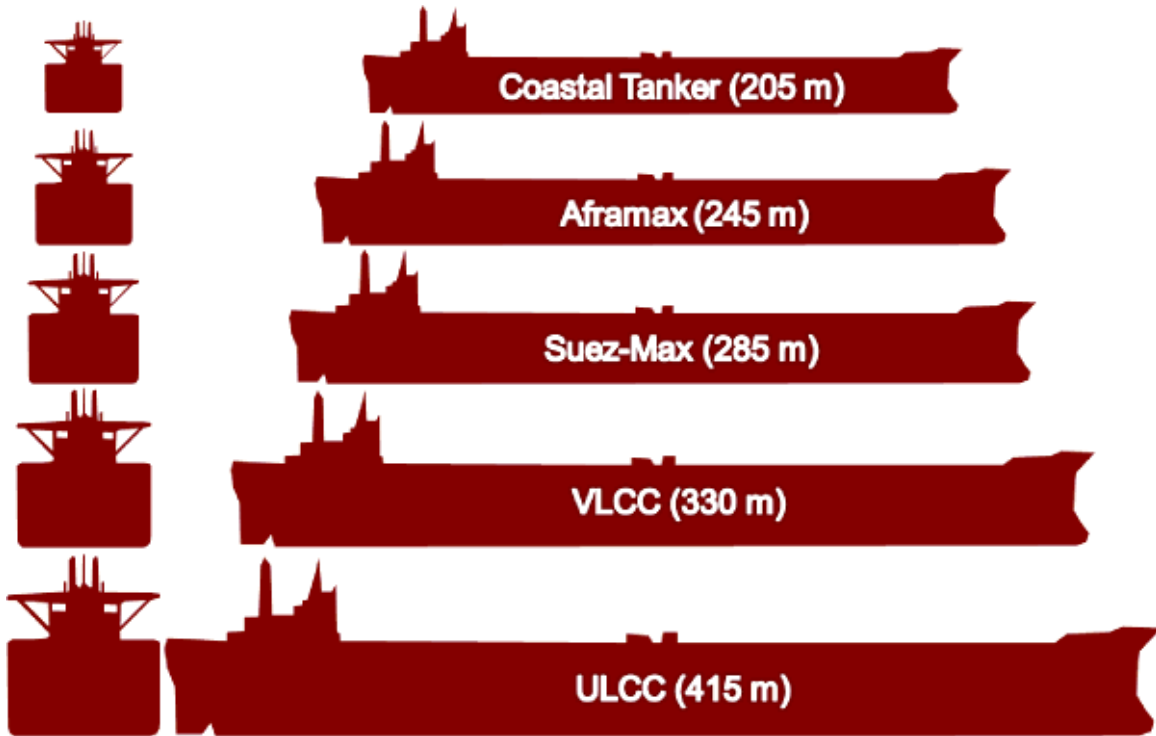
Ο συγκεκριμένος τύπος πλοίων έχει μεγαλύτερες διαστάσεις από τα “Panamax” και κατασκευάζονται με στόχο την ασφαλή διέλευση από την επέκταση της διώρυγας του Παναμά. Οι μέγιστες διαστάσεις τέτοιων πλοίων φτάνουν τα 366 μέτρα μήκους, 49 μέτρα πλάτους και 15,2 μέτρα βυθίσματος.

f) *Panamax 55.000-80.000 dwt*

Βρίσκονται στη κατηγορία των μεσαίων από άποψη μεγέθους δεξαμενόπλοια. Είναι κατασκευασμένα για την ομαλή διέλευση από τη διώρυγα του Παναμά και δεν επιτρέπεται να ξεπερνούν τα 294,13 μέτρα μήκους, 32,31 μέτρα πλάτους και 12,04 μέτρα βυθίσματος. Οι διαστάσεις αυτές έχουν οριστεί από την αρμόδια Αρχή της Διώρυγας του Παναμά καθώς η κατασκευή των θαλάμων που λειτουργούν ως ανελκυστήρες εμποδίζουν την είσοδο μεγαλύτερων πλοίων.

g) *Handymax* 35.000-45.000 dwt

Είναι τα μικρότερα πλοία της κατηγορίας και χρησιμοποιούνται συχνότερα για την μεταφορά κατεργασμένων ή ημικατεργασμένων προϊόντων πετρελαίου.



Εικόνα 2: Διάκριση των Tankers με βάση τις διαστάσεις

1.3 ΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Μία από τις βασικότερες παραμέτρους για την κατασκευή ενός πλοίου είναι το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί. Κατά τα πρώτα χρόνια το δημοφιλέστερο ναυπηγικό υλικό υπήρξε το ξύλο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αφθονία, την εύκολη επεξεργασία και την πλευστότητα που το χαρακτηρίζουν.

Τα πρώτα πλοία φτιαγμένα από σίδηρο χρονολογούνται από το 1822, ενώ η χρήση του υλικού αυτού στη ναυπηγική παρατηρείται κατά τον 17^ο αιώνα κυρίως για την κατασκευή ελασμάτων.

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα ο χάλυβας έκανε την εμφάνισή του και, μέχρι και σήμερα, είναι το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο στη ναυπηγική. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και

η ανοδική πορεία της θαλάσσιας βιομηχανίας έφεραν, όπως ήταν αναμενόμενο, τη βελτίωση των ιδιοτήτων του χάλυβα. Η ενίσχυση των αδύναμων σημείων και η επίλυση προβλημάτων που παρατηρούνταν στα πλοία ήταν τα κίνητρα που οδήγησαν στην αναβάθμιση των χαρακτηριστικών του.

Οι απαιτήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας για μείωση του βάρους κατασκευής, εξοικονόμηση ενέργειας και η αύξηση αντοχής σε καταπονήσεις είναι οι βασικοί λόγοι που ώθησαν στην έρευνα ανάπτυξης νέων υλικών⁹.

1.3.1 Επιλογή Υλικού

Η επιλογή υλικού είναι ένα σημαντικό στάδιο της κατασκευής ενός πλοίου και καθορίζεται από τις απαιτήσεις του εκάστοτε πλοιοκτήτη.

Σημειώνεται πως σε έναν τόσο μεγάλο κλάδο, όπως είναι αυτός της ναυτιλίας, η κάθε λεπτομέρεια εξετάζεται σε βάθος. Αυτό σημαίνει πως η λήψη μίας τέτοιας απόφασης δεν είναι μία απλή διαδικασία αλλά, αντιθέτως, μία μελέτη με πολλές παραμέτρους που συχνά είναι ανταγωνιστικές μεταξύ τους. Απόδειξη της σπουδαιότητας αυτής της διαδικασίας είναι οι υψηλές δαπάνες αλλά κυρίως τα σοβαρά ατυχήματα που μπορεί να επιφέρει η λανθασμένη επιλογή του υλικού κατασκευής.

Βασικές παράμετροι επιλογής υλικού είναι:

- **Το φορτίο που μεταφέρει.** Με βάση τις ιδιότητες του φορτίου πρέπει ένα πλοίο να τηρεί ορισμένες προϋποθέσεις ασφαλείας.
- **Οι αποστάσεις που διανύει.** Οι αποστάσεις και οι συνθήκες του περιβάλλοντος υπό τις οποίες πλέει ένα πλοίο διαφέρουν ανάλογα με τον σκοπό που αυτό εξυπηρετεί. Συνεπώς, θα πρέπει να είναι κατάλληλα κατασκευασμένο ώστε να αντέχει στις εκάστοτε φορτίσεις.
- **Το κόστος.** Η ισορροπία μεταξύ κόστους και ποιότητας είναι ένας καταλυτικός παράγοντας. Οι διαδικασίες μορφοποίησης και συντήρησης του υλικού καθώς και

⁹ Γ. Χρυσουλάκης & Δ. Παντελής (2008). *Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών* (εκδόσεις Παπασωτηρίου)

η αντοχή του έρχονται σε σύγκρουση με την διατήρηση των δαπανών σε χαμηλό επίπεδο.

Τα ναυπηγικά υλικά πρέπει να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις που τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση. Οι κύριες μηχανικές τους ιδιότητες που εξετάζονται είναι οι παρακάτω:

- **Λόγος αντοχής προς βάρος.** Το βάρος του μεταλλικού μέρους ενός πλοίου είναι ένας κρίσιμος παράγοντας. Κατ' επέκταση το ειδικό βάρος ενός μετάλλου επηρεάζει άμεσα το συνολικό βάρος της κατασκευής. Όμως αυτό που έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ο λόγος αντοχής του υλικού ως προς το βάρος, ο οποίος εκφράζεται από το λόγο του ορίου διαρροής ή της τάσης θραύσης προς το ειδικό βάρος¹⁰.
- **Δυσθραυστότητα (*fracture toughness*).** Αποτελεί μία σύνθετη μηχανική ιδιότητα η οποία αποδίδει την ικανότητα ενός υλικού να υφίσταται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και ταυτόχρονα να επιδέχεται μεγάλα φορτία. Με άλλα λόγια εκφράζει κατά πόσο απορροφά ενέργεια πριν τη θραύση του. Επιπλέον είναι καλό να αναφερθεί πως η αύξηση αντοχής ενός υλικού καθώς και οι χαμηλές θερμοκρασίες έχουν αρνητική επίδραση στη δυσθραυστότητα¹¹.
- **Αντοχή σε κόπωση.** Όταν μία κατασκευή υποβάλλεται σε εναλλασσόμενες περιοδικές και συνεχείς καταπονήσεις, είναι δυνατό να οδηγηθεί σε θραύση για τιμές τάσεων μικρότερες της αντοχής του¹². Στη ναυπηγική οι φορτίσεις αυτές είναι ένα σύνηθες φαινόμενο και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία.
- **Αντοχή σε διάβρωση.** Η αλλαγή των ιδιοτήτων ενός υλικού μετά από τη χρόνια επίδραση του περιβάλλοντος ονομάζεται διάβρωση. Στη περίπτωση ενός πλοίου, η επαφή του εξωτερικού περιβλήματος με τη θάλασσα επιφέρει την υποβάθμιση της αντοχής του υλικού.

¹⁰ Κ. Αρακάς (2010). (Διπλωματική εργασία « Μελέτη αντοχής σε κόπωση ενισχυμένης χαλύβδινης γάστρας πλοίου»).

¹¹ Κ. Ι. Γιαννακόπουλος (2010). (Σημειώσεις Πειραματικής Αντοχής Υλικών). Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

¹² Γ. Χρυσουλάκης & Δ. Παντελής (2008). Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών (εκδόσεις Παπασωτηρίου)

1.4 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΓΑΣΤΡΑΣ ΠΛΟΙΟΥ

1.4.1 Σχεδίαση

«Με τον όρο σχεδίαση του πλοίου, νοείται ο καθορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του πλοίου ώστε αυτό να έχει τα επιθυμητά επιχειρησιακά χαρακτηριστικά και να έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει την αποστολή για την οποία προορίζεται κατά τον καλύτερο και αποδοτικότερο τρόπο»¹³.

1.4.2 Αρχές

Εκτός από τις απαιτήσεις του κάθε πλοίου, ο σχεδιασμός του πρέπει να βασίζεται σε ορισμένες αρχές¹⁴. Αυτές είναι οι εξής:

- **Αξιοπιστία.** Η ασφάλεια του πλοίου, του φορτίου και του πληρώματος είναι συντελεστές που χρήζουν μέγιστης προσοχής.
- **Απόδοση.** Η ικανότητα ενός πλοίου να φέρει εις πέρας τις αποστολές που του ανατίθενται.
- **Συντήρηση.** Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένα πλοίο θα χρειαστεί κοστοβόρες επισκευές αλλά και ο βαθμός προσβασιμότητας στις περιοχές όπου εντοπίζεται βλάβη επηρεάζουν άμεσα τη σχεδίαση ενός πλοίου.

Για να αποφανθεί ο βαθμός της αξιοπιστίας του πλοίου που μελετάται θα πρέπει να καθοριστούν ορισμένες οριακές συνθήκες. Ως οριακή συνθήκη ορίζεται η κατάσταση εκείνη όπου ο φορέας συμπεριφέρεται ελαστικά, ενώ πέρα από αυτή γίνεται απρόβλεπτος. Στη συγκεκριμένη εργασία σημασία έχει η αντίδραση της μεταλλικής κατασκευής (φορέας) ως προς τις φορτίσεις που αναπτύσσονται σε αυτή. Συνεπώς ως οριακή συνθήκη

¹³ Γ. Κ. Χατζηκωνσταντής (2010). *(Ναυπηγικό Σχέδιο)* Σημειώσεις Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αιγάλεω.

¹⁴ Γ. Κ. Αρακάς (2010). (Διπλωματική εργασία « Μελέτη αντοχής σε κόπωση ενισχυμένης χαλύβδινης γάστρας πλοίου»). Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ορίζεται η μέγιστη αντοχή της γάστρας, δηλαδή η μέγιστη δυνατότητα φόρτισης της κατασκευής.

1.4.3 Φορτίσεις Μεταλλικής Κατασκευής

Ο καθορισμός των φορτίσεων της μεταλλικής κατασκευής ενός πλοίου είναι μία επίπονη διαδικασία λόγω των εμποδίων που ένας ναυπηγός συναντάει σε όλο το φάσμα της. Η πολυπλοκότητα της κατασκευής και οι απότομες μεταβολές της γεωμετρίας και των φορτίσεων είναι μερικές από τις δυσκολίες αυτές. Μία από τις παραδοχές στις οποίες βασίζεται ο υπολογισμός της αντοχής των ναυπηγικών κατασκευών είναι πως η κατασκευή συμπεριφέρεται συνολικά ως κοίλη δοκός με λεπτά τοιχώματα. Με αυτό ως δεδομένο, δίνεται έμφαση στα είδη φορτίσεων που κρίνονται ως κρίσιμοι παράγοντες. Οι φορτίσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες ομάδες.

- **Φορτίσεις σε σχέση με την διάρκεια και την μεταβλητότητα στον χρόνο.** Έχει παρατηρηθεί πως υπάρχουν φορτίσεις που μένουν σταθερές στον χρόνο αλλά και άλλες που μεταβάλλονται δραστικά και στον χρόνο αλλά και στον χώρο. Συγκεκριμένα το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, η άωση και το βάρος του φορτίου είναι μερικές από τις φορτίσεις που ανεξάρτητα του χρόνου παραμένουν αμετάβλητες. Από την άλλη οι κρούσεις των κυμάτων, η σφυρόκρουση, οι ταλαντώσεις της έλικας και οι υδροδυναμικές φορτίσεις μεταβάλλονται συνεχώς κατά το πέρασμα του χρόνου. Επιπλέον οι φορτίσεις αυτές δεν έχουν την ίδια ισχύ σε όλα τα μέρη του εξωτερικού περιβλήματος.
- **Φορτίσεις σε σχέση με την απόκριση της κατασκευής.** Εδώ βρίσκονται άλλες δύο υποκατηγορίες. Οι στατικές και οι δυναμικές φορτίσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ένα ήδη υπάρχον πλοίο, οπότε η προκαταρκτική σχεδίαση και μελέτη θεωρείται δεδομένη και ορθή.

2

ΔΙΩΡΥΓΑ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται οι βασικές λειτουργίες σχετικά με τη διώρυγα του Παναμά καθώς και της επέκτασής της. Γίνεται εκτενής περιγραφή των διαφορών των δύο αυτών μηχανολογικών κατασκευών και με βάση αυτές εξηγούνται οι λόγοι της μορφοποίησης του πλοίου που μελετάται. Επιπλέον, γίνεται αναφορά των ισχυόντων κανονισμών για την ασφαλή διέλευση των πλοίων από τις δύο οδούς πλεύσης όπως έχουν ανακοινωθεί από την αρμόδια Αρχή της διώρυγας του Παναμά. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η κατανόηση των παραγόντων που θέλουν την τροποποίηση των πλοίων, που ενώ μπορούν να πλεύσουν μέσω της διώρυγας, επιθυμούν να έχουν την επιλογή πλεύσης και μέσω και της επέκτασής της.

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο Παναμάς είναι το κράτος όπου αποφασίστηκε να γίνει η διάνοιξη της ομώνυμης διώρυγας. Βρίσκεται στην Κεντρική Αμερική κι βρέχεται από δύο Ωκεανούς. Στα Βόρεια από τον Ατλαντικό και στα Νότια από τον Ειρηνικό Ωκεανό. Το τροπικό κλίμα του οφείλεται στην μικρή απόστασή που έχει από τον Ισημερινό. Με χαρακτηριστική μακρά περίοδο βροχών και σύντομη περίοδο ξηρασίας, οι Αρχές της διώρυγας πρέπει να κάνουν

ορθή χρήση των αποθεμάτων νερού για την ομαλή λειτουργία της ολόκληρο τον χρόνο. Στον Παναμά τοποθετείται η πιο στενή λωρίδα ξηράς της ηπείρου και σε συνδυασμό με την χαμηλή συχνότητα σεισμικών φαινομένων κρίθηκε το καταλληλότερο σημείο για την δημιουργία ενός πορθμού που θα ένωνε τους δύο Ωκεανούς.

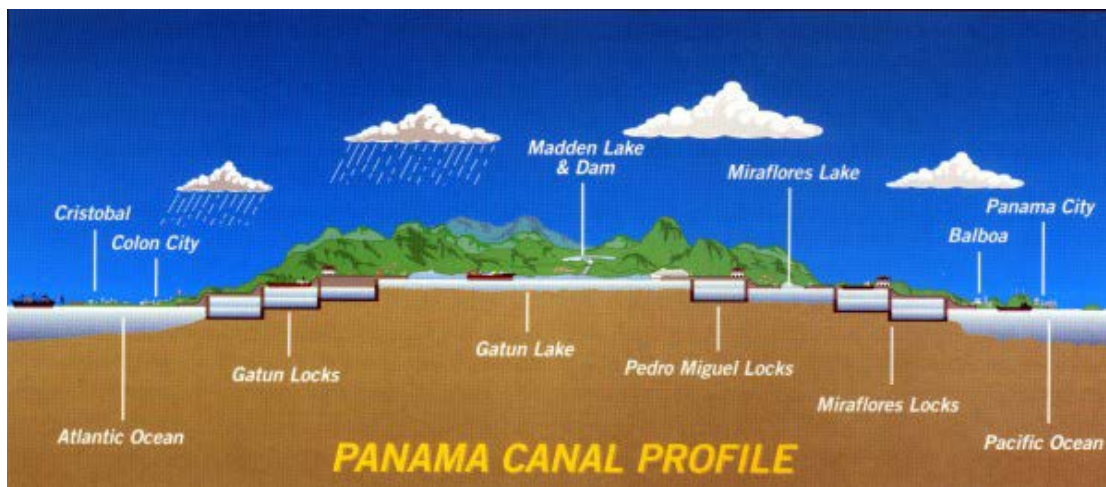
Η διώρυγα του Παναμά είναι τεχνητή δίοδος που αποτελείται από σπονδυλωτές σειρές συνδεδεμένων ανισοϋψών θαλάμων. Βρίσκεται υπό την κατοχή της Δημοκρατίας του Παναμά και την διαχειρίζεται η αυτόνομη Αρχή της διώρυγας του Παναμά. Έχει συνολικό μήκος 77 χιλιόμετρα, πλάτος και βάθος 45 και 11 μέτρα αντίστοιχα. Το έργο υλοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1914 και είναι ένα από τα δύο πιο σημαντικά περάσματα από στρατηγικής απόψεως μαζί την διώρυγα του Σουέζ. Αποτελεί κομβικό σημείο καθώς συντομεύει την απόσταση Ατλαντικού και Ειρηνικού Ωκεανού κατά 16.000 χιλιόμετρα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η διώρυγα αποτελεί το βασικότερο οικονομικό έσοδο του κράτους.

2.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΩΡΥΓΑΣ

Η διώρυγα του Παναμά βρίσκεται στο πιο στενό σημείο ξηράς της Αμερικανικής ηπείρου. Υπάρχει η λανθασμένη αντίληψη πως το κανάλι διασχίζει την ήπειρο από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Στην πραγματικότητα όμως αυτό γίνεται από τα βόρεια προς τα νότια και αντίθετα. Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή της διαδρομής που ακολουθεί ένα πλοίο που βρίσκεται στον Ατλαντικό και καταλήγει στον Ειρηνικό.

- 1) Το ταξίδι ξεκινάει από την είσοδο του πλοίου στο λιμάνι “*Colón*”.
- 2) Συνεχίζοντας τη διαδρομή, το πλοίο συναντάει την πρώτη σειρά θαλάμων ονόματι “*Gatun Locks*” από την ομώνυμη λίμνη και ποταμό. Σκοπός τους είναι η ανύψωση του πλοίου στα 27 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας.
- 3) Μέσω της λίμνης το πλοίο οδηγείται προς τον ποταμό “*Chagres*”. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο ποταμό κατά το μήκος της έκτασης του καναλιού. Διανύει 8,5 χιλιόμετρα και τα νερά του καταλήγουν και στους δύο ωκεανούς.

- 4) Αφού διασχίσει τον ποταμό, το πλοίο καλείται να εισέλθει στην “*Culebra Cut*” ή αλλιώς “*Gaillard Cut*”, «ένα από τα μεγαλύτερα μηχανολογικά επιτεύγματα της εποχής. Στην ουσία μιλάμε για μία κοιλάδα 12,4 χιλιομέτρων μεταξύ των κορυφογραμμών των βουνών του Παναμά, η οποία οδηγεί στους θαλάμους του “*Pedro Miguel*”.
- 5) Στη συγκεκριμένη διαδρομή, οι θάλαμοι “*Pedro Miguel*” είναι η πρώτη σειρά θαλάμων που εκτελεί χρέη ανελκυστήρα που, αντί να αυξάνει, μειώνει το υψόμετρο του πλοίου. Έχουν μήκος 1,4 χιλιόμετρα και η διαφορά στάθμης του νερού των δύο πλευρών είναι 9,4 μέτρα.
- 6) Μόλις το πλοίο εξέλθει από τους θαλάμους αυτούς, οδηγείται στην λίμνη “*Miraflores*” όπου και θα συναντήσει την ομώνυμη σειρά θαλάμων. Σκοπός της, να κατεβάσει το πλοίο κατά 16 μέτρα.
- 7) Τελευταίο στάδιο είναι η είσοδος στο λιμάνι “*Balboa*”, κοντά στη πόλη του Παναμά, το οποίο σηματοδοτεί την έξοδο του πλοίου από τη διώρυγα προς τον Ειρηνικό Ωκεανό



Εικόνα 3: Δομή της διώρυγας του Παναμά

2.3 ΑΡΧΙΚΗ ΣΚΕΨΗ

Η εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας απασχολούσε τους ανθρώπους από τα πολύ παλιά χρόνια. Η κατασκευή νέων οδών σε σημεία με γεωγραφική σημασία είναι ένα φαινόμενο

που παρατηρείται ήδη από τον 7^ο αιώνα π.Χ. Η περίπτωση της διώρυγας του Παναμά όμως, είναι ένα ξεχωριστό παράδειγμα. Το έργο αυτό απέτυχε πολλές φορές μέχρι την τελική του ολοκλήρωση. Ήδη από το 1501 είχαν γίνει οι πρώτες αναφορές για ένα κανάλι το οποίο επιτρέπει στα πλοία να μεταβούν από την μία πλευρά της Αμερικανικής ηπείρου στην άλλη, γλιτώνοντας έτσι 8.000 μίλια ταξιδιού.

Οι εδαφικές ανωμαλίες, η διαφορά της στάθμης μεταξύ των δύο Ωκεανών, οι παλίρροιας καθώς και ο κίτρινος πυρετός έκαναν τη κατασκευή προβληματική, αν όχι αδύνατη.

2.4 ΠΡΩΤΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ

Οι πρώτοι που προσπάθησαν να πετύχουν το κατόρθωμα αυτό, ήταν οι Γάλλοι το 1876 ιδρύοντας τη Διεθνή Εταιρεία της Ωκεάνιας Διώρυγας, που εξουσιοδοτεί τη γαλλική εταιρεία “*Lesseps*” να αρχίσει τις εργασίες¹⁵. Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετώπισαν οι μηχανικοί, ήταν η δυσκολία με την οποία το εργατικό δυναμικό θα προχωρούσε στη διόρυξη καθώς οι βράχοι που βρίσκονται στο σημείο δεν έχουν δημιουργηθεί από την σύγκρουση τεκτονικών πλακών, αλλά από την έκρηξη ηφαιστειών. Η αντοχή τους ήταν πολύ μεγαλύτερη από ότι αρχικά υπολογιζόταν, και τα μέσα που τότε ήταν διαθέσιμα δεν παρείχαν την απαιτούμενη ισχύ¹⁶.

Η πλούσια βλάστηση που χαρακτηρίζει τη περιοχή αύξησε τον βαθμό δυσκολίας καθώς η πρόσβαση στους χώρους εργασίας ήταν επίπονη. Γενικότερα το τροπικό κλίμα ήταν ο βασικότερος αντίπαλος της ομάδας που διαχειρίστηκε το έργο αφού οι ασταμάτητες βροχές όχι μόνο δυσκόλευαν τις συνθήκες εργασίας αλλά είχαν ως αποτέλεσμα την υπερχειλίση του ποταμού “*Chagres*”. Η γνωστή υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο ωκεανών αποτέλεσε αίτιο για την σύγκρουση απόψεων μεταξύ των μηχανικών για την δομή και τον τρόπο λειτουργίας της διώρυγας. Τέλος, μαalaria και κίτρινος πυρετός προκάλεσαν την απώλεια πολλών ανθρώπινων ζωών οδηγώντας στο τερματισμό των προσπαθειών.

¹⁵ Panama Canal Authority. (n.d.) *The French Canal Construction*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

¹⁶ Panama Canal Authority. (n.d.) *The Land at Panama*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

2.5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Υπό την ηγεσία του προέδρου *Roosevelt*, οι Αμερικάνοι το 1904 εξαγόρασαν τα δικαιώματα της περιοχής. Ήταν πεπεισμένοι πως το μέλλον της οικονομίας βρισκόταν στις θαλάσσιες μεταφορές και η κατασκευή ενός τέτοιου έργου θα ωφελούσε την ανάπτυξη της χώρας. Οι ενέργειες που διεξήχθησαν αυτή τη φορά ήταν μελετημένες και πιο οργανωμένες. Προτού ξεκινήσουν οι εργασίες, οι Αμερικάνοι φρόντισαν να απαλλάξουν ολόκληρη τη ζώνη από τους ιούς που ταλαιπώρησαν τους Γάλλους στο παρελθόν. Η σημαντική μείωση των θυμάτων της μαλάριας και του κίτρινου πυρετού αποτέλεσε θετικό βήμα για την ομαλή διεξαγωγή των δραστηριοτήτων. Επιπλέον, η κατασκευή σιδηροδρόμου κατά μήκος του ισθμού ήταν ζωτικής σημασίας κατά τον *J. F. Stevens*, αρχιμηχανικό κατά την περίοδο 1905-1907. Η συνδρομή του σιδηροδρόμου δεν υπάγεται μόνο στη διανομή τροφίμων και εργαλείων στο εργατικό δυναμικό αλλά και στη μεταφορά του πετρωμάτων και χώματος. Ο ξεπερασμένος και μη αποδοτικός εξοπλισμός που οι Γάλλοι είχαν αφήσει στη περιοχή, αντικαταστάθηκε με την τελευταία τεχνολογία της εποχής, διευκολύνοντας την διάνοιξη της διόδου. Ο *Stevens* ήταν αυτός που κατάφερε να πείσει τον *Roosevelt* και το διοικητικό συμβούλιο για την αναγκαιότητα κατασκευής κλείστρων που θα εκτελούσαν χρέη ανελκυστήρα αντί μίας διώρυγας στο επίπεδο της θάλασσας¹⁷.

Η διώρυγα του Παναμά παραμένει ακόμα και σήμερα ένα από τα μεγαλύτερα μηχανολογικά επιτεύγματα. Συνολικά χρειάστηκε να μετατοπιστούν 240 εκατομμύρια τόνοι χώματος. Η ποσότητα αυτή θα μπορούσε να σχηματίσει μία σειρά από 63 πυραμίδες, που η κάθε μία που η κάθε μία να έχει το ύψος της Μεγάλης Πυραμίδας της Αιγύπτου¹⁸.

¹⁷ Panama Canal Authority (n.d) *The American Canal Construction*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

¹⁸ *Το κανάλι του Παναμά: Ένα θαύμα του ανθρώπου* (15/08/2014). Ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα http://www.e-nautilia.gr/to_kanali-tou-panama/

2.6 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

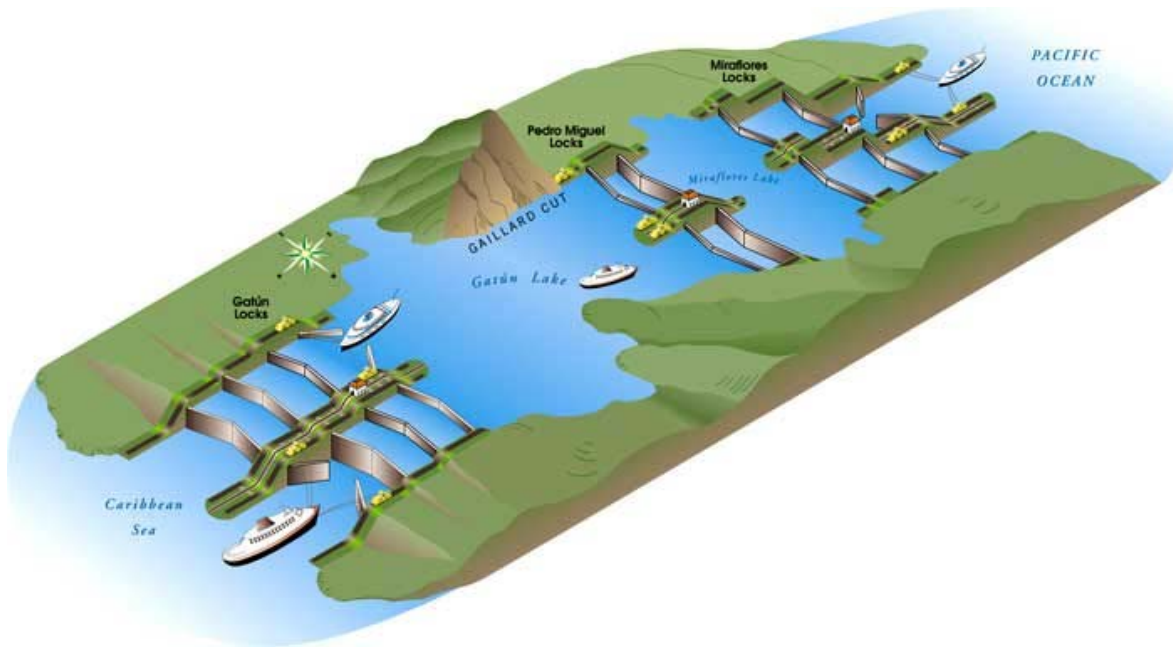
Η κατανόηση της λειτουργίας της διώρυγας είναι σημαντικός παράγοντας για την συνέχεια της εργασίας, καθώς μέσω αυτής αναλύονται οι τρόποι και μέθοδοι ασφαλείας που ένα πλοίο θα πρέπει να πληροί εάν θέλει να περάσει από την διώρυγα. Η διώρυγα του Παναμά αποτελεί ένα μοναδικό τύπο διόδου, καθώς οι μηχανικοί έπρεπε να βρουν έναν κατάλληλο τρόπο διέλευσης. Η δυσκολία βρισκόταν στην υψομετρική διαφορά του επιπέδου των δύο ωκεανών από τους οποίους βρέχεται, καθώς η ένωσή τους θα μπορούσε να προκαλέσει καταστροφικά φυσικά φαινόμενα.

«Η Διώρυγα του Παναμά είναι ένα υδραυλικό σύστημα σε διαφορετικές στάθμες ύδατος που ρυθμίζεται από πολλά κλείστρα ώστε να επιτρέπεται η διέλευση των πλοίων από τη μία στάθμη στην άλλη. Αναλυτικά, οι θάλαμοι λειτουργούν ως ανελκυστήρες, μόλις το πλοίο εισέλθει σε έναν από τους θαλάμους και οι πύλες πρύμνηθεν και πλώραθεν σφραγίσουν, νερό γεμίζει τον θάλαμο. Μόλις το νερό φτάσει το επίπεδο του επόμενου θαλάμου, τότε η μπροστινή πύλη ανοίγει και το πλοίο περνάει στον επόμενο. Η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται όταν το πλοίο θέλει να κατέβει επίπεδο. Η κάθε δεξαμενή χρειάζεται 101.000 τετραγωνικά μέτρα νερού για να γεμίσει μέχρι το ανώτατο σημείο»¹⁹.

Η γεωλογική δομή της περιοχής επέτρεψε την κατασκευή θαλάμων οι οποίοι λειτουργούν ως ανελκυστήρες για τα πλοία. Υπάρχουν τρία σημεία όπου ένα πλοίο συναντάει τέτοιους θαλάμους κατά το μήκος της διώρυγας. Η πρώτη σειρά θαλάμων είναι ονομάζεται “*Gatun Locks*” και είναι 3 (τριών) βημάτων. Αυτό σημαίνει πως το πλοίο μπαίνει σε 3 (τρεις) θαλάμους στον καθ’ ένα από τους οποίους αλλάζει υψόμετρο. Έπειτα εισέρχεται στη μονού βήματος σειρά θαλάμων «*Pedro Miguel*” και ύστερα στη “*Miraflores*” που είναι διπλού βήματος. Η κάθε σειρά θαλάμων αποτελείται από δύο διαδρόμους κυκλοφορίας, απαριθμώντας ένα σύνολο 12 θαλάμων²⁰.

¹⁹ Κωνσταντίνος Βασιλείου (2012). *Η Διώρυγα του Παναμά*. Ανακτήθηκε Μαρτίο 2018 από την ιστοσελίδα <https://www.ispania.gr/arthra/tourismos/3865-dioriga-panama>

²⁰ Panama Canal Authority (n.d). *Design of the Locks*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

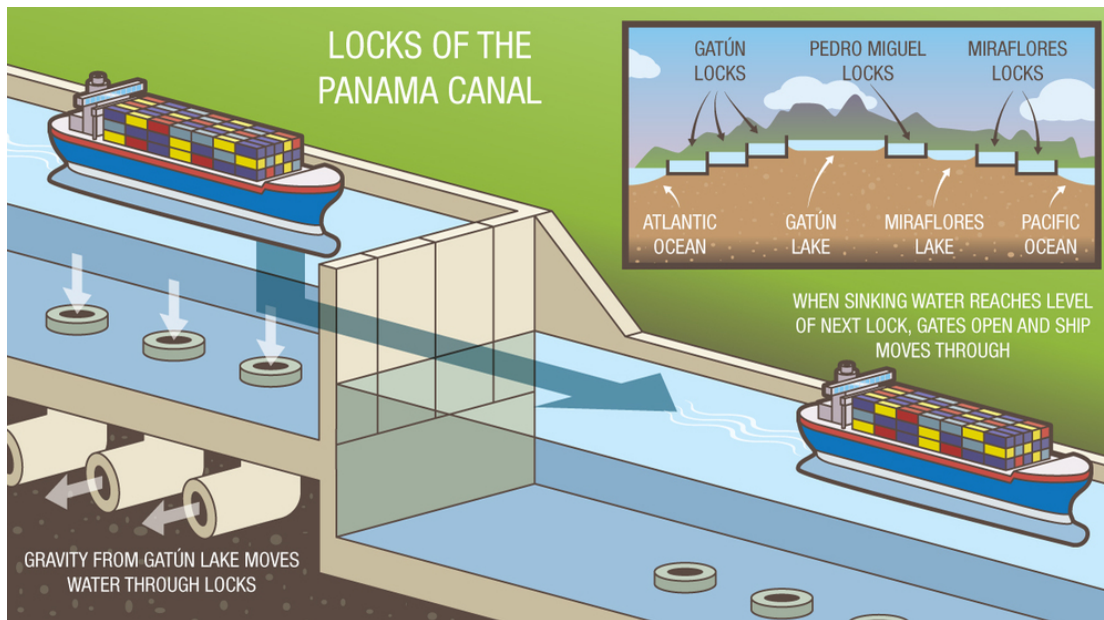


Εικόνα 4: Θάλαμοι της διώρυγας του Παναμά

2.6.1 Υδραυλικό σύστημα

Βασικός παράγοντας σε όλο το σχέδιο και τη λειτουργία του καναλιού είναι το νερό και ο εφοδιασμός του γίνεται από τη λίμνη “Gatun”. Εκτός από την μεταφορά των πλοίων σε διαφορετικά επίπεδα, το νερό είναι ο μοναδικός παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας. Όλες οι απαιτούμενες ενέργειες εκτελούνται εξ’ ολοκλήρου μέσω της βαρύτητας που ασκείται στα ύδατα. Ο μηχανισμός που ρυθμίζει τη στάθμη του νερού στους θαλάμους δεν εμπεριέχει αντλίες. Το νερό ακολουθεί την φυσική του πορεία μέσω σωληνώσεων που συνδέουν τους θαλάμους μεταξύ τους. Αν αντλίες αναλάμβαναν τη δουλειά αυτή, τραβώντας νερό από τη θάλασσα, η διαδικασία θα γινόταν χρονοβόρα καθώς και οικονομικά ασύμφορη, λόγω της δαπανώμενης ενέργειας αλλά και των φθορών που θα προκαλούσε η οξείδωση από το θαλασσινό νερό στα μεταλλικά μέρη του συστήματος²¹.

²¹ Βιντζηλαίου Αναστασία (2007). *Η ιστορία, η κατασκευή και η λειτουργία της Διώρυγας του Παναμά. (Διπλωματική Εργασία για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Ναυτιλία, Μεταφορές και Διεθνές Εμπόριο – ΝΑ.Μ.Ε.»*

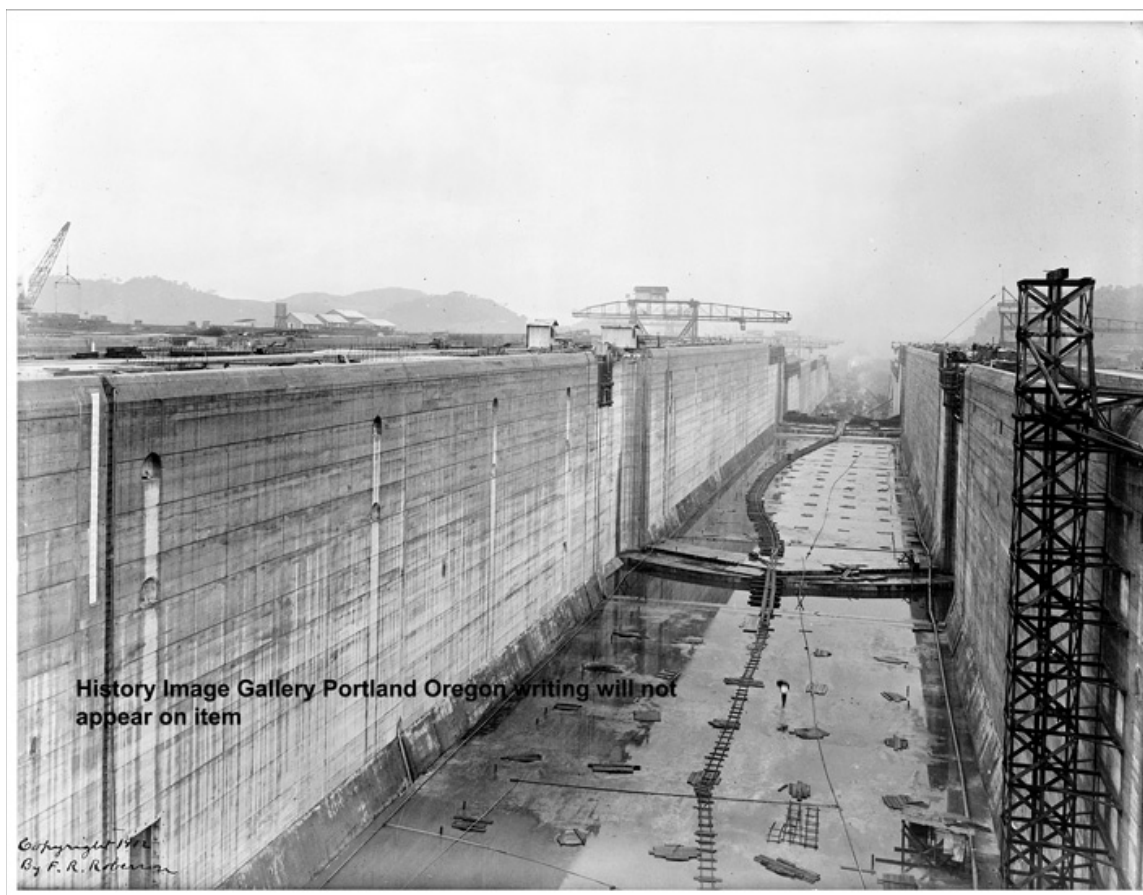


Εικόνα 5: Επίδραση της βαρύτητας

Ο κάθε θάλαμος αποτελείται από συστήματα σωληνώσεων και οχετών, διαμέτρου 18 ft, που διατρέχουν κατά μήκος τους θαλάμους μέσω των κεντρικών και πλευρικών τοιχωμάτων. Μικρότερα συστήματα σωληνώσεων αναπτύσσονται κάτω από το δάπεδο κάθε θαλάμου (είκοσι στον κάθε θάλαμο)²². Οι μικρότερες αυτές σωληνώσεις διακλαδίζονται με τελικό προορισμό τους θαλάμους. Αναλυτικότερα, κάθε υπόγειος σωλήνας διαιρείται σε 5(πέντε) ανοίγματα για ένα σύνολο 100 (εκατό) οπών στον κάθε θάλαμο. Μέσω αυτών των οπών διανέμεται το νερό ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή του δαπέδου για να μη δημιουργείται αναταραχή κατά το γέμισμα ή δίνη κατά την αποστράγγιση. Για να γεμίσει ένας θάλαμος, οι κύριες βαλβίδες στο χαμηλότερο όριο της αίθουσας είναι κλειστές, ενώ εκείνες στο ανώτερο όριο ανοίγουν. Το νερό πέφτει από τη λίμνη μέσω των μεγάλων οχετών στους διαγώνιους οχετούς και εν συνεχεία καταλήγει στους θαλάμους μέσω των οπών στο ανώτερο όριο²³.

²² Panama Canal Authority (n.d). *Design of the Locks*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

²³ Βιντζηλαίου Αναστασία (2007). *Η ιστορία, η κατασκευή και η λειτουργία της Διώρυγας του Παναμά*. (Διπλωματική Εργασία για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Ναυτιλία, Μεταφορές και Διεθνές Εμπόριο – ΝΑ.Μ.Ε.»



Εικόνα 6: Άδειοι θάλαμοι της διώρυγας του Παναμά

2.6.2 Πίνακας Ελέγχου

Οι διαστάσεις των θαλάμων θέτουν περιορισμούς στα πλοία που εισέρχονται, αλλά ακόμα και όσα από αυτά τους πληρούν, είναι απαραίτητο να εκτελούν προσεκτικές κινήσεις αφού οι αποστάσεις των τοιχωμάτων από τη γάστρα δεν αφήνουν περιθώρια σφάλματος. Οι πύλες που διαχωρίζουν τους θαλάμους, συγκρατούν ένα σημαντικό ποσό νερού και πρέπει να αντέχουν σε σημαντικές δυνάμεις. Μία πιθανή αποτυχία τους θα σήμαινε όχι μόνο (επικίνδυνα) ζημιογόνες πλημμύρες αλλά τεραστίων διαστάσεων καταστροφές σε ολόκληρη την περιοχή. Οι πύλες της διώρυγας και της επέκτασής της διαφέρουν και γι' αυτό το λόγο θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενη υπό-ενότητα.

Για την αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ πλοίων και πυλών, τέθηκε σε εφαρμογή ένας ακόμη μηχανισμός ασφαλείας. Αυτός ο μηχανισμός ονομάστηκε φράγμα έκτακτης

ανάγκης και εγκαταστάθηκε στους πλευρικούς τοίχους της εισόδου κάθε ανώτερης δεξαμενής.

Το σύνολο των δραστηριοτήτων παρακολουθείται από έναν χώρο ελέγχου. Για την βέλτιστη δυνατή οπτική επαφή, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο σημείο κατασκευής τέτοιου χώρου, το επίπεδο με το μεγαλύτερο υψόμετρο. Για να ελαχιστοποιηθεί το περιθώριο ανθρώπινου σφάλματος, τα συστήματα ελέγχου έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να γίνονται εύκολα κατανοητά και αποτελούνται από δικλείδες ασφαλείας. Συγκεκριμένα, ο πίνακας ελέγχου αποτελείται από μία μικρογραφία της διώρυγας όπου μία κίνηση του χειριστή αντιστοιχεί σε ίδια κίνηση στην πραγματική διώρυγα σε πραγματικό χρόνο²⁴. Όσο για τις δικλείδες ασφαλείας, πρόκειται για «επιμελημένα βήματα των ενδασφαλιζόμενων δοκών, που είναι εγκατεστημένα κάτω από τον πίνακα ελέγχου για να ασφαλίζουν τους διακόπτες μηχανικά. Κάθε διακόπτης πρέπει να γυρίσει με συγκεκριμένη ακολουθία, αλλιώς δεν θα είναι δυνατή η ενεργοποίησή του. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται η πιθανότητα να γίνει κάτι εκτός ακολουθίας ή να παραληφθεί κάποιο βήμα»²⁵.

2.7 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ

Η επέκταση της διώρυγας εγκαινιάστηκε επίσημα στις 26 Ιουνίου του 2016 και αποτελεί το μεγαλύτερο έργο υποδομής μετά το άνοιγμα του καναλιού το 1914. Το κανάλι του Παναμά, μπορεί να εξυπηρετήσει περί τα 35 πλοία ημερησίως. Η νέα τρίτη σειρά ανισοϋψών δεξαμενών όμως βοηθάει στην ελάφρυνση της συμφόρησης αυτής, ενισχύοντας την ικανότητα της διώρυγας κατά περίπου 15 πλοία την ημέρα. Η δυνατότητα διέλευσης πολύ μεγαλύτερων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και άλλων εμπορικών σκαφών από τη διώρυγα έχει μεταβάλει τα εμπορικά πρότυπα. Ακόμη σημαντικότερο είναι το γεγονός ότι οι νέες δεξαμενές είναι ικανές να εξυπηρετήσουν πλοία κατηγορίας “*New Panamax*”, κατά 25% μακρύτερα, 50% πλατύτερα και με

²⁴ Panama Canal Authority (n.d). *Design of the Locks*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

²⁵ Βιντζηλαίου Αναστασία (2007). *Η ιστορία, η κατασκευή και η λειτουργία της Διώρυγας του Παναμά. (Διπλωματική Εργασία για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Ναυτιλία, Μεταφορές και Διεθνές Εμπόριο – ΝΑ.Μ.Ε.»*

μεγαλύτερο βύθισμα από τα σημερινά, ικανά να μεταφέρουν τρεις φορές περισσότερο φορτίο²⁶.

Το πρόγραμμα αποτελείται από επιμέρους έργα. Αυτά εμπεριέχουν:

- την κατασκευή δύο νέων συμπλεγμάτων δεξαμενών τα οποία δημιουργούν μία τρίτη γραμμή πλεύσης. Οι εισοδοί του καναλιού καθώς επίσης και το κανάλι πλοήγησης στη λίμνη “Gatun” έχουν διευρυνθεί και εμβαθυνθεί. Η μία ομάδα δεξαμενών βρίσκεται στην ειρηνική πλευρά, νοτιοδυτικά από τις υπάρχουσες δεξαμενές του “Miraflores”.
- Την κατασκευή ενός νέου τεχνητού καναλιού μήκους 6,1 χιλιομέτρων που θα οδηγεί στους καινούργιους θαλάμους του Ειρηνικού Ωκεανού προσπερνώντας τη λίμνη “Miraflores”.
- Βελτίωση της παροχής νερού για καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση.



Εικόνα 7: Επέκταση της διώρυγας του Παναμά

²⁶ Panama Canal Authority (n.d.). *Frequently asked Questions*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://micanaldepanama.com/expansion/faq/>

2.8 Στόχος

Ο κύριος στόχος του προγράμματος επέκτασης είναι η αύξηση της χωρητικότητας για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών. Ενώ οι αρχικοί θάλαμοι επιτρέπουν την είσοδο πλοίων με χωρητικότητα 5.000 *TEU* η επέκταση της διώρυγας δίνει τη δυνατότητα εισόδου σε πλοία “*New Panamax*” χωρητικότητας μέχρι και 14.000 *TEU*. Επηρεάζοντας άμεσα τις κλίμακες της οικονομίας και το διεθνές ναυτιλιακό εμπόριο κατάφερε να συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας και της αξίας της θαλάσσιας διαδρομής μέσω του Παναμά.

Η οικονομική συνεισφορά της διώρυγας όμως δεν σταματάει εκεί, αφού σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά της αρμόδιας αρχής απασχολεί πάνω από 30.000 εργαζομένους²⁷.

2.9 Διαστάσεις

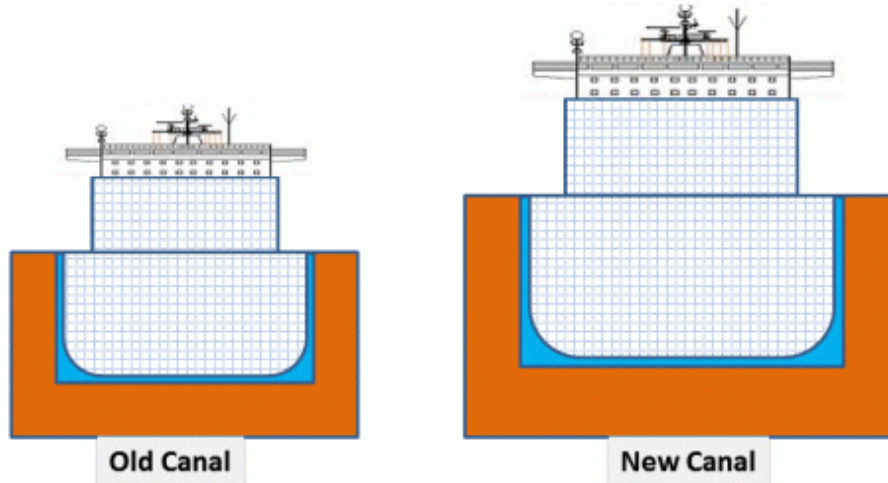
Οι διαστάσεις των δεξαμενών είναι σαφώς μεγαλύτερες έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας. Η κάθε δεξαμενή έχει μήκος 427 μέτρα, 55 μέτρα πλάτος και 18,3 μέτρα βάθος. Τα πλοία που θέλουν να εξυπηρετηθούν από τις νέες αυτές δεξαμενές θα πρέπει να έχουν μήκος μέχρι 366 μέτρα, πλάτος μέχρι 49 μέτρα και βύθισμα μέχρι 49 μέτρα²⁸. Τα πλοία θα πρέπει να συμφωνούν με κάποιους κανόνες που αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο.

²⁷ Panama Canal Authority (n.d.). *Frequently asked Questions*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://micanaldepanama.com/expansion/faq/>

²⁸ Panama Canal Authority (n.d.). *Frequently asked Questions*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://micanaldepanama.com/expansion/faq/>

Comparison of old and new canal and ship's allowed to pass through it.

32.31 meters	Beam	49 meter
294.13 meters	Length	366 meter
12.04 meters	Draft	15.2 meter
Lock gate system	Gate type	New rolling gate system



Εικόνα 8: Διαφορές επιτρεπόμενων διαστάσεων των πλοίων μεταξύ της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της

2.10 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΗΣ ΔΙΩΡΥΓΑΣ ΤΟΥ ΠΑΝΑΜΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ

2.10.1 Τροφοδότηση νερού

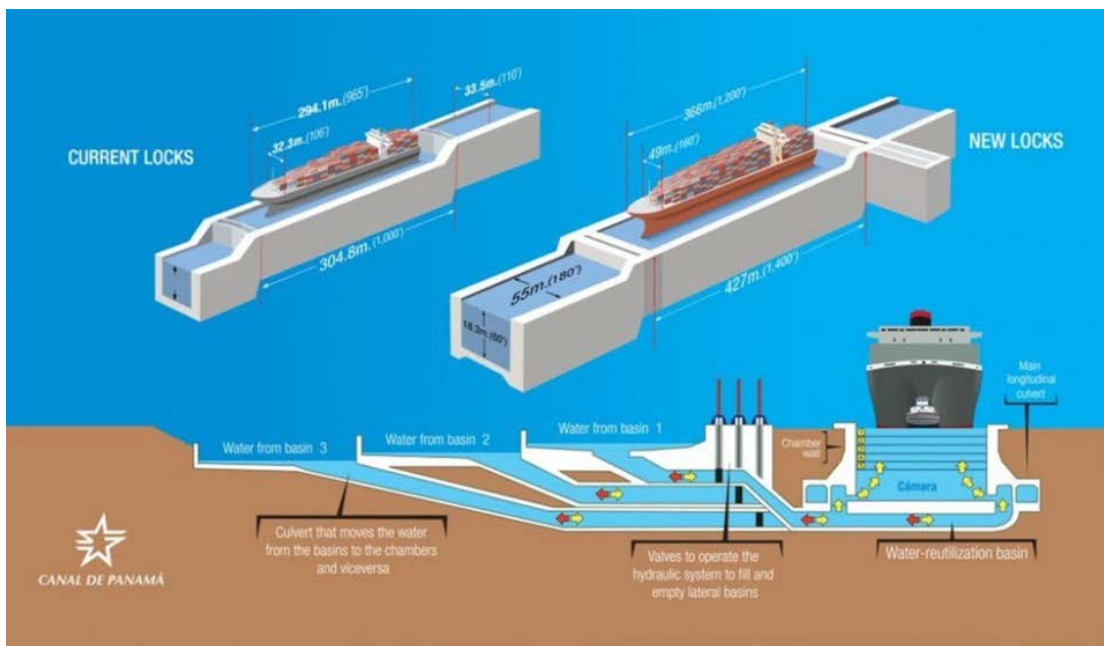
Διώρυγα

Στη πρώτη διώρυγα, η λίμνη “Gatun” τροφοδοτεί τους θαλάμους με νερό, το οποίο μετά την διέλευση του πλοίου, αποβάλλεται στη θάλασσα. Η σπατάλη του γλυκού νερού είναι ένα θέμα που έχει φέρει πολλές φορές αντιμέτωπες την Αρμόδια Αρχή της Διώρυγας και

περιβαλλοντικές οργανώσεις, καθώς η χώρα περνάει μία μεγάλη περίοδο ξηρασίας κάθε χρόνο.

Επέκταση²⁹

Στην επέκταση της διώρυγας ο τρόπος τροφοδότησης νερού για το γέμισμα των θαλάμων είναι διαφορετικός καθώς ακολουθούνται μέθοδοι για καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση. Χρησιμοποιώντας δεξαμενές αποταμίευσης νερού κατά μήκος της υδάτινης οδού, γίνεται εφικτή η συντήρηση των πόρων γλυκού νερού. Κάθε ζευγάρι θαλάμων επικοινωνεί υπογείως με τρεις δεξαμενές αποταμίευσης νερού. Το ρευστό ακολουθεί έναν φαύλο κύκλο, ξεκινώντας από τις δεξαμενές. Μόλις ξεκινήσει η διαδικασία ανύψωσης ενός πλοίου, το νερό μεταφέρεται από θάλαμο σε θάλαμο. Όταν το πλοίο περάσει και από την τελευταία πύλη, τότε το νερό καταλήγει και πάλι στις δεξαμενές. Με τον τρόπο αυτό επαναχρησιμοποιείται το 60% (εξήντα τοις εκατό) του ρευστού σε κάθε διαδρομή από τις δεξαμενές στους θαλάμους.



Εικόνα 9: Διαφορές διαστάσεων και υδραυλικού συστήματος της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της

²⁹ Panama Canal Authority (n.d.). *Frequently asked Questions*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://micanaldepanama.com/expansion/faq/>

2.10.2 Πύλες

Διώρυγα³⁰

Οι πύλες των θαλάμων (*miter gates*) κλείνουν σε ένα ευρύ “V” και ταλαντεύονται όπως οι διπλές πόρτες. Ο απλός, αλλά ισχυρός, μηχανισμός των πυλών σχεδιάστηκε χωρίς κάποιο καθιερωμένο πρότυπο στο οποίο θα μπορούσε να βασιστεί. Για να λειτουργήσει αξιόπιστα, οι πύλες συνδέονται με χαλύβδινους βραχίονες, που αποτελούνται από μεγάλου μεγέθους ρόδες που τοποθετούνται στο εσωτερικό των τοίχων των θαλάμων.

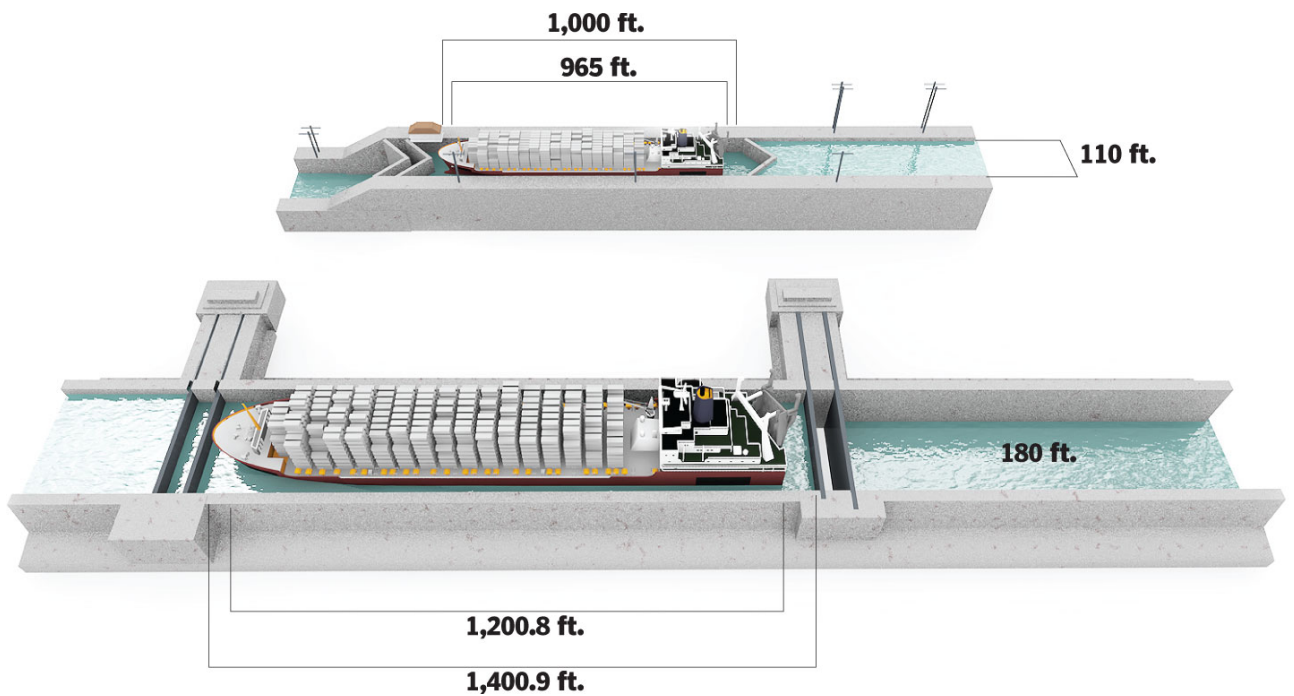


Εικόνα 10: Πύλες σε σχήμα “V”

³⁰ Panama Canal Authority (n.d). *Design of the Locks*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

Επέκταση³¹

Οι καινούριοι θάλαμοι αποτελούνται από 16 κυλιόμενες πύλες που κινούνται μέσω εσοχών, κάθετες στους θαλάμους. Ο διαφορετικός αυτός τρόπος λειτουργίας, αποφέρει οικονομικά οφέλη στην Αρμόδια Αρχή καθώς, σε μία τυχόν επισκευή μίας εκ των πυλών, δεν θα ήταν απαραίτητη η διακοπή της λειτουργίας της διώρυγας. Αυτό συμβαίνει διότι σε μία τέτοια περίπτωση, η πύλη προς επισκευή θα επιστρέψει στην εσοχή και η κυκλοφορία θα εξακολουθήσει να ρέει.



Εικόνα 11: Διαφορές των πυλών μεταξύ της διώρυγας του Παναμά και της επέκτασής της

³¹ Panama Canal Authority (n.d.). *Frequently asked Questions*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://micanaldepnana.com/expansion/faq/>

2.10.3 Τρόπος ρυμούλκησης

Διώρυγα

Η διώρυγα λειτουργεί με ηλεκτρικό σύστημα οχημάτων ρυμούλκησης, που σχεδιάστηκε για να παρέχει τον πλήρη έλεγχο της μετακίνησης των πλοίων που διέρχονται στους θαλάμους. Αυτά κινούνται σε σιδηροδρόμους πάνω στους τοίχους των θαλάμων, με ταχύτητα περίπου 2 μίλια την ώρα και συνδέονται με το πλοίο μέσω των συστημάτων ρυμούλκησης.



Εικόνα 12: Οχήματα ρυμούλκησης στη διώρυγα του Παναμά

Επέκταση

Στην επέκταση ο τρόπος ρυμούλκησης διαφέρει, και στην ουσία, αυτός είναι ο λόγος που γίνεται η εργασία αυτή. Η επέκταση της Διώρυγας του Παναμά είναι βασικός συντελεστής της παγκόσμιας οικονομίας, και το πρόγραμμα που ακολουθήθηκε δεν είχε περιθώρια λάθους.³²Υστερα από μελέτες κρίθηκε πως η μεταστροφή σε πλοία ρυμούλκησης (*tug ships*) ήταν η καλύτερη λύση για την διέλευση των πλοίων από το κανάλι. Λαμβάνοντας υπόψιν το μέγεθος των πλοίων, των πυλών καθώς και της κλίσης που έχουν τα τοιχώματα των θαλάμων, η ανάθεση της διαδικασίας ρυμούλκησης σε ηλεκτρικά τρένα δεν θεωρήθηκε ασφαλής. Το μέγεθος και το βάρος των πλοίων τύπου “*New Panamax*” καθιστά τα ρυμουλκά πλοία ασφαλέστερα, αποτελεσματικότερα αλλά και πιο οικονομικά.



Εικόνα 13: Ρυμούλκηση πλοίου στην επέκταση της διώρυγας του Παναμά

³² W. Bogdanich, J. Williams & A. G. Mendez (2016). *The New Panama Canal: A Risky Be.* *The New York Times*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://www.nytimes.com/interactive/2016/06/22/world/americas/panama-canal.html>

2.11 Απαιτήσεις συστημάτων πρόσδεσης Αρμόδιας Αρχής Παναμά για την διέλευση από την επέκταση της Διώρυγας

Για την ασφάλεια του πλοίου, των εμπορευμάτων, του περιβάλλοντος αλλά πάνω απ' όλα του ανθρώπινου δυναμικού, η Αρμόδια Αρχή του Παναμά έχει δημοσιοποιήσει όρια και απαιτήσεις, που πρέπει να τηρούνται αυστηρά από τα πλοία που θέλουν να διασχίσουν τη διώρυγα. Το σύστημα πρόσδεσης και αγκυροβολίας, είναι ένας από τους πιο σημαντικούς μηχανισμούς, ο οποίος πρέπει να πληροί τους όρους της Αρχής για την αποφυγή ατυχημάτων αλλά και για να μπορούν τα πλοία ρυμούλκησης να κατευθύνουν το σκάφος ώστε να περάσει από τους θαλάμους χωρίς επιπλοκές.

Δεν επαρκεί ένα πλοίο να τηρεί τα όρια των διαστάσεων αλλά θα πρέπει να συμμορφώνεται και με τους κανονισμούς που αναφέρουν τα είδη των ενισχυτικών που θα πρέπει να φέρει. Οι δυνάμεις που ασκούνται στα συστήματα αυτά είναι πολύ μεγάλες και γι' αυτό το λόγο γίνονται μελέτες οι οποίες αποφαινόνται για τον τρόπο κατασκευής τους, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τα σημεία που αυτά θα πρέπει να είναι τοποθετημένα. Αυτά αναφέρονται παρακάτω:

Μέγιστο Μήκος (*Maximum Length*)

- Το μέγιστο επιτρεπόμενο συνολικό μήκος, συμπεριλαμβανομένου του bulbous bow, για εμπορικά ή μη εμπορικά πλοία, για την ομαλή διέλευση από την Διώρυγα του Παναμά είναι 366 μέτρα. Τα πλοία που θέλουν να περάσουν από τη διώρυγα για πρώτη φορά από την στιγμή κατασκευής τους ή οποιασδήποτε τροποποίησής τους, υπόκεινται σε επιθεώρηση και τα σχέδιά τους μελετώνται από την "ACP". Τα πλοία που δεν έχουν πάρει εκ των προτέρων έγκριση ή δεν συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις αυτές, ενδεχομένως να υποστούν καθυστερήσεις ή και απαγόρευση της διέλευσής τους από τη διώρυγα.

- Το μέγιστο επιτρεπτό ολικό μήκος για τη διέλευση μη αυτοπροωθούμενων πλοίων είναι 305 μέτρα, συνυπολογιζόμενων των ρυμουλκό που θα συνοδεύουν το εκάστοτε πλοίο.

Μέγιστο πλάτος (*Maximum Beam*)

- Το μέγιστο επιτρεπτό πλάτος για εμπορικά ή μη εμπορικά πλοία για την ομαλή διέλευση τους είναι 49 μέτρα. Το μήκος αυτό αναφέρεται στο εξωτερικό περίβλημα της γάστρας, συνυπολογιζόμενων των όποιων προεξεχόντων τμημάτων που βρίσκονται χαμηλότερα του ύψους των τοιχωμάτων του εκάστοτε θαλάμου.
- Το μέγιστο επιτρεπτό πλάτος για τη διέλευση μη αυτοπροωθούμενων πλοίων είναι 36,5 μέτρα.
- Πλοία που μεταφέρουν φορτίο που είναι τοποθετημένο 2,5 εκατοστά ή λιγότερο από το μέγιστο πλάτος, θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με εγκεκριμένα μέτρα ασφαλείας για την προστασία, όπως περιζώματα ασφαλείας.

Προεξοχές (*Protrusions*)

- Οτιδήποτε εξέρχει πέρα από τη γάστρα του πλοίου, εκτός των βασικών αγκυρών, θα θεωρείται προεξοχή και υπόκεινται σε όλους τους σχετικούς κανονισμούς και οριοθετήσεις.
- Οι Αρχές του Καναλιού του Παναμά (*ACP*) δεν φέρουν καμία ευθύνη για τυχόν ζημιές προεξοχών, είτε αυτές είναι μόνιμες ή επισκευάσιμες.
- Η διέλευση των πλοίων με προεξοχές μπορεί να γίνει αποδεκτή υπό την προϋπόθεση ότι οι προεξοχές αυτές δεν παρεμβαίνουν στην ασφαλή διέλευση του πλοίου αλλά ούτε θα προκαλέσουν τυχόν ζημιές στις υποδομές ή στα εξαρτήματα του καναλιού. Πριν τη είσοδο του πλοίου στο κανάλι ο υπεύθυνος του πλοίου πρέπει να συμπληρώσει μια φόρμα, με την οποία απαλλάσσει και από την ευθύνη την αρμόδια Αρχή σε περίπτωση ατυχήματος ή βλάβης που υπέστη το πλοίο και οφειλόταν σε αυτές τις προεξοχές.
- Προεξοχές ή φορτίο που εξέρχει πέρα από την εξωτερική πλευρά του πλοίου, και βρίσκονται 16,85 μέτρα άνω της “*waterline*” δεν θα γίνονται δεκτές. Όμως

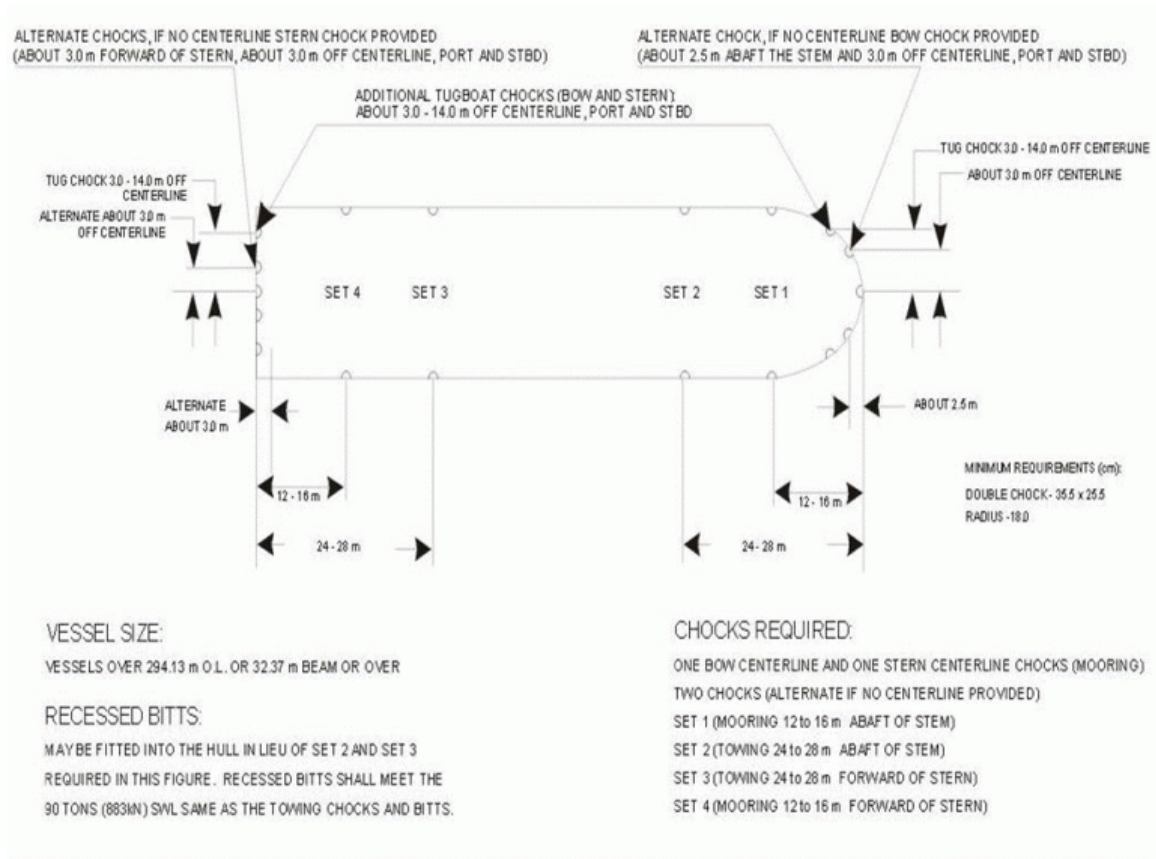
προεξοχές που περνάνε μέχρι και 4 μέτρα τη γάστρα και βρίσκονται ψηλότερα της “waterline” κατά τουλάχιστον 16,85 μέτρα θα μελετώνται ατομικά για να διαπιστωθεί πως τηρείται η ελάχιστη απόσταση των 1000 χιλιοστών από όλα τα εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω από τα τοιχώματα του εκάστοτε θαλάμου.

Βύθισμα (Draft)

- Το μέγιστο επιτρεπτό βύθισμα για την διέλευση από το Κανάλι έχει οριοθετηθεί στα 15,2 μέτρα “Tropical Fresh Water” εφόσον το επίπεδο του νερού της λίμνης “Gatun” είναι 25,91 μέτρα ή υψηλότερο. Το νερό της λίμνης “Gatun” έχει πυκνότητα $0,9954 \text{ tons/m}^3$ στους 29,4 °C. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται ένα ασφαλές περιθώριο τουλάχιστον 1,52 μέτρων για κρίσιμη ανύψωση (*elevation*) και μία απόσταση τουλάχιστον 3,05 μέτρα άνω των “lock sills”.

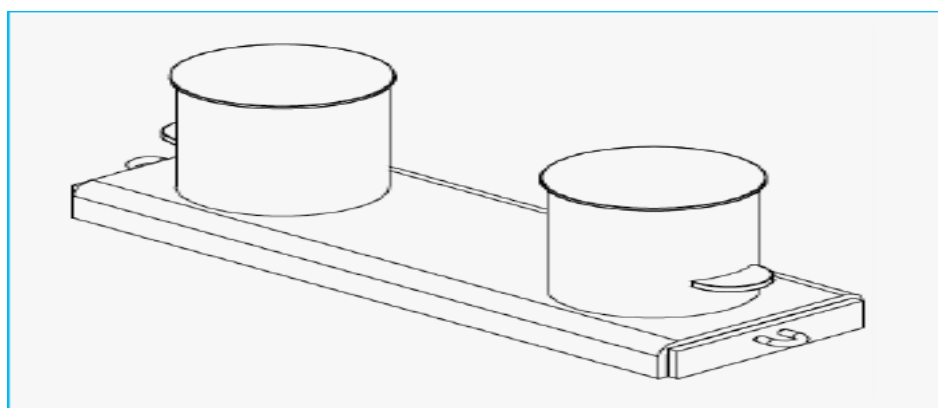
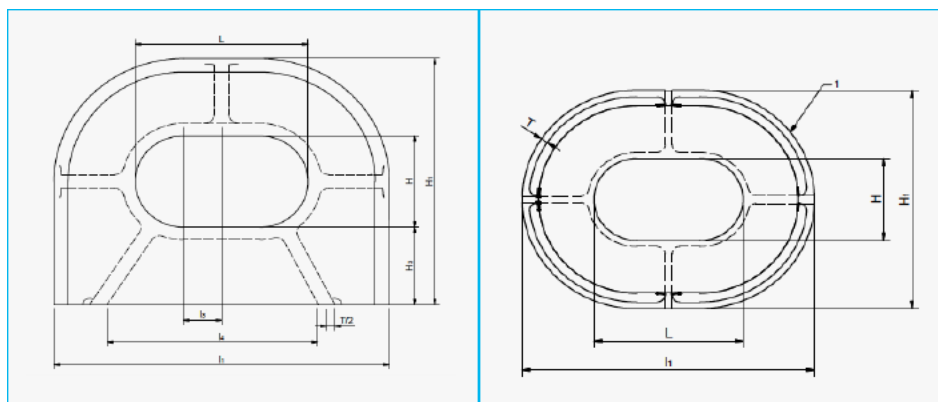
Κατασκευή, αριθμός και τοποθεσία των μπιτών και chocks:

- Οι απαιτήσεις πρόσδεσης, όπως αναφέρονται στο “OP Notice to Shipping No. N-1” θα παραμείνουν άθικτες για τα πλοία τύπου “Panamax”. Για τα πλοία τύπου “Panamax Plus” και “New Panamax” οι κανονισμοί προβλέπονται στην ανανεωμένη έκδοση των κανονισμών. Συγκεκριμένα, τα “chock” και οι μπίτες θα χρησιμοποιούνται από τα ρυμουλκό της “ACP” κατά τη διαδικασία εισόδου των βαποριών από τις καινούργιες πύλες, αλλά και την ρυμούλκηση τους εντός αυτών. Πλοία άνω των 294,13 μέτρων μήκους ή 32,31 μέτρα πλάτους υποχρεούνται να διαθέτουν διπλό “chock” στην μεριά του “stem” και “stern” ή δύο διπλά “chock” σε “bow & stem”, πλώρη και πρύμνη. Απαγορεύεται αυτά να βρίσκονται 2,5 μέτρα πίσω του “stem” και 3 μέτρα μπροστά του “stem” καθώς και να μην υπερβαίνουν τα 3 μέτρα απόσταση από τη “Center Line”. Επιπροσθέτως, τα πλοία αυτά θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με διπλά “chock” σε πλώρη και πρύμνη, μεταξύ 2,5 και 16 μέτρων πίσω του “stem” και 3 με 16 μπρος του “stern”. Αυτά είναι τα “SET1 & SET2” αντίστοιχα.



- Για τα πλοία τύπου “Panamax Plus” και “New Panamax” η νομοθεσία προβλέπει την αποκλειστική χρήση διπλών “chock” με άνοιγμα στην περιοχή του λαιμού μεγαλύτερο των 900 cm^2 . Αυτά πρέπει να είναι ικανά να αντέχουν 90 τόνους (883 kN) “SWL” κατά τη διαδικασία ρυμούλκησης και 64 τόνους (628 kN) σε αυτή της αγκυροβολίας από οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- Πλοία τύπου “Panamax Plus” και “New Panamax” πρέπει να έχουν επιπλέον “tugboat chocks” τοποθετημένα σε “bow & stem” περίπου 3 με 14 μέτρα απόσταση από την “Center Line”, πλώρα και πρύμνα. Το κάθε ένα από αυτά τα διπλά “chock” συνοδεύονται από ένα ζευγάρι βοηθητικών “heavy bits” με προτεινόμενη διάμετρο 500 χιλιοστών, και κάθε μπίτα θα πρέπει να αντέχει στη καταπόνηση που προκαλείται από “SWL” 90 τόνων (883 kN). Τα “SET2 & SET3” επίσης χρειάζονται ένα ζευγάρι “heavy bits” με την κάθε μπίτα να αντέχει “SWL” 90 τόνων (628 kN).

- Πλοία με μεγάλο μήκος “*flared bows*” ή ασυνήθιστα ψηλό “*freeboards*” όπως “*LNG*”, “*containers*”, κρουαζιερόπλοια και τύπου “*RoRo*” θα πρέπει να έχουν κλειστού τύπου “*chocks*” τοποθετημένα πίσω/μπροστά αντίστοιχα από αυτά που απαιτούνται από τα “*SET2 & SET3*” που αναφέρθηκαν παραπάνω για την σωστή τοποθέτηση των ρυμουλκώ. Τα πλοία αυτά πιθανώς να χρειάζεται να προσθέσουν ενσωματωμένα “*tug bollards*” στη γάστρα αντί των “*chocks*” που περιγράψαμε παραπάνω στην ίδια παράγραφο, έτσι ώστε τα ρυμουλκώ πλοία να μπορούν να δουλέψουν χωρίς να έρθουν σε επαφή με τα “*flare*” ή “*counter*” και επίσης χωρίς να χρειάζονται μεγάλους μήκους γραμμές ή/και αναποτελεσματικά καλώδια.
- Η χρήση υπαρχόντων “*roller chocks*” στα βαπόρια θα αξιολογείται για την έγκρισή της κατά την διέλευση από το κανάλι, κατόπιν αιτήσεως. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει έλεγχο των “*roller chocks*” για το εάν:
 1. βρίσκονται σε απόσταση όχι μικρότερη των 16,24 μέτρων άνω της “*Water Line*” κατά το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα του πλοίου που προβλέπεται για το κανάλι του Παναμά
 2. βρίσκονται σε καλή κατάσταση
 3. συμφωνούν με τις προαναφερθείσες απαιτήσεις περί κλειστού τύπου “*chocks*”
 4. είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η μετάβαση από τα “*roller*” στον κορμό του “*chock*” να αποτρέπει τυχόν βλάβη στα “*mooring lines*”.



Εικόνα 14: πάνω δεξιά “Deck Chock”, πάνω αριστερά “Bulwark Chock”, στη μέση “Double Chock” και κάτω το “Safe Working Load”

3

ΜΕΛΕΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων και η χρήση της στην ναυπηγική. Τα προγράμματα που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο ποικίλουν, όμως στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το πρόγραμμα “ANSYS” καθώς είναι και το περιβάλλον στο οποίο σχεδιάστηκε η κατασκευή που μελετάται. Επιπλέον γίνεται επεξήγηση των σταδίων που απαιτούνται για την σχεδίαση ενός μοντέλου και δίνεται έμφαση στις ιδιαιτερότητες των ναυπηγικών κατασκευών. Ο προσδιορισμός των τάσεων και των παραμορφώσεων σε τέτοιου είδους κατασκευές είναι μία δύσκολη διαδικασία και απαιτεί δεξιότητες από το χρήστη για την ορθή διαχείριση των προγραμμάτων αυτών.

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τον *Reddy*, η αριθμητική προσομοίωση φυσικών φαινομένων και διαδικασιών μπορεί να γίνει με χρήση κάποιων υποθέσεων αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας της κάθε διαδικασίας και την υιοθέτηση μιας σειράς νόμων που διέπουν το πρόβλημα και αναπαράγονται με έναν μεγάλο αριθμό σύνθετων μαθηματικών εξισώσεων.

Η ανάλυση μιας κατασκευής συνιστάται στον προσδιορισμό των μεγεθών τάσης και παραμόρφωσης που αναπτύσσονται σε αυτή λόγω των εξωτερικών δυνάμεων που

αναπτύσσονται. Οι πρώτες προσπάθειες των μηχανικών για την επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων δεν ήταν ενθαρρυντικές. Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτό το σκοπό δεν κατάφεραν να επιφέρουν αξιόπιστα αποτελέσματα ιδίως σε πολύπλοκες κατασκευές. Για τον λόγο αυτό ήταν αναγκαίο να γίνουν απλοποιήσεις και παραδοχές ως προς τη μορφολογία και ως αποτέλεσμα ο πειραματικός έλεγχος ήταν αναγκαίος για την τελική εκτίμηση της αξιοπιστίας. Χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας όμως, τα προγράμματα που εξειδικεύονται στην επίλυση των προβλημάτων αυτών έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό όπου μεγάλο μέρος της μελέτης πραγματοποιείται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες³³. Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι έννοιες και η χρήση της μεθόδου επίλυσης που χρησιμοποιείται. Ονομάζεται μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων και πρόκειται για μία προσεγγιστική αριθμητική μέθοδο επίλυσης διαφορικών εξισώσεων.

3.2 Η ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Π.Σ.)

Η χρήση των πεπερασμένων στοιχείων γίνεται όλο και πιο συχνή λόγω της απλούστευσης της χρήσης των προγραμμάτων αλλά και των εξελιγμένων πια δυνατοτήτων τους. Η αριθμητική ανάλυση απαιτείται όταν η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέσω αναλυτικών μεθόδων δεν επαρκεί. Η χρήση όμως των προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων απαιτεί ορισμένα στοιχεία χωρίς τα οποία η μελέτη δεν μπορεί να θεωρηθεί ακριβής. Η λεπτομερής μορφολογία της κατασκευής, οι πληροφορίες σχετικά με τις φορτίσεις που αναπτύσσονται και η αξιοπιστία του προγράμματος είναι οι βασικοί παράγοντες που κάθε χρήστης πρέπει να λαμβάνει υπόψιν.

Στη ναυπηγική, η χρήση των προγραμμάτων αυτών χρησιμοποιείται κυρίως ως προς τον έλεγχο της συμπεριφοράς της κατασκευής για λογαριασμό του πλοιοκτήτη. Τέτοιου είδους μελέτες, λόγω του βαθμού δυσκολίας και της εξαιρετικά μεγάλης σημασίας τους, προϋποθέτουν από τον χρήστη εξειδικευμένες γνώσεις. Στον τομέα αυτό οι ναυπηγοί

³³ Κ. Μπάιλας (2010). *Διπλωματική εργασία (Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων γεωμετρικής βελτιστοποίησης μεταξύ δύο εμπορικών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου

θεωρούνται οι καταλληλότεροι λόγω της οικειότητάς τους με τις ναυπηγικές κατασκευές και τον τρόπο συμπεριφοράς τους αλλά και λόγω της πείρας τους με τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η ανάλυση της κατασκευής είναι από μόνη της μία μελέτη μεγάλης σημασίας και οι ευθύνες των ναυπηγών ακόμα μεγαλύτερες. Για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των μελετών έχουν συνταχθεί πολλά κείμενα, κανονισμοί και απαιτήσεις για διάφορες περιπτώσεις. Ο εκάστοτε χρήστης που θα προχωρήσει σε τέτοιου είδους μελέτη θα πρέπει να τα συμβουλευτεί για την αποφυγή λάθους εκτιμήσεων. Αποτελέσματα αμφίβολης ακρίβειας ή χαμηλής αξιοπιστίας είναι χειρότερα από την μη εκπόνηση της μελέτης³⁴.

3.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ “ANSYS”

Το “ANSYS” είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων γενικού σκοπού. Εμπορεύεται λογισμικό ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για προσομοίωση προβλημάτων μηχανικής. Υποστηρίζει έναν αλγόριθμο σχεδιαστικής βελτιστοποίησης, ο οποίος μπορεί να προσδιορίσει τον βέλτιστο σχεδιασμό μια κατασκευής, δηλαδή ένα σχεδιασμό που ανταποκρίνεται στις σχεδιαστικές απαιτήσεις και συγχρόνως ικανοποιεί την ελαχιστοποίηση παραμέτρων όπως το βάρος, την επιφάνεια, τον όγκο, την τάση κ.α. Έχει την δυνατότητα επίλυσης στατικών και δυναμικών προβλημάτων ροής ρευστών, ανάλυσης κατασκευών, μετάδοσης θερμότητας, ακουστικής, ηλεκτρισμού και ηλεκτρομαγνητισμού. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο ένα προϊόν θα λειτουργεί με διαφορετικές προδιαγραφές, χωρίς να κατασκευάζει δοκιμαστικά προϊόντα ή να διεξάγει δοκιμές συγκρούσεων³⁵.

³⁴ Π. Καρύδης (n.d.). Υπολογιστικές Μέθοδοι και Εφαρμογές σε Ναυπηγικές Κατασκευές. (Ε.Μ.Π)

³⁵ Ansys official site. Ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα <https://www.ansys.com/about-ansys> (Μάιο του 2018)

3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων πήρε το όνομά της από τον τρόπο θεώρησης και προσομοίωσης (μοντελοποίησης) των προς επίλυση φορέων (κατασκευών). Το πρώτο βήμα συνίσταται στην υποδιαίρεση και διάσπαση του αρχικού φορέα σε ένα μικρότερο ή μεγαλύτερο πλήθος στοιχείων πεπερασμένων διαστάσεων, ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια αποτελεσμάτων³⁶. Τα στοιχεία αυτά έχουν κοινά σημεία τις κορυφές τους που ονομάζονται κόμβοι. Δημιουργείται έτσι, ένα σύμπλεγμα στοιχείων, που μαζί συνθέτουν τον φορέα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διακριτοποίηση, και τα επιμέρους στοιχεία αποσπώνται και εξετάζονται ατομικά. Αφού μελετηθεί η μηχανική συμπεριφορά του κάθε στοιχείου ακολουθεί η επανασύνδεση των στοιχείων ως προς τον σχηματισμό του διακριτοποιημένου φορέα.

Συνοπτικά, τα βήματα για τον υπολογισμό των τάσεων σε ένα σώμα με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων είναι:

- **Κατασκευή γεωμετρίας.**
- **Βελτιστοποίηση κατασκευής.**
- **Διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία και επιβολή των οριακών συνθηκών.**
- **Μελέτη κατασκευής.**

Η μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων είναι προσεγγιστική. Αρχικά φορέας διασπάται σε ένα ασυνεχές πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων. Ο αριθμός των στοιχείων επηρεάζει άμεσα τα αποτελέσματα. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των στοιχείων, τόσο ακριβέστερα θα είναι τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Η καλύτερη ανάλυση του φορέα όμως υποχρεώνει τον

³⁶ Κ. Μπάιλας (2010). *Διπλωματική εργασία (Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων γεωμετρικής βελτιστοποίησης μεταξύ δύο εμπορικών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου

ηλεκτρονικό υπολογιστή να χρησιμοποιήσει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και ως αποτέλεσμα ο χρόνος υπολογισμού των αποτελεσμάτων αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό στις ναυπηγικές κατασκευές οι οποίες χαρακτηρίζονται από πολύπλοκη μορφολογία. Η Μ.Π.Σ. είναι από την φύση της πολύ δαπανηρή σε πόρους ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ο χωρισμός του σώματος μπορεί να αυξάνει την ακρίβεια αλλά καθιστά την ανάλυση πολύ αργή στην περίπτωση πολύπλοκων σωμάτων. Είναι λοιπόν αναγκαίο να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στην ακρίβεια και στον χρόνο υπολογισμού. Η επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιείται με ελεγχόμενη διακριτοποίηση του μοντέλου. Στα σημεία δηλαδή, όπου παρατηρείται αυξημένη τάση, διαμορφώνεται πυκνό σύμπλεγμα, ενώ αντιθέτως στις περιοχές που δεν ενδιαφέρουν ως προς την αντοχή του σώματος προτιμάται αραιά διακριτοποίηση.

3.5 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης προσδιορίζει τον βέλτιστο σχεδιασμό της κατασκευής μέσω αλγορίθμου του εκάστοτε προγράμματος. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτός ο προσδιορισμός κάποιων παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε³⁷:

- **Σχεδιαστικές μεταβλητές (design variables):** αυτές είναι ανεξάρτητες ποσότητες, οι οποίες μπορούν να μεταβληθούν για να πετύχουμε τον βέλτιστο σχεδιασμό. Συνήθως δίνουμε μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή για κάθε σχεδιαστική μεταβλητή.
- **Μεταβλητές κατάστασης (state variables):** αυτές είναι ποσότητες που περιορίζουν τον σχεδιασμό και είναι γενικά εξαρτημένες μεταβλητές που υπολογίζονται από την ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Μια μεταβλητή κατάστασης μπορεί να έχει ένα ελάχιστο ή/και ένα μέγιστο όριο.

³⁷ Κ. Μπάιλας (2010). *Διπλωματική εργασία (Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων γεωμετρικής βελτιστοποίησης μεταξύ δύο εμπορικών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Παράδειγμα τέτοιας μεταβλητής είναι η μέγιστη τάση σε μια κατασκευή να μην μπορεί να υπερβεί μια συγκεκριμένη τιμή (την αντοχή του υλικού).

- **Αντικειμενική συνάρτηση (objective function):** αυτή είναι η ποσότητα που προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε για να επιτύχουμε τον βέλτιστο σχεδιασμό. Τέτοιες ποσότητες είναι το κόστος, ο όγκος, η επιφάνεια ή η τάση.

3.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η έννοια «ιδιότητες υλικών» υποδηλώνει τον καθορισμό των υλικών από τα οποία αποτελείται η κατασκευή καθώς οι ιδιότητες τους παίζουν καθοριστικό ρόλο. Οι σημαντικότεροι παράμετροι που προσαρμόζονται ανάλογα με το υλικό είναι³⁸:

- **Το μέτρο ελαστικότητας υλικού.**
- **Η πυκνότητα υλικού** από την οποία μπορεί το πρόγραμμα να καθορίσει τη μάζα των δομικών στοιχείων του φορέα.
- **Το ειδικό βάρος υλικού** (λαμβάνεται ίσο με την πυκνότητα επί την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας) από το οποίο μπορεί το πρόγραμμα να καθορίσει το βάρος των δομικών στοιχείων του φορέα.
- **Ο συντελεστής Poisson.**
- **Ο συντελεστής θερμικής διαστολής** (ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση που δίνονται θερμοκρασιακές μεταβολές ως φορτία).

3.7 ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΣΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΒΟΛΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Στο συγκεκριμένο στάδιο ο χρήστης καλείται να εισάγει πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των διατομών. Αναλυτικότερα, μέχρι και τώρα οι διατομές των στοιχείων από

³⁸ Ε. Κίρτας & Γ. Παναγόπουλος (2015). Εισαγωγή σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

τα οποία απαρτίζεται ο φορέας δεν έχουν καθοριστεί ως προς ορισμένα μεγέθη τα οποία μπορεί να είναι το μήκος ή το ύψος. Δουλειά του χρήστη είναι να αποδώσει τα χαρακτηριστικά που επιθυμεί έτσι ώστε ο το πρόγραμμα να καταλάβει την παρουσία της κατασκευής στον χώρο. Ο ορισμός των οριακών συνθηκών είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας καθώς ανάλογα με το είδος της κατασκευής ο χρήστης μπορεί να επιθυμεί να προσδώσει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Οριακές συνθήκες αποτελούν μετατοπίσεις, περιστροφές, θερμοκρασία, ροή θερμότητας κ.ο.κ

3.8 ΦΟΡΤΙΑ

Όπως και στην πραγματικότητα έτσι και στο περιβάλλον ενός προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ο φορέας δέχεται κάποιες φορτίσεις. Στα προγράμματα αυτά ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τον τύπο του φορτίου που θέλει να ασκήσει (μόνιμα, κινητά, σεισμικά, θερμοκρασιακές μεταβολές κτλ.) καθώς και συνδυασμό φορτίσεων. Ο τρόπος επιβολής των φορτίων της κάθε κατηγορίας, όπως και οι μεταξύ τους συνδυασμοί, συνήθως προδιαγράφονται αναλυτικά στους Κανονισμούς, ειδικά όσον αφορά ειδικές κατηγορίες φόρτισης όπως η σεισμική καταπόνηση του φορέα³⁹.

3.9 ΚΡΙΤΗΡΙΟ “VON MISES”

Η θεωρία της στροφικής ενέργειας είναι γνωστή και ως κριτήριο διαρροής “*Von Mises*” και αποτελεί ένα κριτήριο αστοχίας. Κατά τον “*Von Mises*”, «η διαρροή ενός όλκιμου υλικού που βρίσκεται υπό την επίδραση σύνθετης εντατικής κατάστασης αρχίζει, όταν η στροφική ενέργεια, η οποία αναπτύσσεται από αυτή την εντατική κατάσταση, γίνει ίση με την αντίστοιχη στροφική ενέργεια που αναπτύσσεται κατά τη διαρροή του υλικού από καθαρό εφελκυσμό». Ως στροφική ενέργεια ορίζεται εκείνη που οφείλεται σε αλλαγές μόνον του σχήματος του παραμορφωμένου σώματος, και όχι του όγκου του. Ο τύπος του κριτηρίου είναι:

³⁹ Ε. Κίρτας & Γ. Παναγόπουλος (2015). Εισαγωγή σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]}$$

Το κριτήριο αυτό χρησιμοποιείται σε προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων με σκοπό την εύρεση των διατμητικών τάσεων που προσεγγίζουν τις κανονικές. Παράλληλα η χρήση αυτού αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο για τους μηχανικούς και ενδείκνυται κυρίως για χαλύβδινες κατασκευές.

4

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία εκτενέστερη αναφορά στα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της μελέτης. Τα βήματα αυτά έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας περιγράφονται από τη πλευρά των χρηστών. Αρχικά καταγράφεται η σχεδίαση της κατασκευής στο πρόγραμμα “Rhinceros 3D” και έπειτα δίνονται πληροφορίες για το περιβάλλον του λογισμικού “ANSYS”. Σημαντικό μέρος του κεφαλαίου είναι τα στάδια επίλυσης, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς και ο τρόπος αντιμετώπισής τους. Η διαδικασία της αποτύπωσης των εργασιών που εκτελέστηκαν παρουσίασε δυσκολίες και γι’ αυτό προτρέπονται οι αναγνώστες να συμβουλευτούν τους συγγραφείς για τυχόν απορίες.

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο καταλληλότερος τρόπος μελέτης της αντοχής ενός πλοίου είναι με τη βοήθεια προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων. Η σχεδίαση της κατασκευής επιτεύχθηκε με το πρόγραμμα τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης “Rhinceros”, λόγω της εξοικείωσης των χρηστών με το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Σε επόμενο στάδιο έγινε η μεταφορά της γεωμετρίας σε διαφορετικό

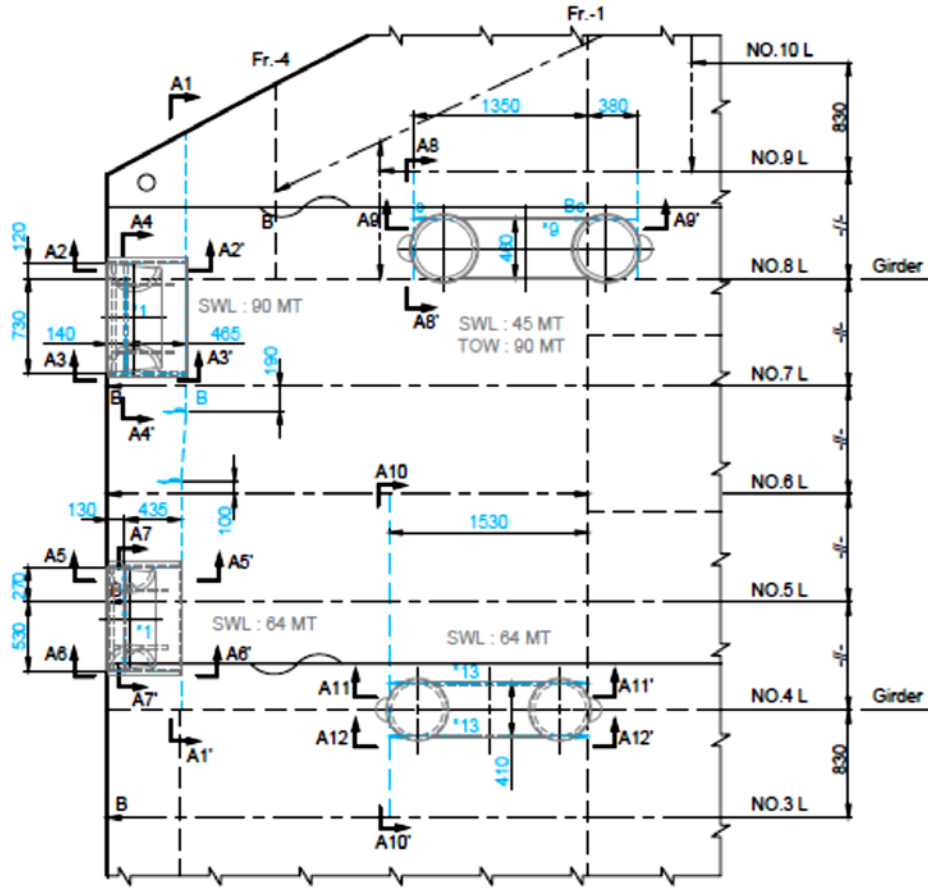
προγραμματιστικό περιβάλλον. Η μετάβαση στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων “ANSYS” δημιούργησε κάποια προβλήματα τα οποία έχουν καταγραφεί και περιγράφονται αναλυτικά. Με βάση τη φύση των προγραμμάτων, παρόμοιες μελέτες, αλλά και με την καθοδήγηση του επιβλέποντα καθηγητή κρίθηκε πως η σχεδίαση και η ανάλυση ενός μέρους της πρύμνης είναι αρκετή για την ορθή εκλογή αποτελεσμάτων. Η ανάλυση με βάση την οποία πάρθηκαν τα αποτελέσματα χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και είναι βασικός δείκτης της ποιότητας της εργασίας. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε ταξινόμηση των βασικότερων βημάτων που ένας χρήστης προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων προτρέπει να ακολουθήσει. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των βημάτων αυτών μέσα από τα μάτια των χρηστών για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

4.2 ΣΤΑΔΙΟ 1^ο: Κατασκευή γεωμετρίας

Η κατασκευή της γεωμετρίας μπορεί να σχεδιαστεί σε πρόγραμμα σχεδίασης και όχι απαραίτητα σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων. Στη συγκεκριμένη εργασία η κατασκευή της γεωμετρίας έγινε στο πρόγραμμα “*Rhinoceros 3D*”. Η εισαγωγή της στο λογισμικό του προγράμματος “ANSYS” γίνεται με τη μορφή αρχείου *.igs. Αναλυτικότερα, το στάδιο της μοντελοποίησης γίνεται στον προεπεξεργαστή του προγράμματος “Rhino” το οποίο είναι συμβατό με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων. Το αρχείο αυτό ονομάζεται ουδέτερο αρχείο.

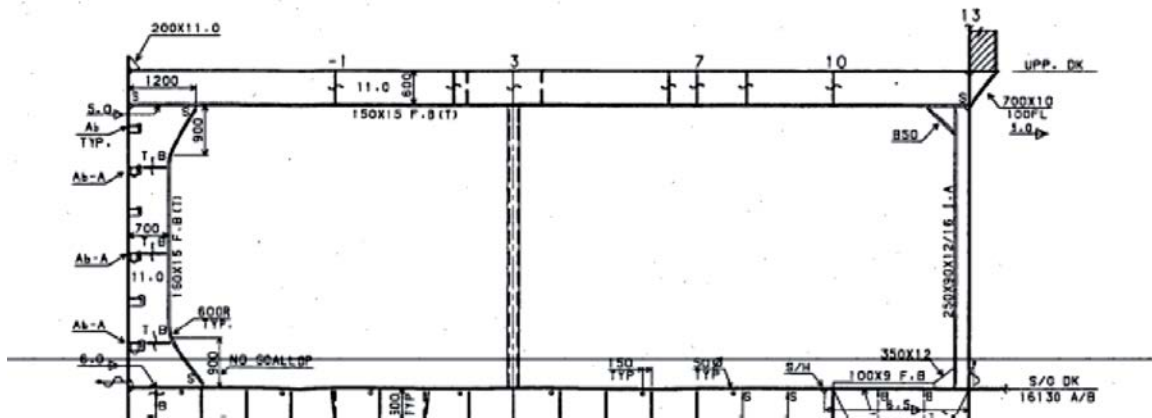
Η απόφαση αυτής της επιλογής έγινε λόγω των ευρύτερων γνώσεων του σχεδιαστικού προγράμματος “Rhino” από τους χρήστες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην διαδικασία μεταφοράς των στοιχείων από το ένα πρόγραμμα στο άλλο, καθώς σε περίπτωση λανθασμένης εισαγωγής η επιδιόρθωση της γεωμετρίας είναι απαραίτητη.

Η πρώτη επαφή περιλάμβανε τη κατανόηση του σχεδίου και των λεπτομερειών που περιείχε αυτό. Μετά τον προσδιορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών, συνέχεια είχε η αποτύπωση του καταστώματος στο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης “*Rhinoceros 3D*”.



Εικόνα 15: Κάτοψη μέρους της πρύμνης με τα νέα ενισχυτικά

Με βάση τα σχέδια του πλοίου φαίνεται πως η πρύμη είναι μία κατασκευή με πολύπλοκη γεωμετρική μορφολογία, μεγάλο αριθμό ελασμάτων, ενισχυτικών και άλλων στοιχείων.



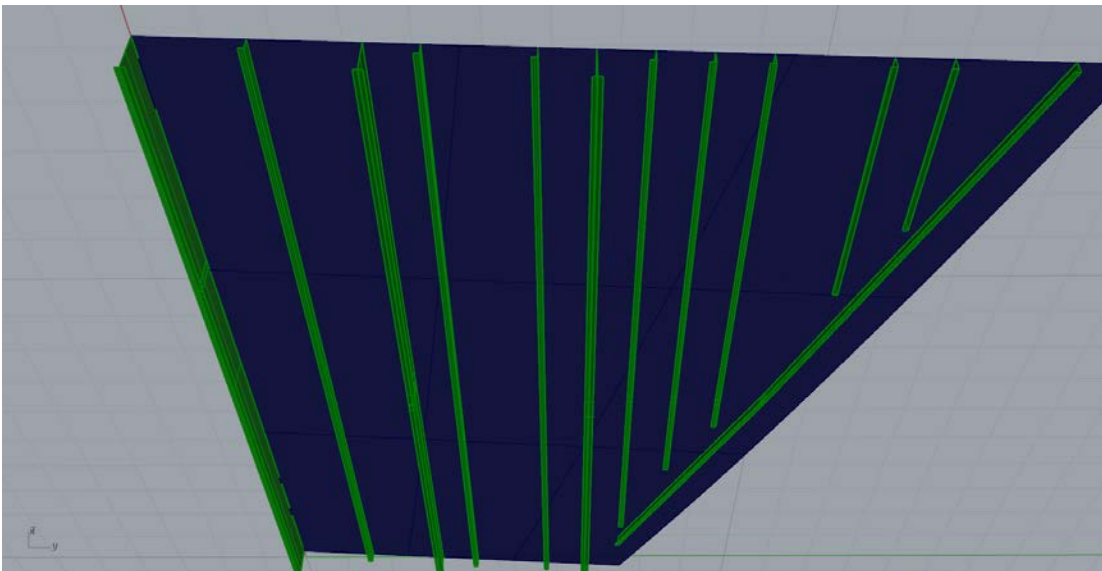
Εικόνα 16: Τομή της πρύμνης χωρίς ενίσχυση

Η πρώτη ενέργεια από τη μεριά των χρηστών περιλαμβάνει την αποτύπωση των βασικών διαστάσεων από το σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου στο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης. Με στόχο την απλούστευση της διαδικασίας και ταυτόχρονα την αποφυγή σφαλμάτων καθορίστηκε ένα σημείο ως κέντρο αναφοράς για την μοντελοποίηση της κατασκευής. Συγκεκριμένα, το σημείο αυτό βοήθησε στον ορισμό των αποστάσεων μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν το πλοίο.

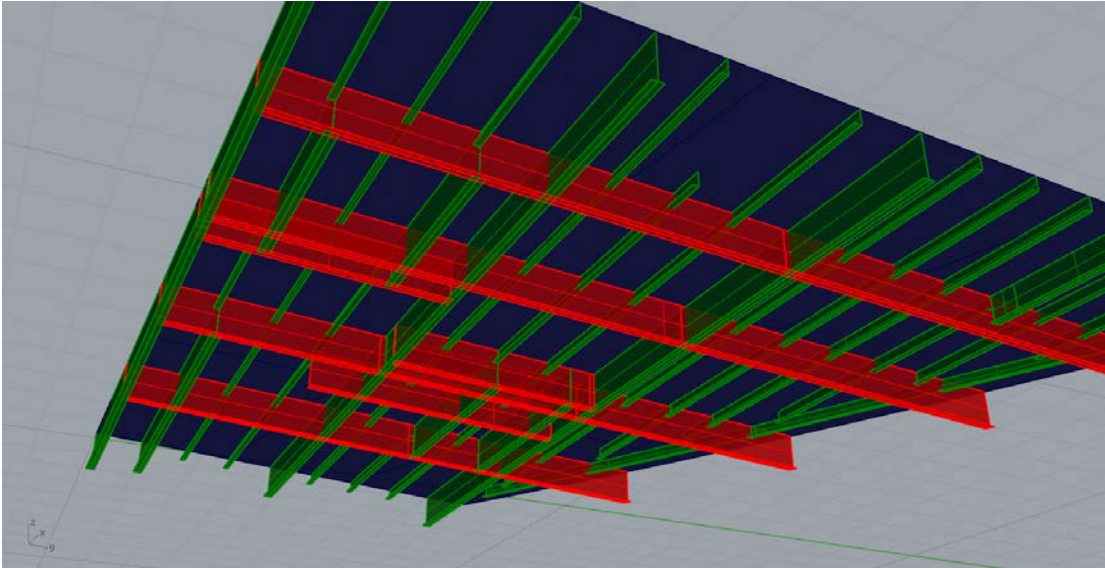
Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η σχεδίαση των συμπληρωματικών ενισχυτικών στα συστήματα πρόσδεσης και αγκυροβολίας έγινε μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης του αρχικού σχεδίου. Αυτό διότι απαιτείται η πλήρης συναρμογή μεταξύ αυτών και των προυπαρχόντων ενισχυτικών.

Το έλασμα του καταστρώματος ήταν η πρώτη επιφάνεια που σχεδιάστηκε. Παρατηρείται πως το κατάστρωμα του πλοίου φέρει κλίση 3° . Ακολούθησε η σχεδίαση των εγκάρσιων και διαμήκων ενισχυτικών που φέρουν ομοιόμορφη γεωμετρία σε όλο το μήκος της κατασκευής τους. Αυτά είναι και τα κύρια ενισχυτικά της πρύμνης. Επειδή η διάδοση ενός σχεδιαστικού σφάλματος σε τόσο αρχικό στάδιο μπορεί να αποφανθεί κρίσιμο για την συνέχεια της μοντελοποίησης, το κάθε ενισχυτικό καταχωρήθηκε σε ξεχωριστό “layer”.

Όπως φαίνεται παρακάτω τα κύρια ενισχυτικά που απαρτίζουν την κατασκευή είναι τύπου “T” και “L”.



Εικόνα 17: Πλάγια άνοψη καταστρώματος με τα διαμήκη ενισχυτικά

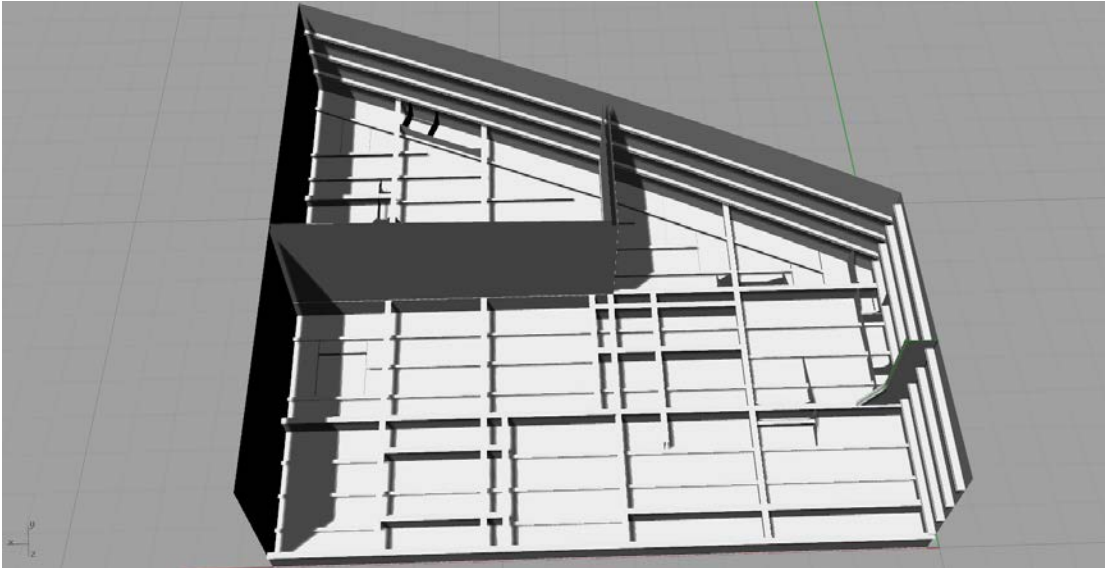


Εικόνα 18: Πλάγια άνοψη καταστρώματος με τα κύρια ενισχυτικά

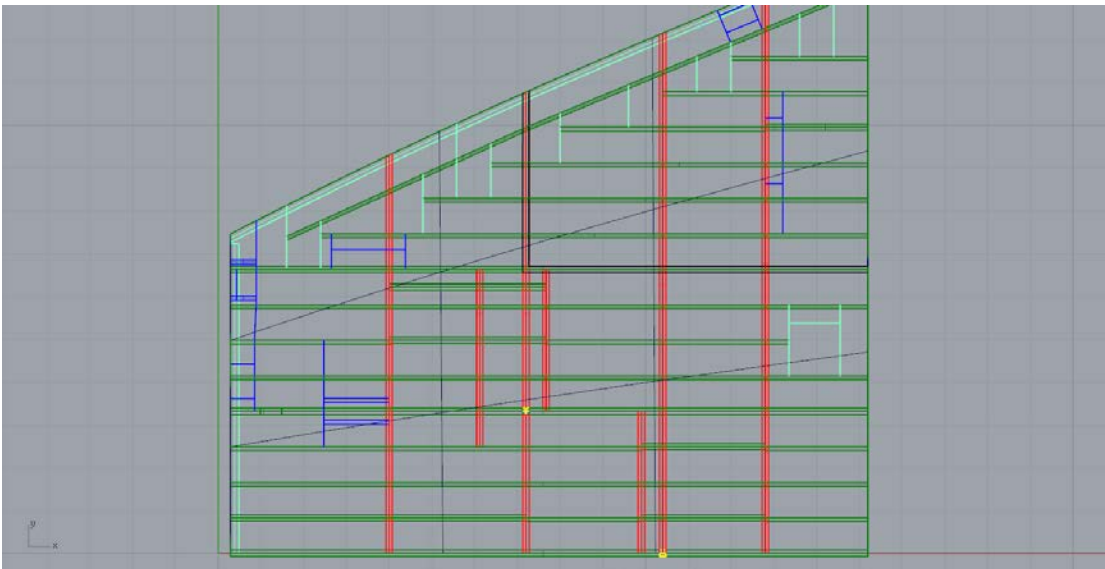
Με την ίδια μέθοδο, συνέχεια έχει η κατασκευή των δευτερευόντων ενισχυτικών. Αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές ομάδες ανάλογα με την γεωμετρία τους. Αυτές είναι οι “T”, “L” και “flat bar”.

Μετά την εκπλήρωση των πιο πάνω ενεργειών, σειρά έχει η σχεδίαση των ενισχυτικών που απαιτούνται για την διέλευση του πλοίου από την επέκταση της διώρυγας του Παναμά. Οι Αρχές της διώρυγας αναφέρουν επιγραμματικά τις διαστάσεις, τον αριθμό και τα σημεία που αυτά πρέπει να τοποθετούνται. Με βάση αυτά, αλλά και το σχέδιο του πλοίου, έγινε η μεταφορά τους στο “RhinoCeros 3D”.

Ένα σύνθηρες πρόβλημα που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε ήταν η ύπαρξη διπλών γραμμών ή σημείων κατά τη μεταφορά των αρχείων στο “ANSYS”. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η συγχώνευσή αυτών έγινε με την εντολή “merge” που διαθέτει το πρόγραμμα. Στη περίπτωση που κάποιος χρήστης επιλέξει το λογισμικό του “ANSYS”, αυτό δίνει τη δυνατότητα κατασκευής της γεωμετρίας με δύο τρόπους. Με τον πρώτο τρόπο δημιουργούνται διαδοχικά σημεία (keypoints), γραμμές (lines), επιφάνειες (areas), και τέλος όγκοι (volumes). Ο δεύτερος τρόπος είναι να κατασκευαστούν όγκοι ή επιφάνειες είτε από σημεία, χωρίς τη δημιουργία γραμμών, είτε απευθείας ορίζοντας τις διαστάσεις τους. Το τελευταίο μπορεί να φανεί πολύ εύχρηστο σε περιπτώσεις που θέλουμε να κατασκευάσουμε γνωστά γεωμετρικά σχήματα όπως κύκλους, κυλίνδρους, ορθογώνια κ.α.



Εικόνα 19: Τρισδιάστατη μοντελοποίηση στο πρόγραμμα Rhinoceros



Εικόνα 20: Κάτοψη καταστρώματος στην περιοχή της πρύμνης

4.3 ΣΤΑΔΙΟ 2^ο: Βελτιστοποίηση και διακριτοποίηση της γεωμετρίας και επιβολή οριακών συνθηκών

Ο σκοπός των τεχνικών βελτιστοποίησης είναι η αναζήτηση και εύρεση της βέλτιστης σχεδίασης μιας κατασκευής. Στην περίπτωση μας έχουν τεθεί κάποιοι περιορισμοί, όπως για παράδειγμα το όριο της αναπτυσσόμενης τάσης που αναγράφεται παραπάνω.

Η παρούσα εργασία δίνει ιδιαίτερη σημασία στην αντοχή της κατασκευής, και κατά συνέπεια η μελέτη της αναπτυσσόμενης τάσης των συστημάτων πρόσδεσης και αγκυροβολίας είναι αρκετή για την εξασφάλιση ορθών και έμπιστων αποτελεσμάτων. Η μελέτη αποκλειστικά της τάσης είναι εφαρμόσιμη μόνο για έλεγχο της αντοχής και της μετατοπίσεως και δεν δύναται να αντιμετωπίσει άλλους περιορισμούς όπως όρια στη θερμοκρασία, συχνότητα ταλάντωσης κ.α.

Η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας μέσω του προγράμματος “ANSYS” μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τις επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα. Οι επιλογές αυτές είναι η αυτόματη δημιουργία πλέγματος η οποία δεν προτείνεται σε πολύπλοκες κατασκευές, ο ορισμός διαμερίσεων σε γραμμές ή ορισμός μεγέθους στοιχείων (μέγιστο μέγεθος πλευράς ή ακμής) καθώς και η επιλογή “Smart Size” η οποία κάνει προσαρμογή του πλέγματος στη γεωμετρία. Η τελευταία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς μικραίνει τα στοιχεία σε περιοχές απότομης αλλαγής της γεωμετρίας και το αραιώνει στο εσωτερικό των επιφανειών και των όγκων όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερα ανάγκη για λεπτή διαμέριση. Το πρόγραμμα δεν μπορεί να γνωρίζει την ακρίβεια και τον χρόνο επίλυσης που επιθυμούμε για την εξαγωγή φερέγγυων αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό η επέμβαση στις προεπιλογές του προγράμματος ήταν απαραίτητη. Άλλωστε οι δυνατότητες του “ANSYS” για την δημιουργία πλέγματος είναι πολλές και τα αποτελέσματα μπορεί να απέχουν σημαντικά μεταξύ τους⁴⁰.

Η διακριτοποίηση της γεωμετρίας είναι μία επίπονη διαδικασία. Κατά τη μεταφορά των στοιχείων στο περιβάλλον αυτό παρατηρήθηκε πως το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων (*Ansys*) ενώ αναγνωρίζει ορθά την μορφολογία του μοντέλου, ο αριθμός των επιμέρους στοιχείων που το αποτελούν είναι μικρότερος από τον πραγματικό. Η διαφορά του αριθμού των στοιχείων είναι σημαντική και οφείλεται στην μη συμβατότητα των δύο εκδόσεων των προγραμμάτων. Αυτό έχει μεγάλο αντίκτυπο στη μελέτη καθώς η καταχώριση των παχών στις επιμέρους επιφάνειες των ελασμάτων δεν είναι εφικτή. Αναλυτικότερα, όταν το “*Ansys*” θεωρεί ένα πλήθος στοιχείων σαν ενιαίο δεν δίνεται η επιλογή καθορισμού πάχους στα επιμέρους στοιχεία, αλλά μόνο στο σύνολο.

Ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού έγινε με την διάσπαση της κατασκευής σε επιμέρους αρχεία στο “*Rhinoceros 3D*”. Το κάθε αρχείο αποτελείται από ένα σύνολο

⁴⁰ Ε. Κίρτας & Γ. Παναγόπουλος (2015). Εισαγωγή σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

ελασμάτων και ενισχυτικών τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις ιδιότητες τους. Είναι σημαντικό να γίνει διαχωρισμός των στοιχείων στα σημεία επαφής για την ομαλή διεξαγωγή της διαδικασίας τα οποία ποικίλουν και ορίζονται από το χρήστη.

Έπειτα ακολουθεί η εισαγωγή των προαναφερθέντων αρχείων στο “Ansys” και γίνεται η εξακρίβωση του αριθμού των στοιχείων που αποτελούν την κατασκευή.

Για την ολοκλήρωση της σχεδίασης του μοντέλου απαιτείται ο καθορισμός του πάχους των εκάστοτε στοιχείων σύμφωνα με το κατασκευαστικό σχέδιο του πλοίου. Η δυσκολία που παρατηρείται στο κομμάτι αυτό βρίσκεται στην ιδιαιτερότητα της μορφολογίας του μοντέλου. Αναλυτικότερα, για την απόδοση του πάχους επιλέγεται κάθε στοιχείο μεμονωμένα. Η επιτυχής αποπεράτωση αυτού του βήματος απαιτεί καλή γνώση του σχεδίου από την πλευρά του χρήστη

Πρέπει να αναφερθεί πως η ποιότητα του πλέγματος είναι βασικός δείκτης της ποιότητας της μελέτης. Το “*element quality average*” είναι το στοιχείο που, περισσότερο από τα άλλα, προδίδει την ποιότητα του πλέγματος και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το “*element quality average*” είναι ένας μέσος όρος ο οποίος δείχνει σε τι βαθμό το πλέγμα αποτελείται από στοιχεία που έχουν μορφή τέλειου κύβου.

4.4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Επόμενο στάδιο είναι ο καθορισμός της «κόλλησης» των ενισχυτικών στα σημεία που απαιτείται. Για την πληρέστερη κατανόηση του βήματος αυτού θα πρέπει να αναφερθεί ακόμη μία φορά πως για την περάτωση της μελέτης χρειάστηκε το μοντέλο να υποδιαιρεθεί σε επιμέρους αρχεία κατά την μεταφορά του από πρόγραμμα σε πρόγραμμα. Η ενέργεια αυτή αναγκάζει το χρήστη, σε αυτό το στάδιο, να ενώσει ορισμένα στοιχεία έτσι ώστε να επιτευχθεί η σύζευξη του μοντέλου ως ενιαία κατασκευή. Μία τυχόν παράληψη από το χρήστη σημαίνει λανθασμένη απορρόφηση των δυνάμεων και κατ’ επέκταση λανθασμένη εκτίμηση του προγράμματος όσον αφορά την παραμόρφωση της κατασκευής.

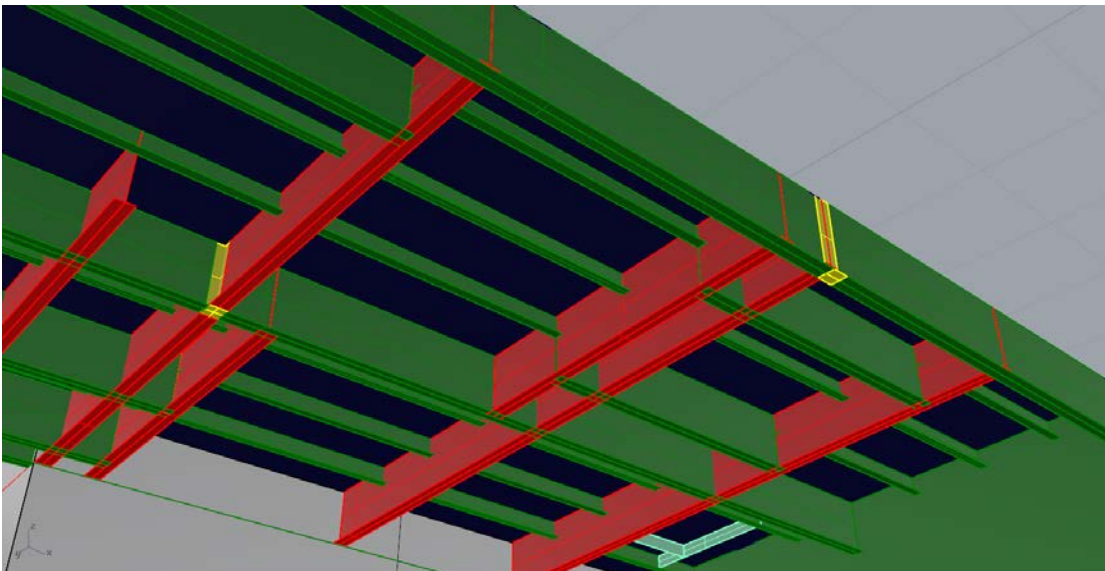
Οι αιτίες που οδήγησαν στη σχεδίαση της συγκεκριμένης περιοχής και όχι σε ολόκληρη τη πρύμνη είναι οι εξής:

- **Η συμμετρία της γεωμετρίας.** Η περιοχή η οποία σχεδιάστηκε έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το άλλο της μισό.
- **Ανάλυση δυνάμεων.** Βάση μελετών και δοκιμών, φαίνεται πως οι δυνάμεις που μελετώνται αναλαμβάνονται από τα ενισχυτικά και μετά από ένα σημείο δεν αποτελούν κίνδυνο και δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.

Ο χρήστης κατά τη σχεδίαση θα πρέπει δώσει ιδιαίτερη σημασία στο ρόλο της υπόλοιπης κατασκευής και πως αυτή επιδρά στα αποτελέσματα. Η περιοχή σχεδίασης στην πραγματικότητα αποτελεί ένα μέρος της πύμνης. Τα ενισχυτικά και τα ελάσματα που τρέχουν κατά το κατακόρυφο επίπεδο πρέπει με κάποιο τρόπο να στηριχτούν ώστε να δώσουν στο χρήστη αποτελέσματα. Με αυτή την παραδοχή πακτώνονται όλα τα τμήματα εκείνα που κατά το «κόψιμο» της κατασκευής στο συγκεκριμένο ύψος έχουν μείνει ακάλυπτα.

Στο επίπεδο της συμμετρίας θεωρούμε ότι η κατασκευή δεν μπορεί να πάρει παραμορφώσεις ως προς αυτή την κατεύθυνση διότι θα υπήρχε μία αντίθετη δύναμη που θα αναιρούσε την μεταβολή αυτή.

Όπως και προηγουμένως, για την στήριξη της κατασκευής στις διαδοκίδες στο πρόγραμμα “Ansys” ορίζουμε τα σημεία εκείνα σαν πακτωμένα με την παραδοχή ότι δέχεται μεταβολές μόνο στον κατακόρυφο άξονα.



Εικόνα 21: Έμφαση στα σημεία όπου τοποθετούνται οι διαδοκίδες

4.4.1 Μελέτη συμπεριφοράς όλης της κατασκευής

Η διαδικασία αυτή συνιστάται στην αναπαράσταση των κυριότερων χαρακτηριστικών της μεταλλικής κατασκευής έτσι ώστε οι κατανομές των τάσεων και μετατοπίσεων να έχουν ακρίβεια σε γενικό επίπεδο όχι όμως σε τοπικό επίπεδο. Η γενική ανάλυση της κατασκευής αποβλέπει στον προσδιορισμό των πεδίων που οφείλονται σε γενική φόρτιση και στην απόκτηση δεδομένων σχετικά με τις οριακές συνθήκες στα σημεία στήριξης τμημάτων της κατασκευής. Για παράδειγμα, λόγω της πολυπλοκότητας της μορφολογίας αλλά και των φορτίων δεν είναι εύκολο να υπολογισθεί η καμπτική ακαμψία κατά μήκος των συνδέσεων των φρακτών, των καταστρωμάτων κ.ά. με τις γειτονικές κατασκευές. Τα αποτελέσματα όμως που προκύπτουν από γενικές αναλύσεις περιλαμβάνουν περιστροφές στα σημεία στήριξης από τις οποίες εύκολα υπολογίζονται οι σχετικές ακαμψίες. Στις μελέτες αυτές τα εξωτερικά φορτία είναι κατά κανόνα στατικά ή ψευδοστατικά.

4.4.2 Μελέτη τμήματος της μεταλλικής κατασκευής

Η ανάλυση τμήματος της μεταλλικής κατασκευής είτε ακολουθεί μία γενική ανάλυση είτε γίνεται ανεξάρτητα από αυτή, με σκοπό τη μελέτη κάποιου τμήματος της κατασκευής η ανάλυση του οποίου δύσκολα γίνεται διαφορετικά. Για παράδειγμα, κατά τον σχεδιασμό των καλυμμάτων των κύτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εντατικά πεδία που οφείλονται σε πρωτεύουσα κάμψη αλλά και σε στρέψη της διατομής του πλοίου. Πιθανόν δεν θα χρειασθεί να ληφθούν υπόψη και οι θερμικές τάσεις, έτσι ώστε το πρόβλημα να μην επιλύεται πλέον με συμβατικές αναλυτικές μεθόδους με γρήγορο και αξιόπιστο τρόπο. Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε οποιοδήποτε πρόβλημα στο οποίο προκύπτει η ανάγκη υπέρθεσης δυναμικών σε στατικά φορτία ως ένα δεύτερο παράδειγμα ανάγκης για τοπική ανάλυση με τη μέθοδο Π.Σ.

- a) Διαφορά βάρους-άντωσης
- b) Δράση των κυμάτων

Το αποτέλεσμα αυτής είναι η ανάπτυξη τάσεων στο επίπεδο των στοιχείων της κατασκευής, έτσι ώστε να προκύψει εφελκυσμός και θλίψη στη διαμήκη κατεύθυνση.

4.5 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “ANSYS”

Μετά την σχεδίαση της κατασκευής στο “*Rhinoceros 3D*” έγινε η μεταφορά του μοντέλου στο περιβάλλον του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων “*Ansys*”. Για να μπορέσει να αναγνωριστεί η γεωμετρία του μοντέλου από το “*Ansys*” χρειάστηκε να χωρίσουμε το μοντέλο σε ξεχωριστά αρχεία που το αποτελούν με την ιδιαιτερότητα ότι τα στοιχεία που υπάρχουν σε κάθε αρχείο ανά δύο να μην ακουμπάνε μεταξύ τους διότι στο πρόγραμμα θα αναγνωριστούν σαν ένα κοινό στοιχείο.

4.5.1 Πεπερασμένα στοιχεία για ναυπηγικές κατασκευές

Η γάστρα του πλοίου είναι μία τρισδιάστατη λεπτότοιχη κατασκευή το κύριο τμήμα της οποίας αποτελείται από ενισχυμένα ελάσματα που συνθέτουν το εξωτερικό κέλυφος, τα καταστρώματα και τις φρακτές. Εκτός των ομοεπίπεδων φορτίσεων, οι κύριες φορτίσεις περιλαμβάνουν τις πιέσεις που ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες της κατασκευής. Οι πιέσεις αυτές παραλαμβάνονται σε πρώτο στάδιο από τα εξωτερικά ελάσματα της γάστρας. Τα ελάσματα στηρίζονται σε συστήματα παράλληλων (πρωτεύουσών) ενισχύσεων που παραλαμβάνουν τις φορτίσεις αυτές και που εκτείνονται στη διαμήκη κατεύθυνση. Με τη σειρά τους, οι πρωτεύουσες ενισχύσεις στηρίζονται στο δευτερεύον σύστημα ενίσχυσης. Το δευτερεύον σύστημα ενίσχυσης συνιστάται για ζυγά, οι ισαποστάσεις των οποίων είναι μεγαλύτερες από αυτές των ενισχύσεων και που μπορούν να είναι διαμήκη ή εγκάρσια. Τέλος, τα ζυγά στηρίζονται και αυτά με τη σειρά τους σε μεγάλα τμήματα της κατασκευής όπως οι φρακτές, η πλευρική κατασκευή, ο πυθμένας κλπ. Με τον τρόπο αυτό διαχέονται οι εξωτερικές φορτίσεις στα διάφορα στοιχεία που απαρτίζουν την κατασκευή έτσι ώστε να μην προκύψει αστοχία.

5

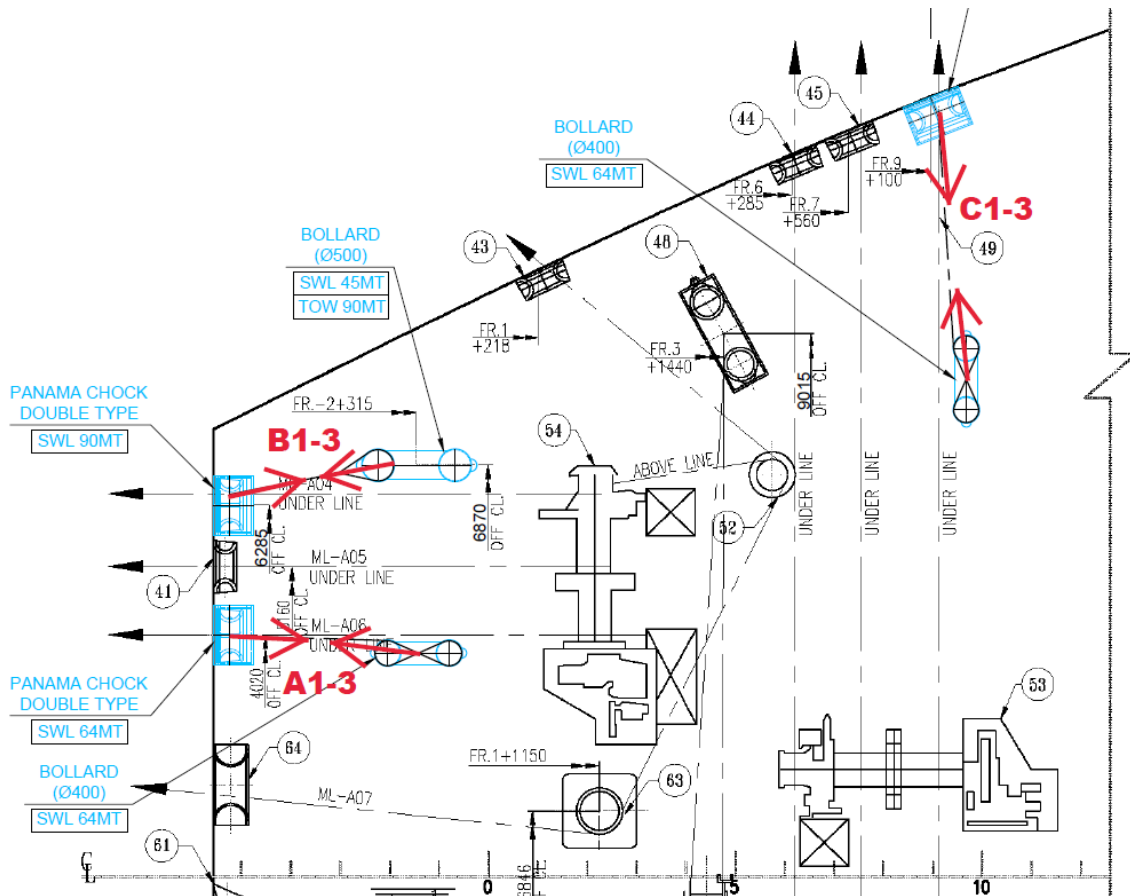
ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από το πρόγραμμα “ANSYS”. Αρχικά παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις φορτίσεων με την μεταλλική κατασκευή να μην έχει υποστεί τροποποιήσεις ως προς την ενίσχυσή του. Έπειτα γίνεται ανάλυση εννέα επιπλέον περιπτώσεων με την προσθήκη των κατάλληλων ενισχύσεων. Ο αριθμός των περιπτώσεων καλύπτει μία ευρεία γκάμα καταστάσεων. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι, μέσω των στοιχείων και των αποτελεσμάτων που παρατίθενται, να γίνουν φανερά η ποιότητα της μελέτης και τα κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογούνται τα αποτελέσματα. Με βάση τις τιμές που καταγράφονται θα παρθεί η απόφαση για το αν μπορεί το πλοίο να εισέλθει στην επέκταση της διώρυγας του Παναμά.

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κεφάλαιο αυτό προσπαθεί να προσομοιώσει τις δυνάμεις που ασκούνται και τις παραμορφώσεις που δέχεται η κατασκευή. Γίνεται αναφορά των σημαντικότερων στοιχείων και παραγόντων που επιδεικνύουν την ποιότητα και την αξιοπιστία της μελέτης καθώς αυτός είναι και ο βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας. Έχουν παρθεί εννέα διαφορετικές περιπτώσεις φορτίσεων. Αναλυτικότερα, σε κάθε μία από τις περιπτώσεις ασκούνται τρεις συνιστάμενες δυνάμεις. Οι παράμετροι που αλλάζουν είναι ο αριθμός των ενισχυτικών, η θέση και η κατεύθυνση των δυνάμεων. Στην πραγματικότητα οι δυνάμεις που μελετώνται είναι εκείνες που αναπτύσσονται στα συστήματα πρόσδεσης κατά την

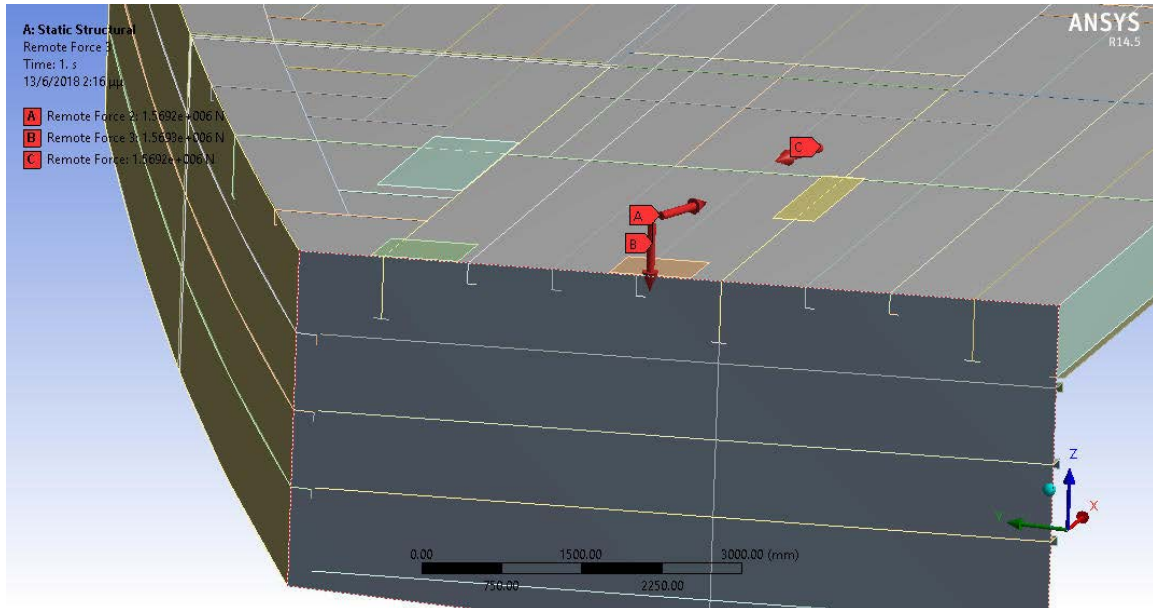
διαδικασία ρυμούλκησης και αγκυροβολίας στην επέκταση της διώρυγας του Παναμά. Γι' αυτό το λόγο, οι δυνάμεις που ορίσαμε προσπαθούν να μιμηθούν τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διαδικασία ρυμούλκησης του πλοίου μέσα στους θαλάμους της διώρυγας. Για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας, οι δυνάμεις που ασκήθηκαν στο μοντέλο είναι της τάξεως των 1.569.600 N, δηλαδή το μέγιστο που μπορεί να αντέξει το “chock” σύμφωνα με τους κανονισμούς. Επίσης, δίνονται τρεις επιπλέον περιπτώσεις όπου ασκούνται οι ίδιες δυνάμεις αλλά η κατασκευή δεν διαθέτει τα ενισχυτικά που εγκαταστάθηκαν μεταγενέστερα. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι η σύγκριση των παραμορφώσεων της κατασκευής πριν και μετά τις ενισχύσεις που προστέθηκαν. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται παραστατικά με τα βέλη η κατεύθυνση των γραμμών πρόσδεσης και ποιες περιπτώσεις αφορά.



Εικόνα 22: Κατευθύνσεις δυνάμεων ρυμούλκησης και αγκυροβολίας ανά περίπτωση

5.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ A1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

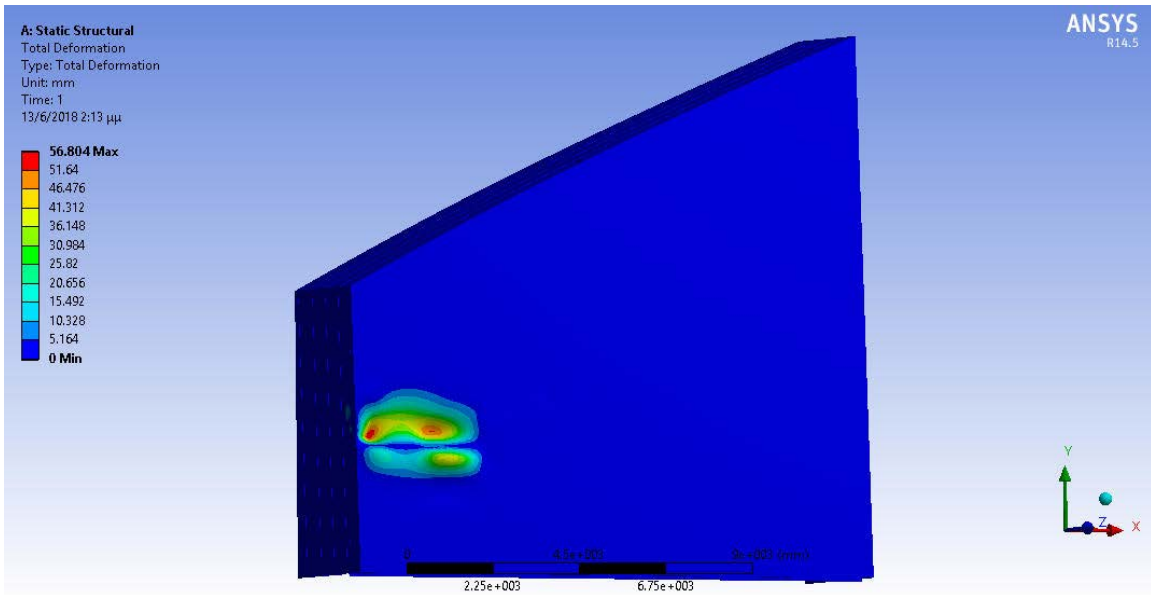
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 23.



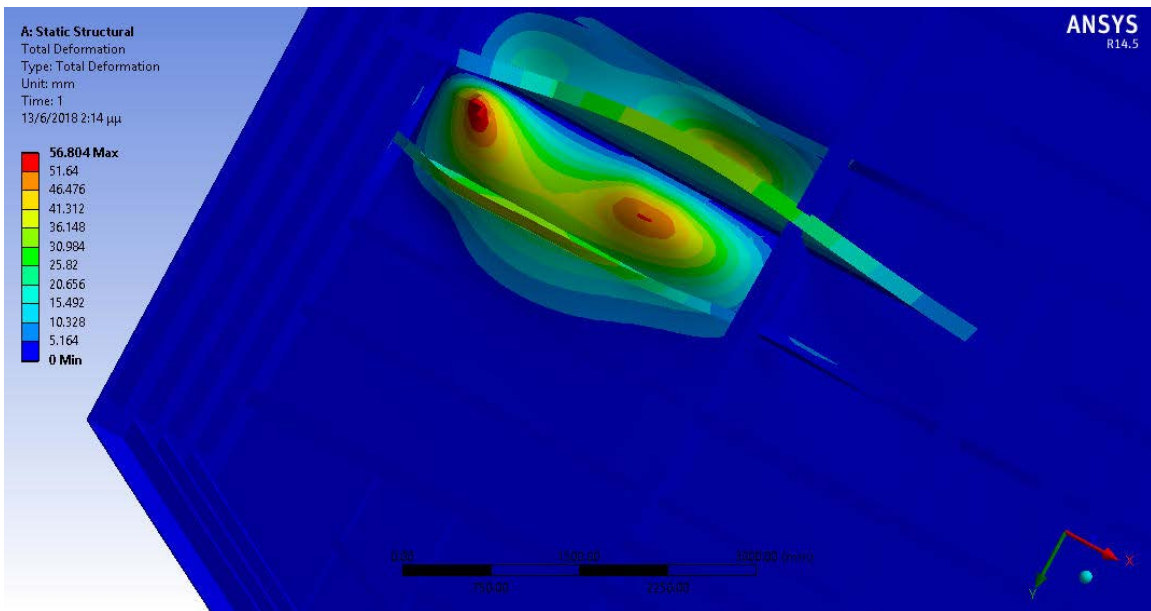
Εικόνα 23: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση

Όπως φαίνεται στις εικόνες 24 και 27:

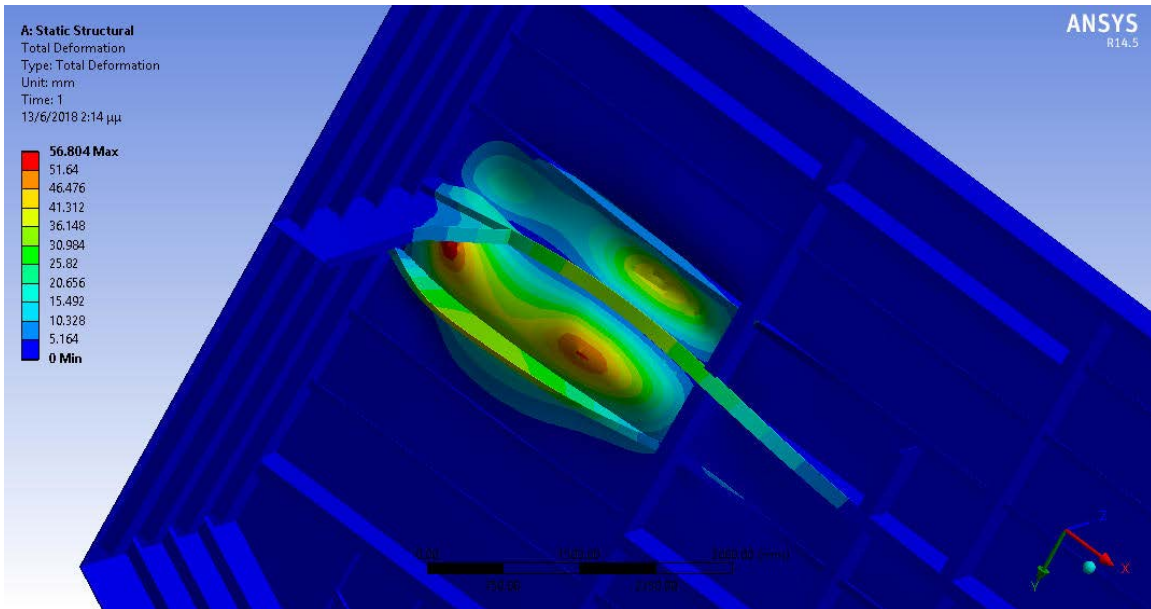
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 56,8 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 3.392,7 MPa.



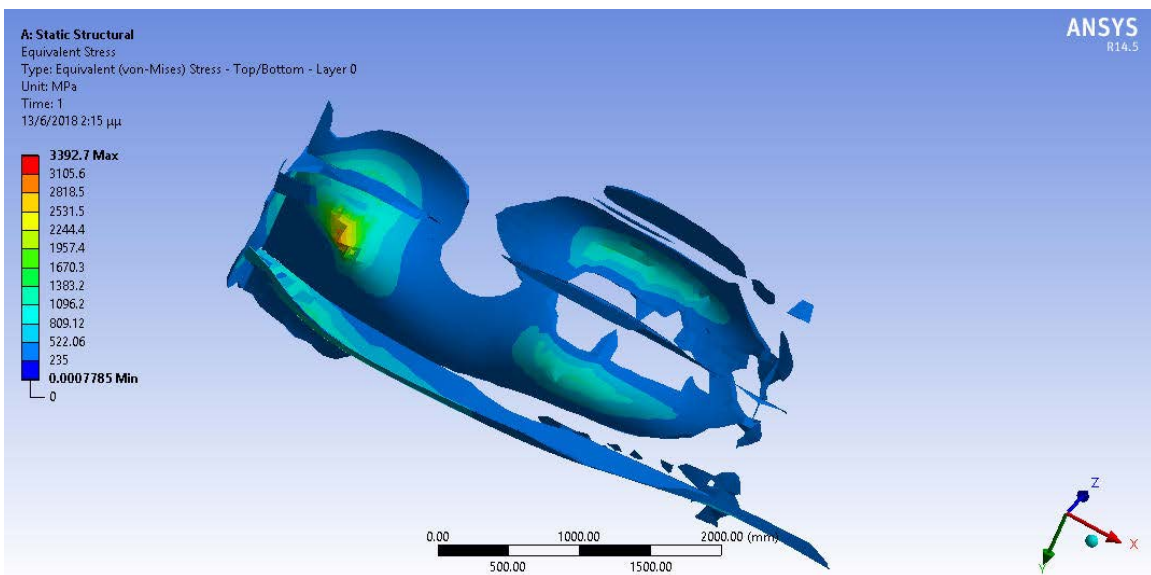
Εικόνα 24: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



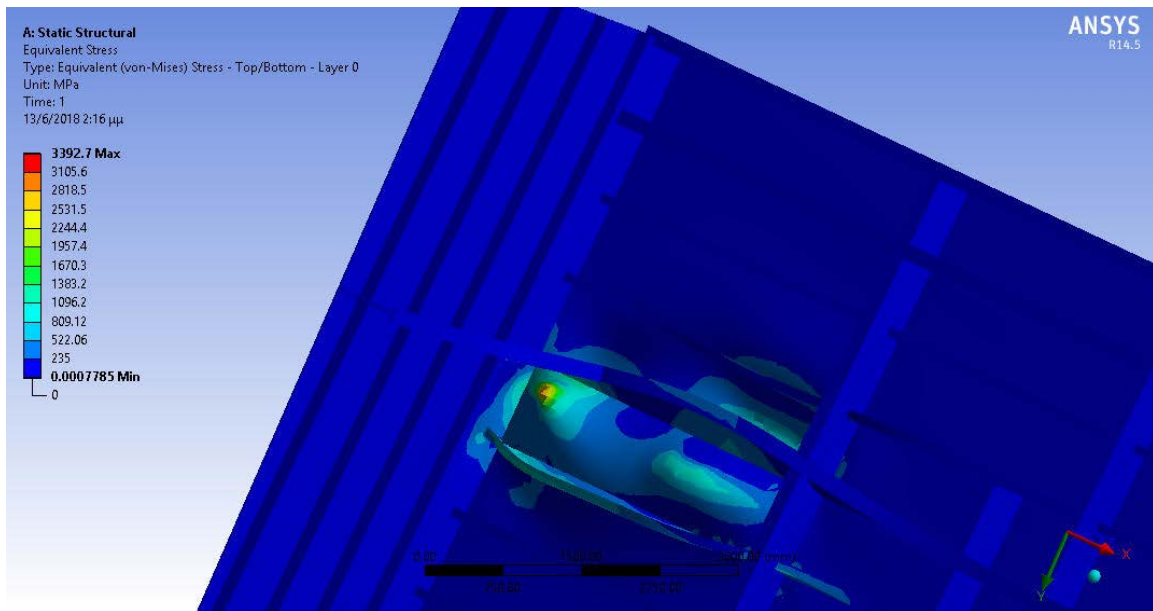
Εικόνα 25: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



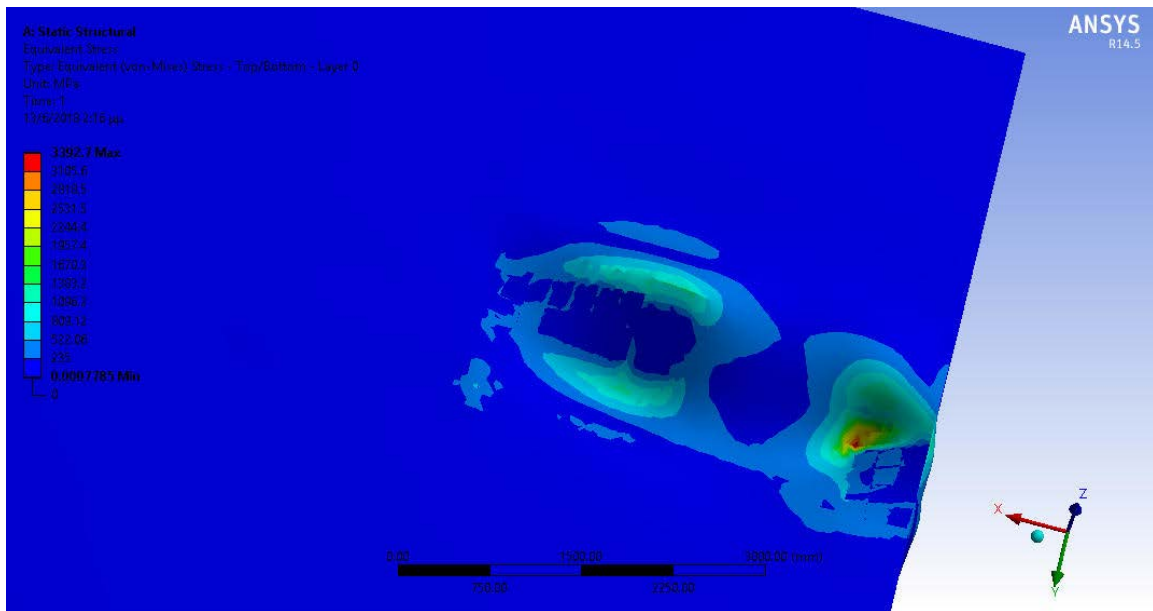
Εικόνα 26: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



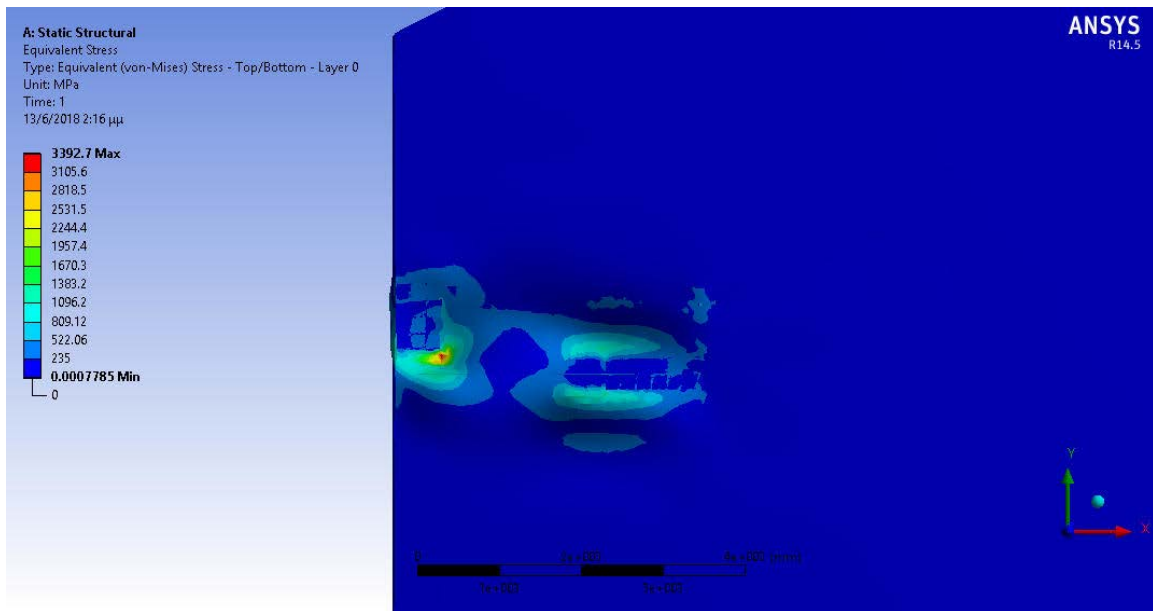
Εικόνα 27: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής



Εικόνα 28: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



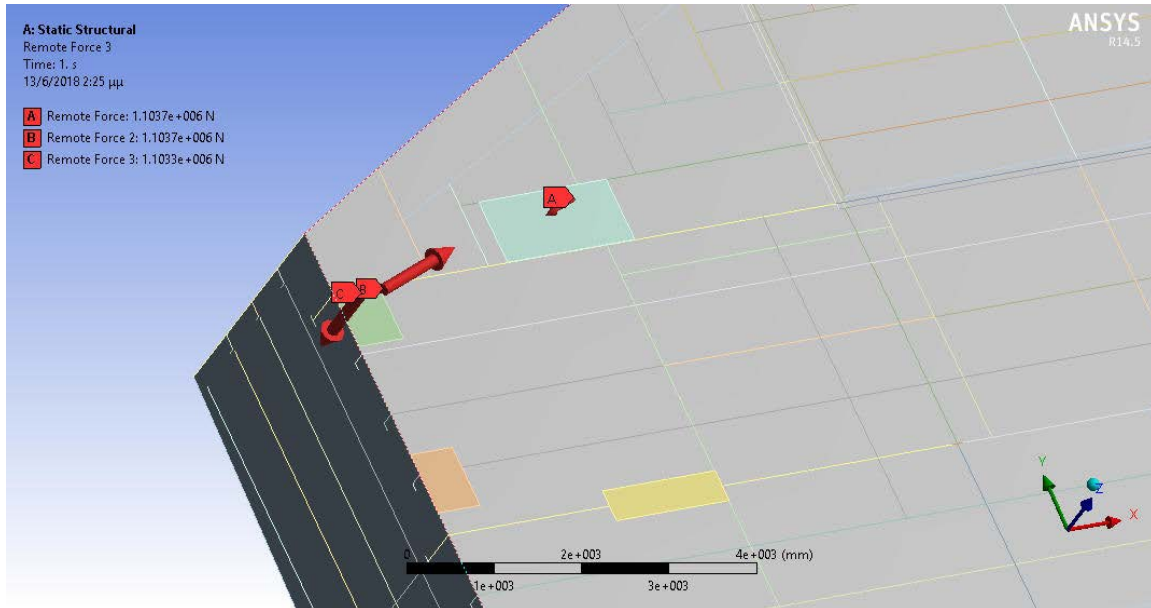
Εικόνα 29: Κάτωψη καταστρώματος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 30: Κάτοψη καταστροφάτος περίπτωσης A1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης

5.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

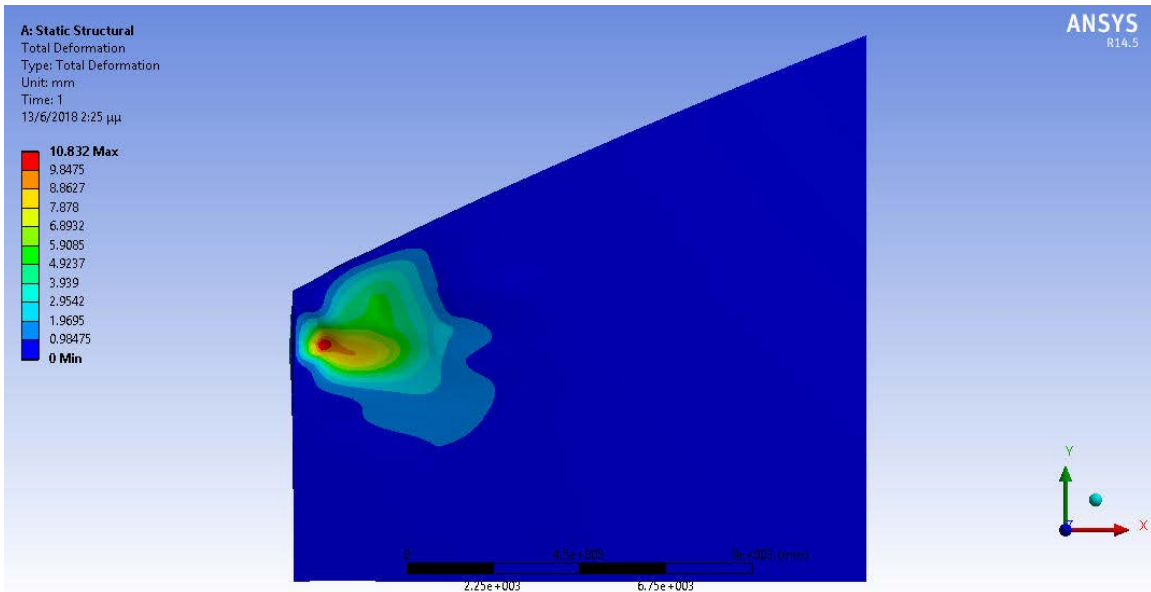
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1103625 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 31.



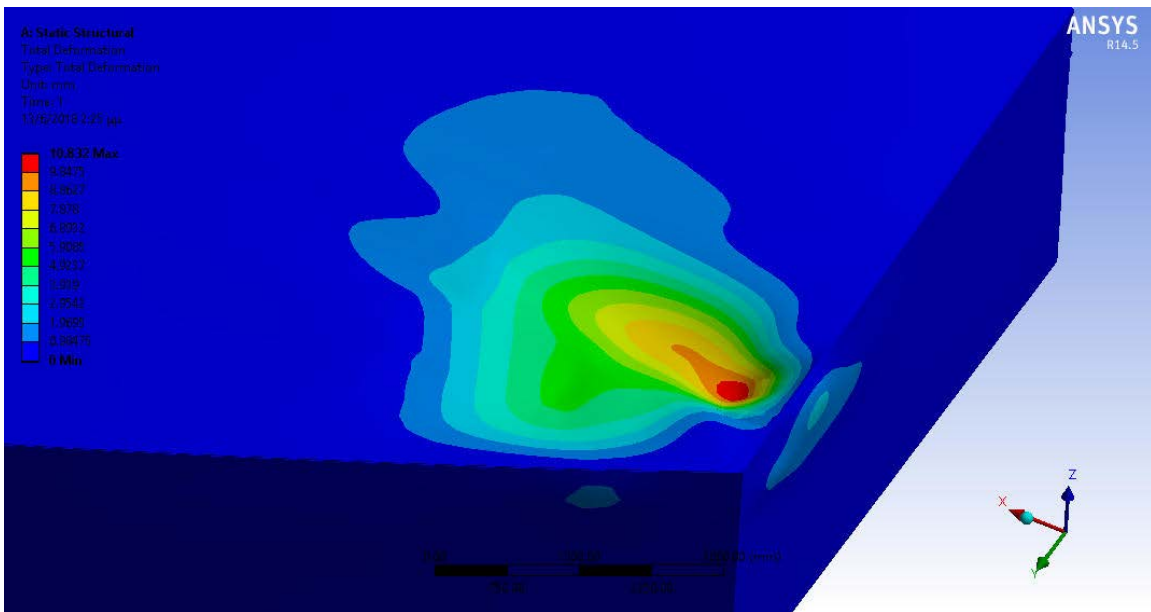
Εικόνα 31: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης Β1 χωρίς ενίσχυση

Όπως φαίνεται στις εικόνες 32 και 36:

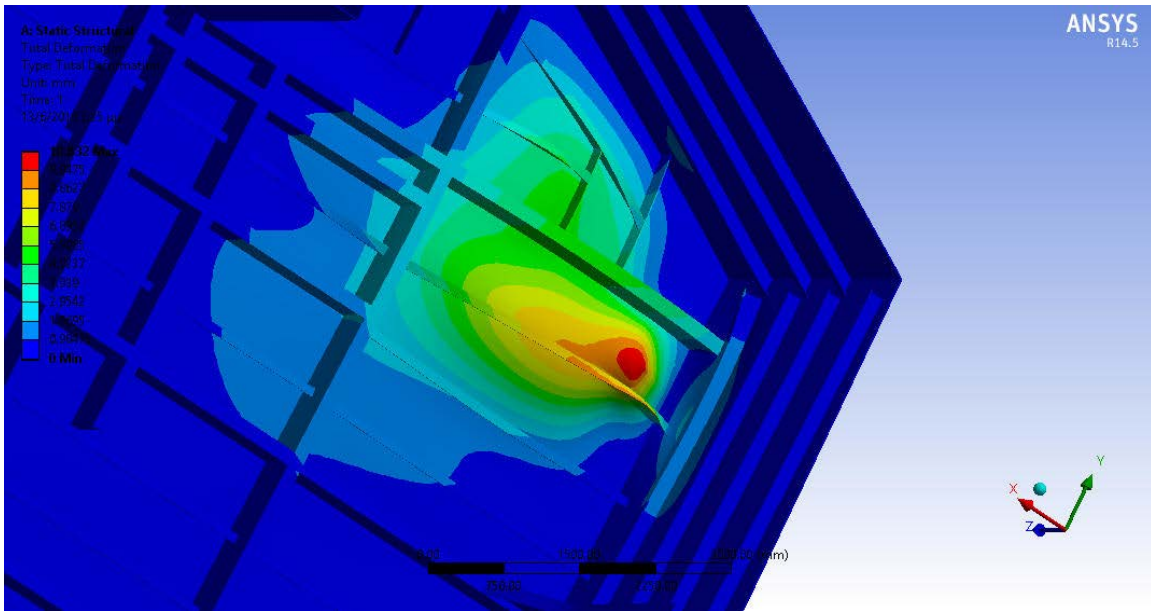
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 10,8 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 524,12 MPa.



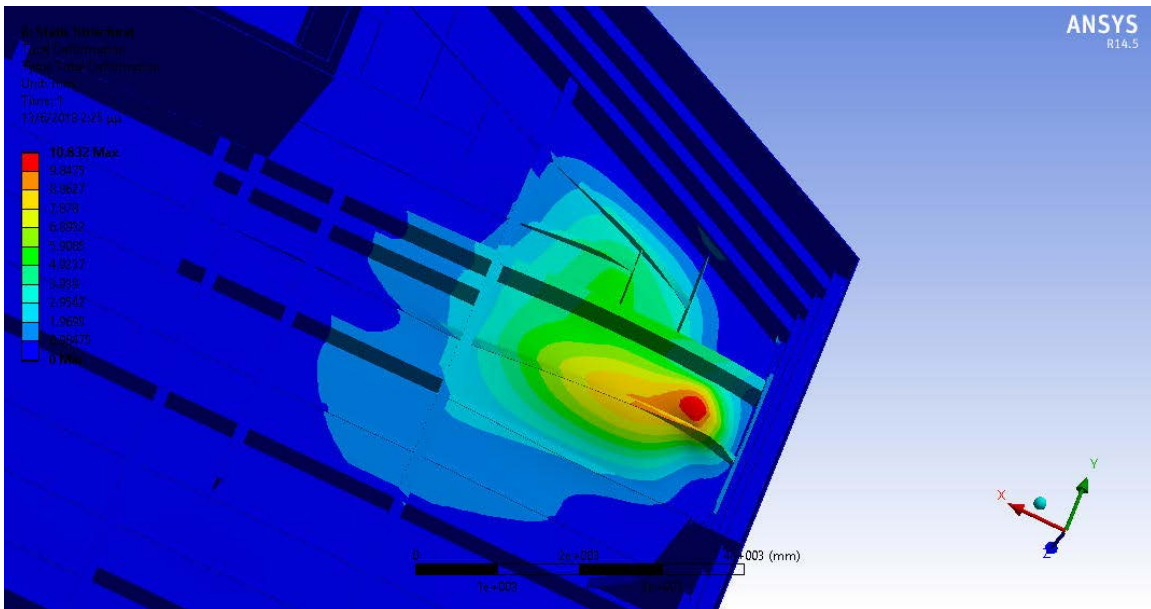
Εικόνα 32: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



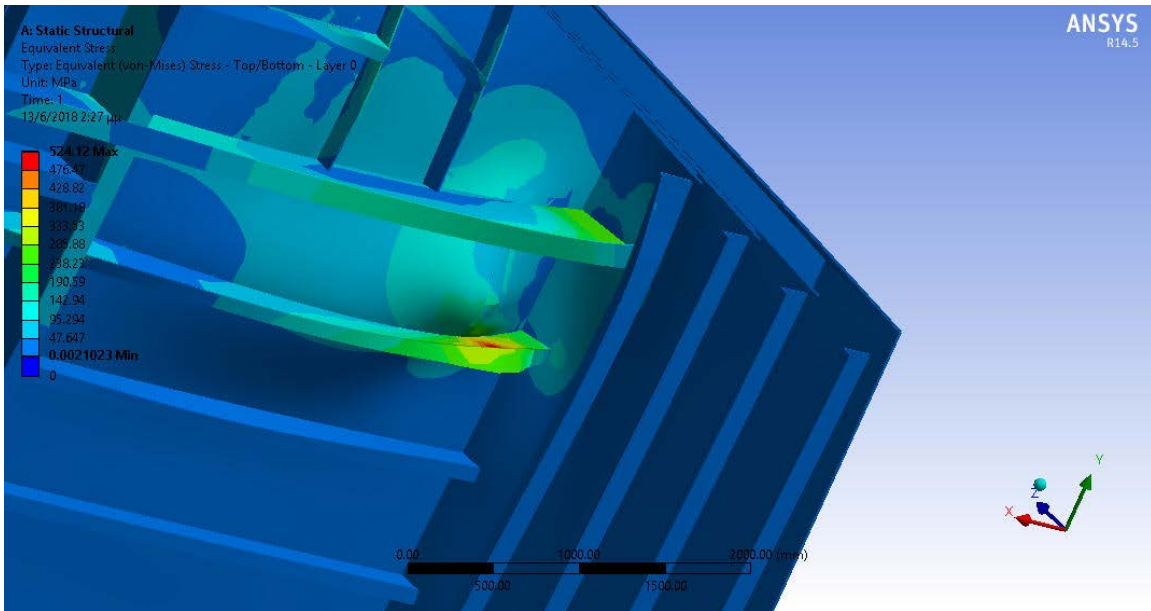
Εικόνα 33: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



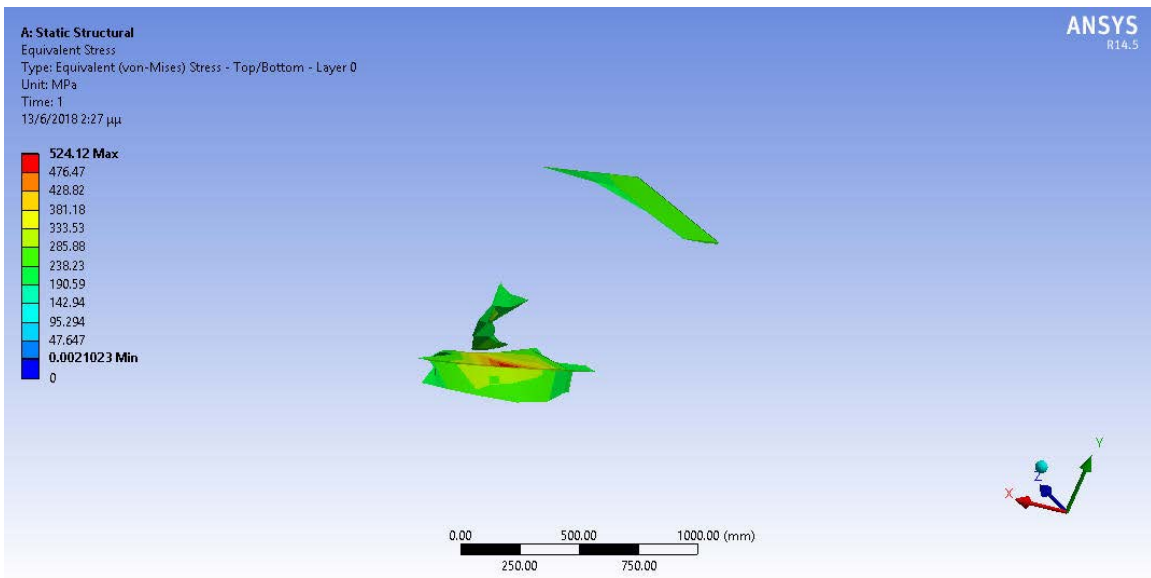
Εικόνα 34: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



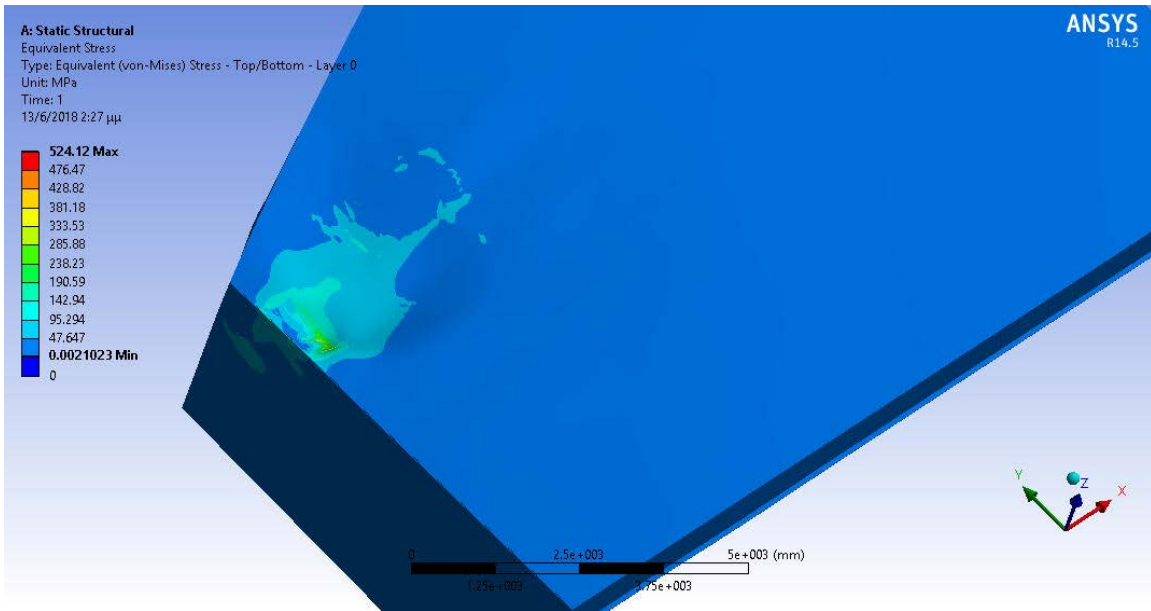
Εικόνα 35: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



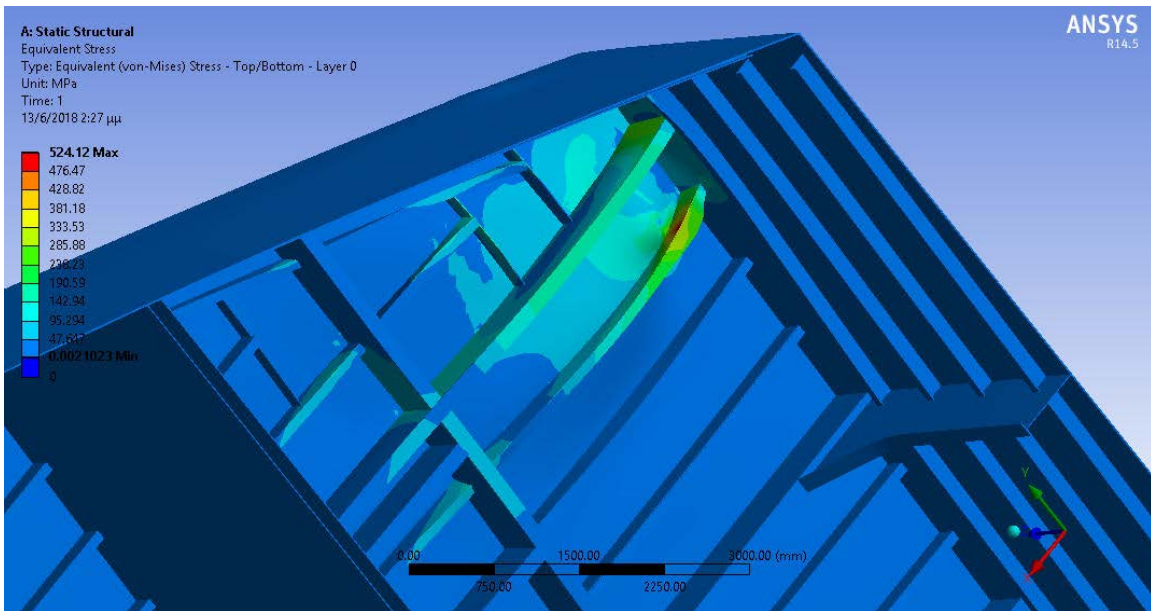
Εικόνα 36: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 37: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής



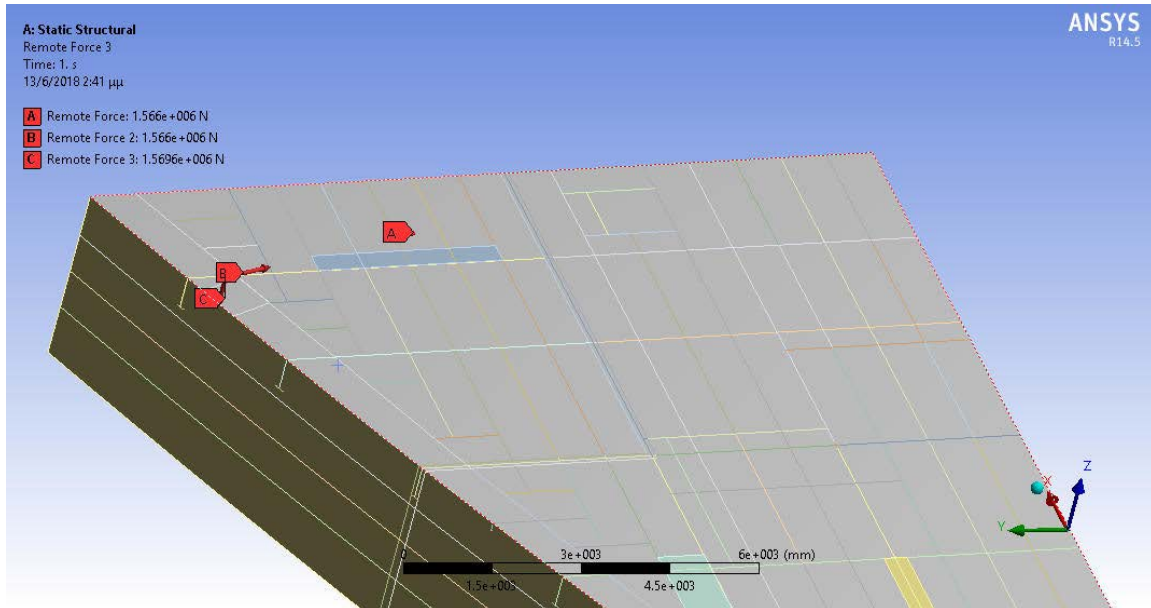
Εικόνα 38: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 39: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης

5.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

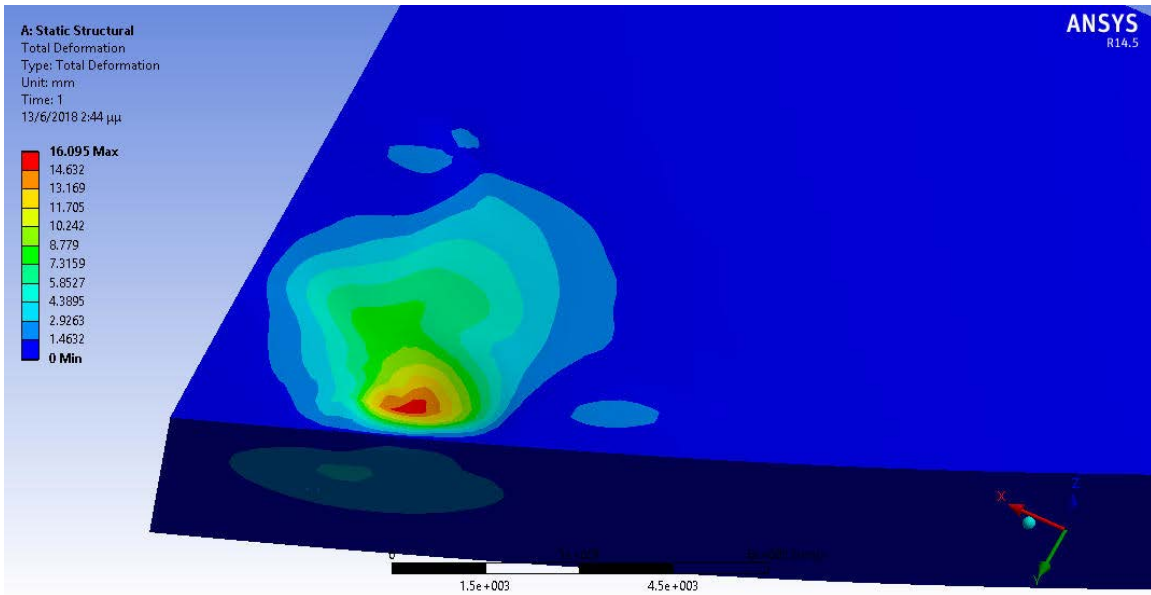
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1569600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 40.



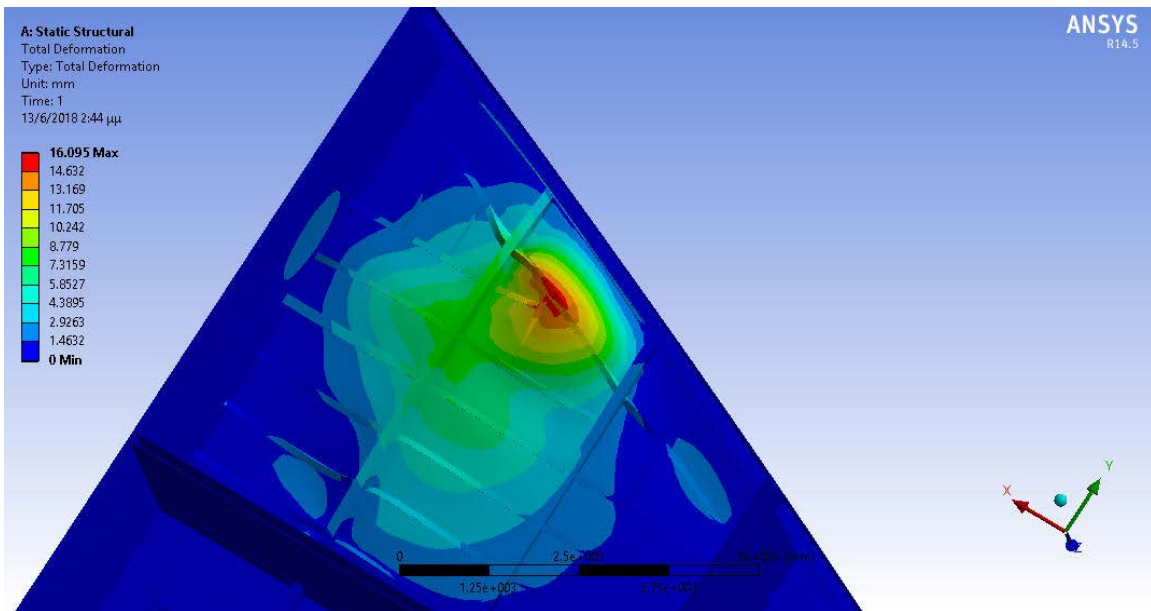
Εικόνα 40: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση

Όπως φαίνεται στις εικόνες 41 και 45:

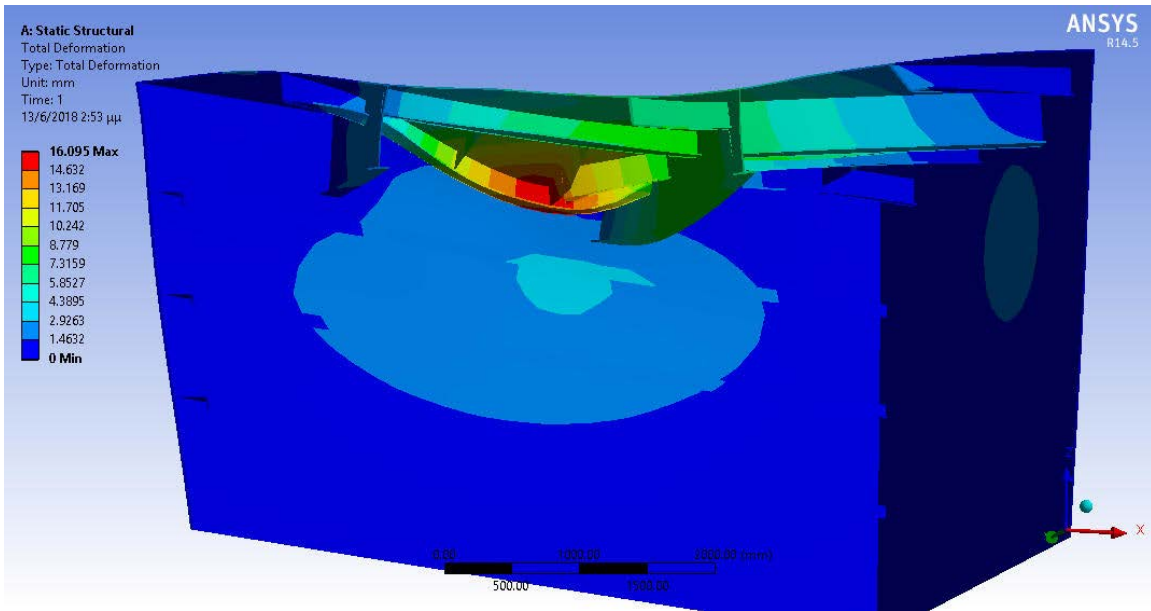
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 16,1 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 752,99 MPa.



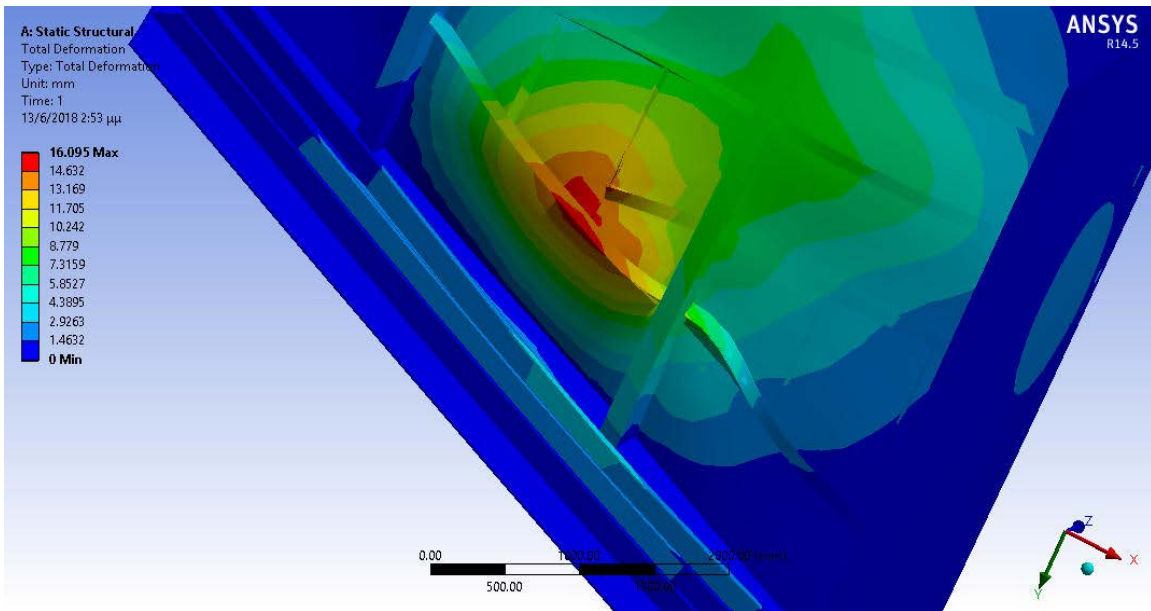
Εικόνα 41: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



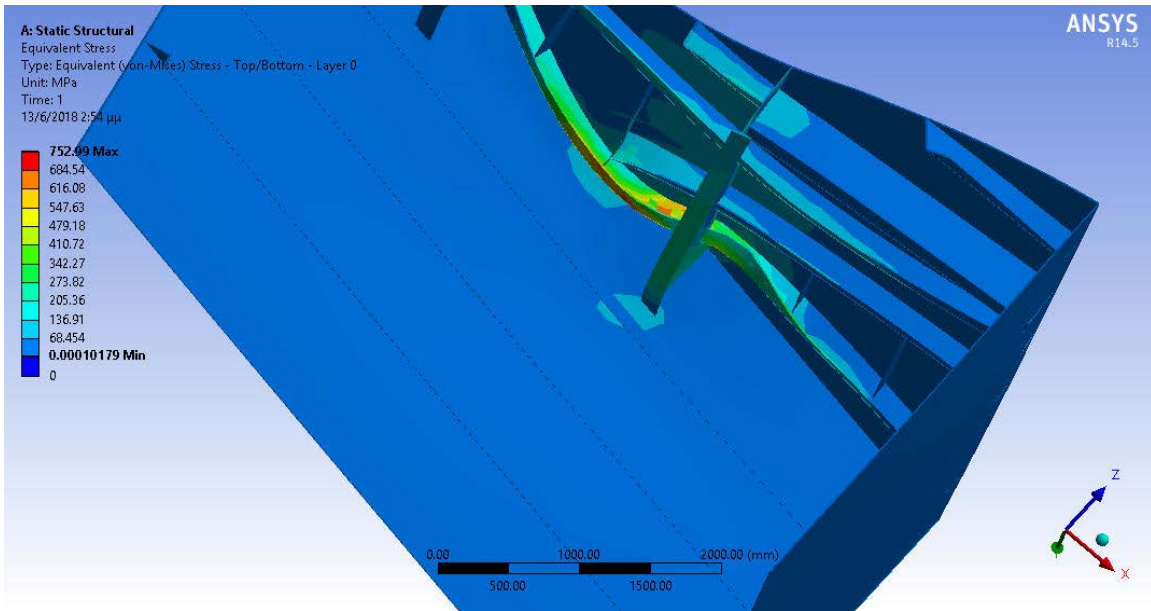
Εικόνα 42: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



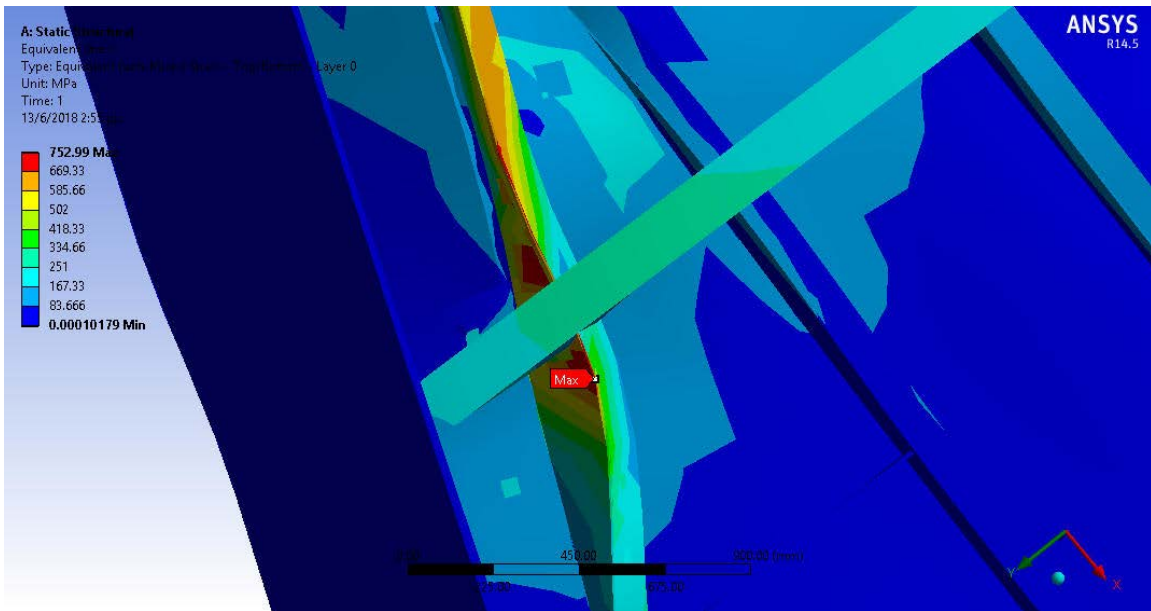
Εικόνα 43: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



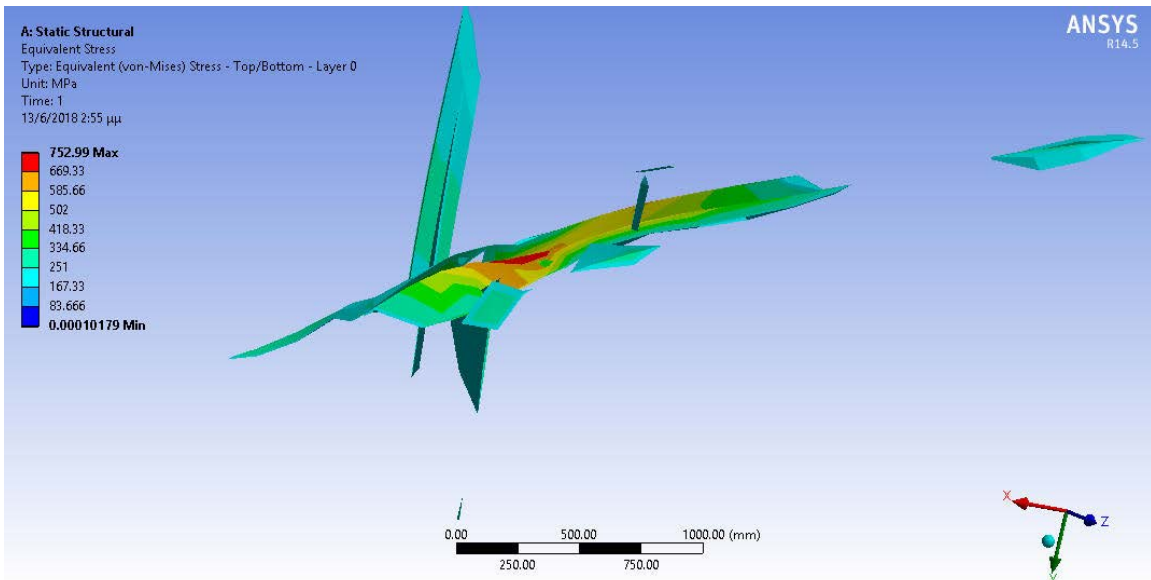
Εικόνα 44: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



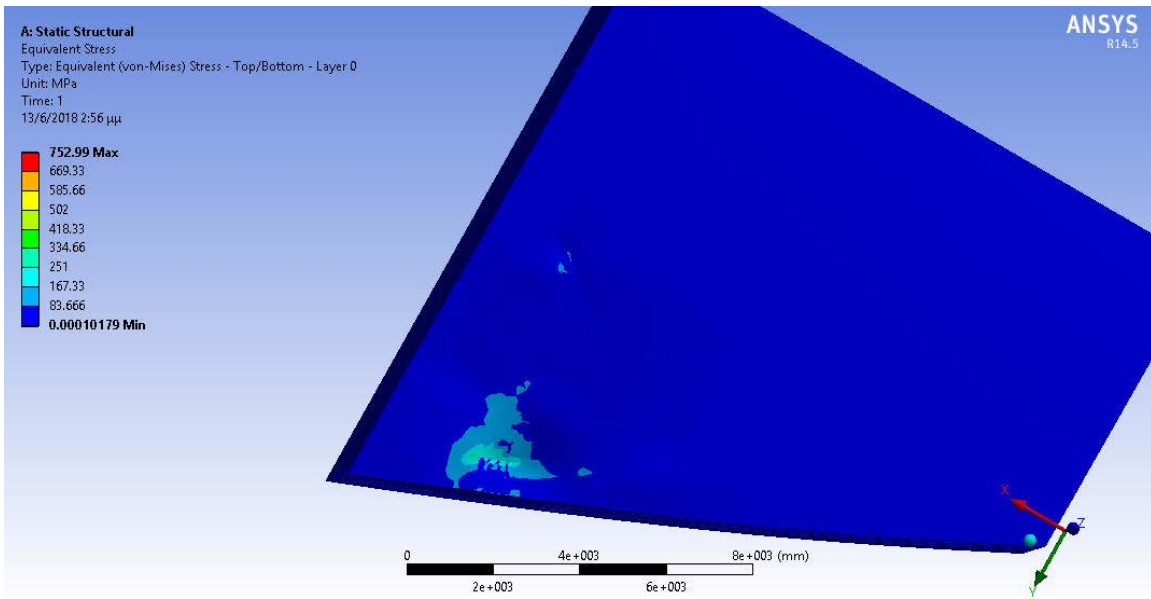
Εικόνα 45: Πλάγια άνοψη καταστροφάτος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 46: Πλάγια άνοψη καταστροφάτος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 47: Περιοχές που ξεπερνάνε το όριο διαρροής



Εικόνα 48: Πλάγια κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 χωρίς ενίσχυση με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης

5.5 ΑΡΧΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των περιπτώσεων A1, B1 και C1, στις οποίες δεν έχει γίνει καμία προσθήκη ενισχυτικών, παρατηρούνται μεγάλες παραμορφώσεις και τάσεις. Οι δυνάμεις που ασκούνται έχουν υπολογιστεί με βάση τον τύπο:

$$SM = SWL * N * K * 9,81 * 1.000$$

Όπου:

- $N=1.25$ και είναι ο συντελεστής ασφαλείας
- $K=1$ στη περίπτωση ρυμούλκησης και $K=2$ σε περίπτωση αγκυροβολίας. Αυτό συμβαίνει διότι στην δεύτερη περίπτωση ο κάβος δένεται στις δέστρες σε οκτάρια ενώ κατά την ρυμούλκηση όχι.

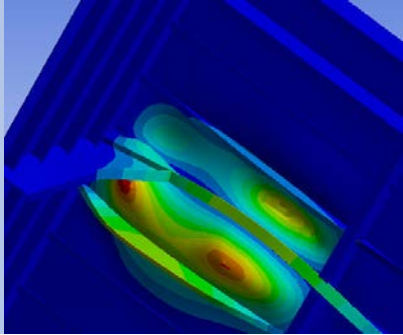
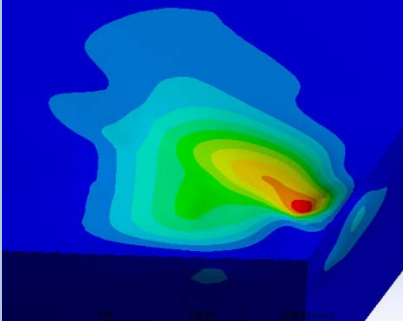
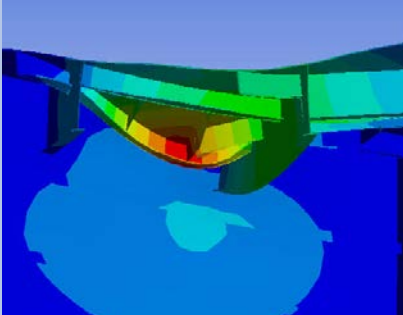
Όπως φαίνεται στον πίνακα η τάση που αναπτύσσεται, και στις τρεις περιπτώσεις, ξεπερνά κατά πολύ το όριο διαρροής του χάλυβα που είναι 235MPa.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
4	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹		
5	Reference Temperature	22	C		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's M...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				

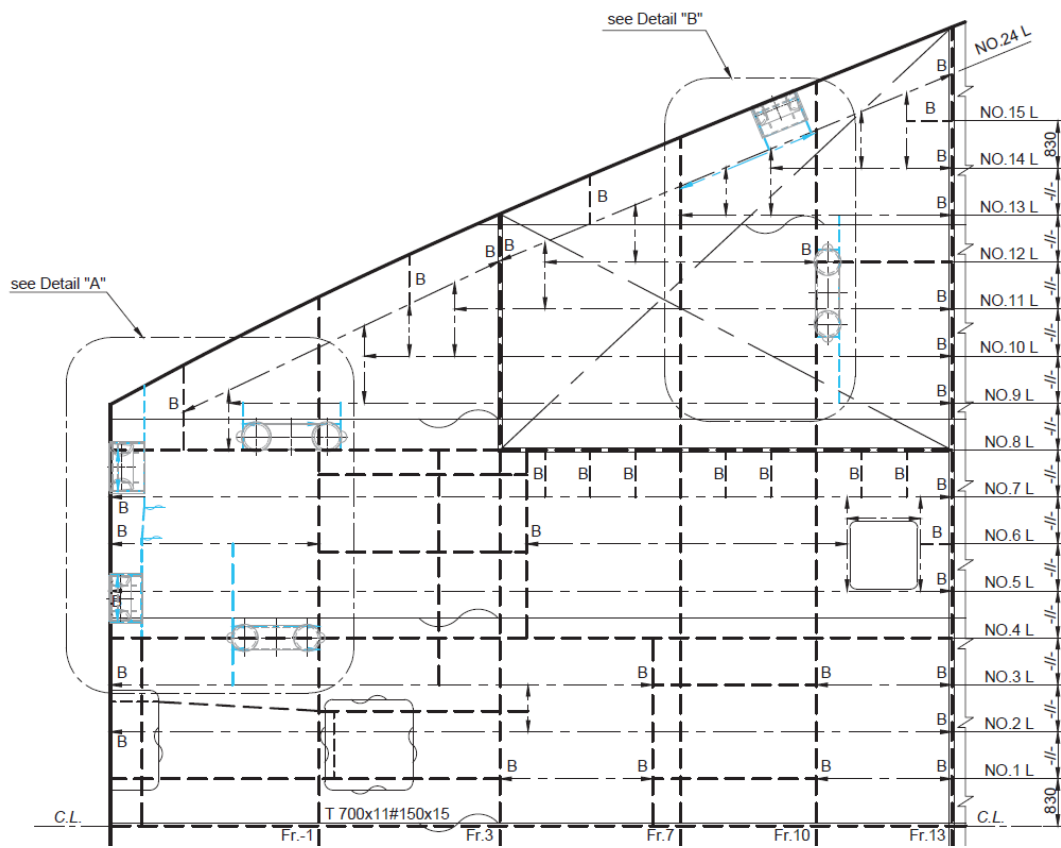
Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's M...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	250	MPa		
25	Compressive Yield Strength	250	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	460	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	MPa		

Εικόνα 49: Ιδιότητες υλικού (χάλυβας)

Επιπλέον οι υψηλές τιμές των παραμορφώσεων που δημιουργούνται αποτελούν κίνδυνο μόνιμων παραμορφώσεων. Στην περίπτωση που το πλοίο ζητούσε άδεια από την αρμόδια Αρχή για την διέλευσή του από την επέκταση της διώρυγας του Παναμά, αυτή δεν θα γινόταν δεκτή.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΜΕΤΑΤΩΠΙΣΗ (mm)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	ELEMENT QUALITY
A1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1.569.600	56,804	3.392,7		27.065
B1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1.103.625	10,832	524,12		27.065
C1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1.569.600	16,095	752,99		27.065

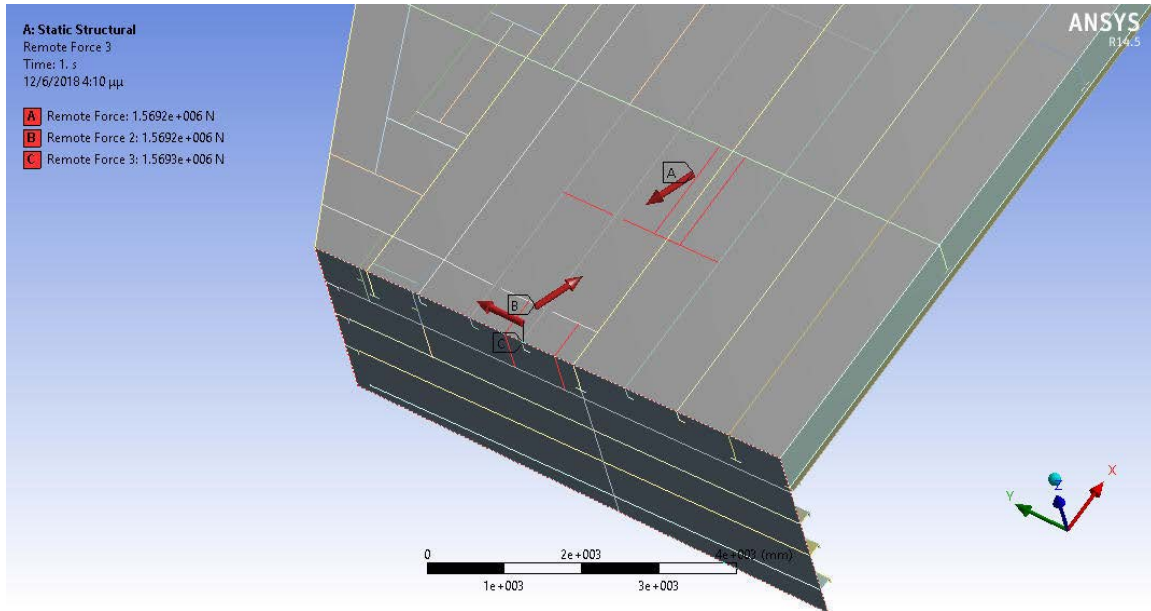
Μετά την εκλογή των αποτελεσμάτων αυτών κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μελέτη της κατασκευής με την προσθήκη των ενισχυτικών που απαιτούνται από τους κανονισμούς, έτσι ώστε το πλοίο να πετύχει τον σκοπό του. Η μελέτη αυτή δείχνει ότι πρέπει να προστεθούν δύο ομάδες ενισχυτικών όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Η Α ομάδα αναφέρεται στις περιπτώσεις A1-3 και B1-3 ενώ η Β ομάδα ενισχυτικών αναφέρεται στις περιπτώσεις C1-3.



Εικόνα 50: Ομάδες ενισχυτικών

5.6 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α3

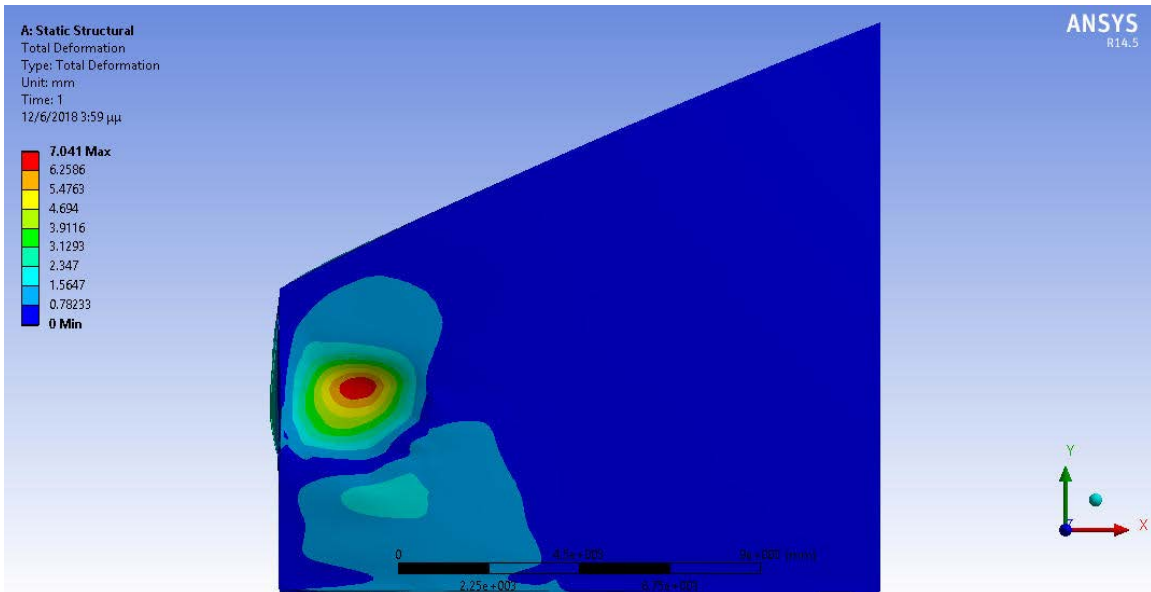
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 51.



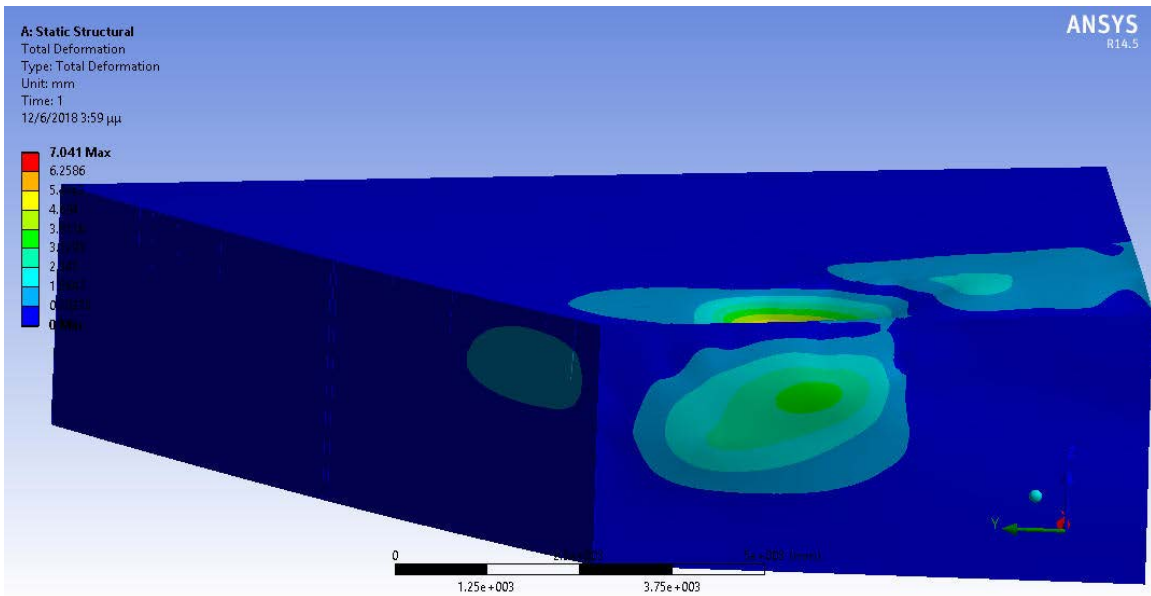
Εικόνα 51: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης Α3

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην Α ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 52 και 56:

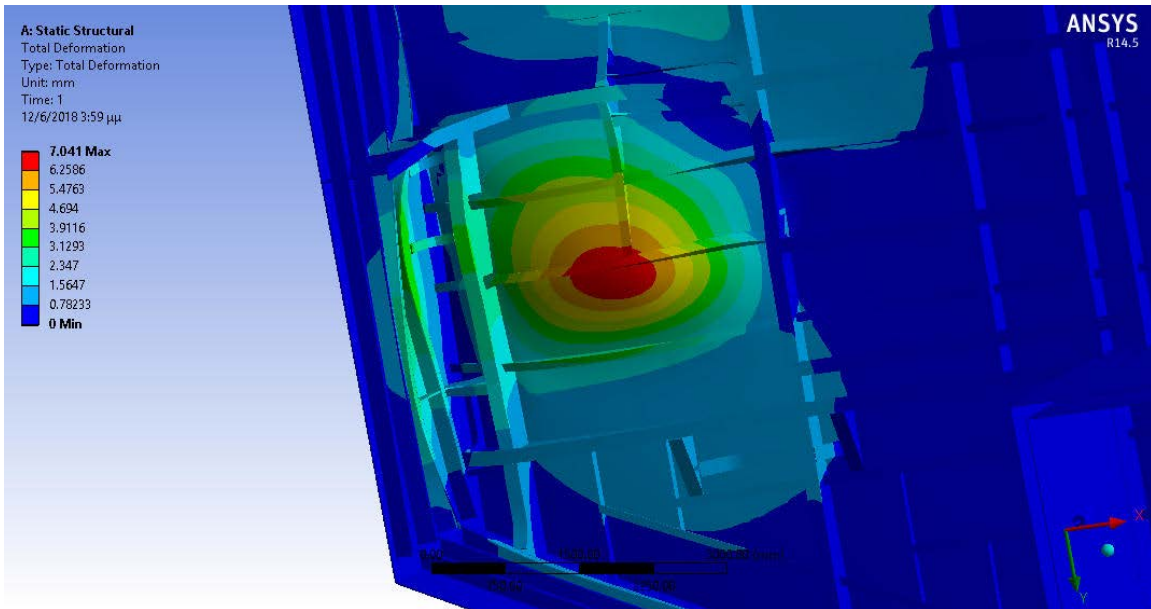
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 7,041mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 336,63 MPa.



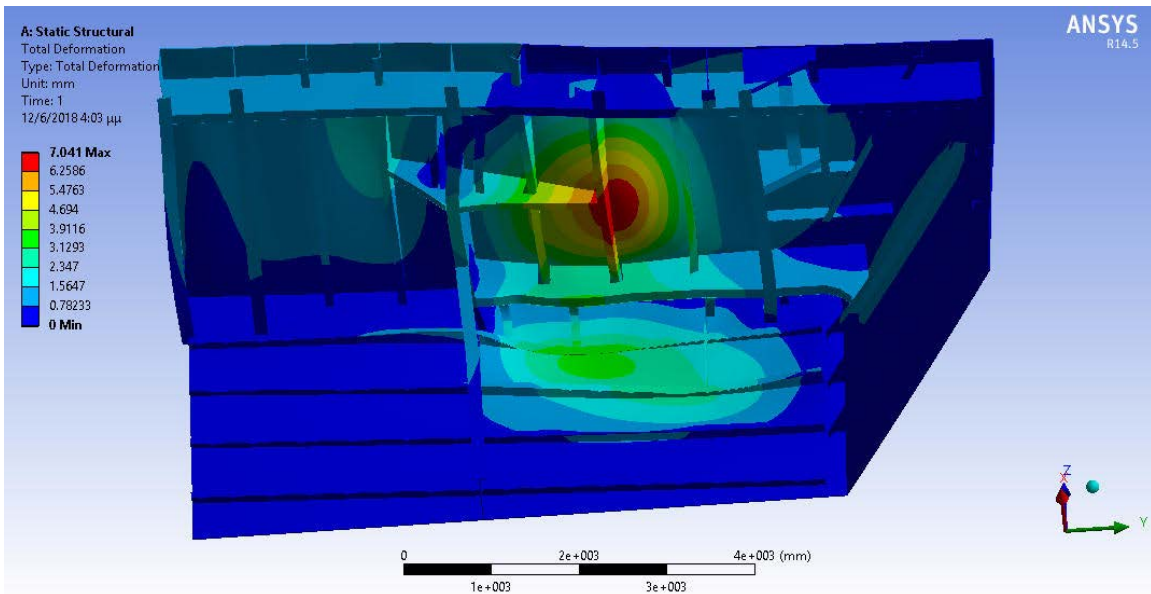
Εικόνα 52: Κάτοψη καταστροφάτος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



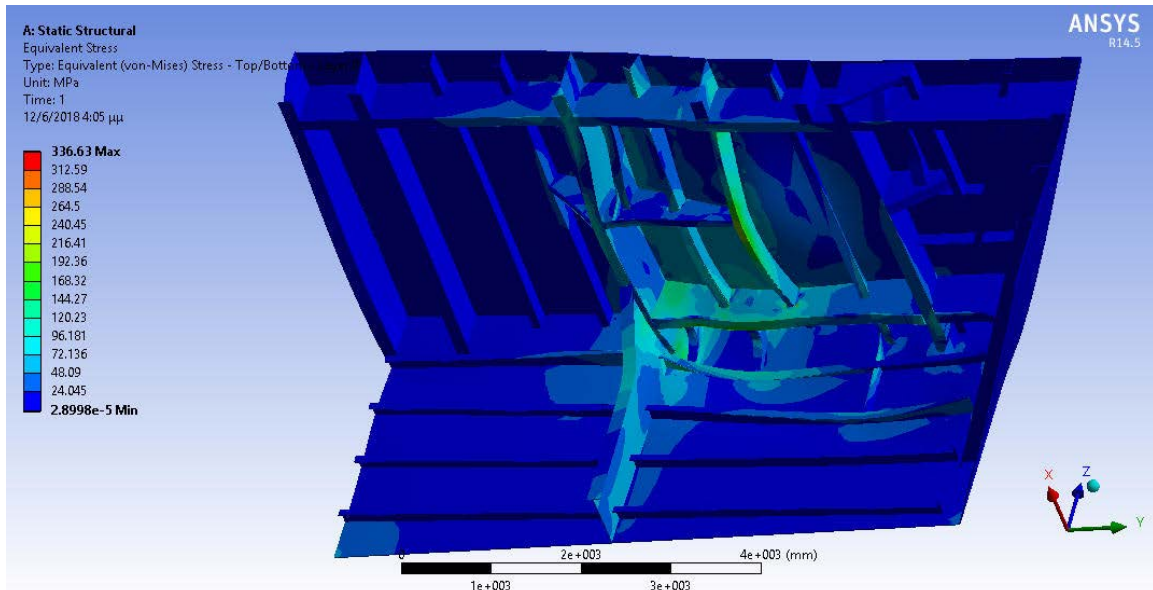
Εικόνα 53: πλάγια όψη καταστροφάτος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



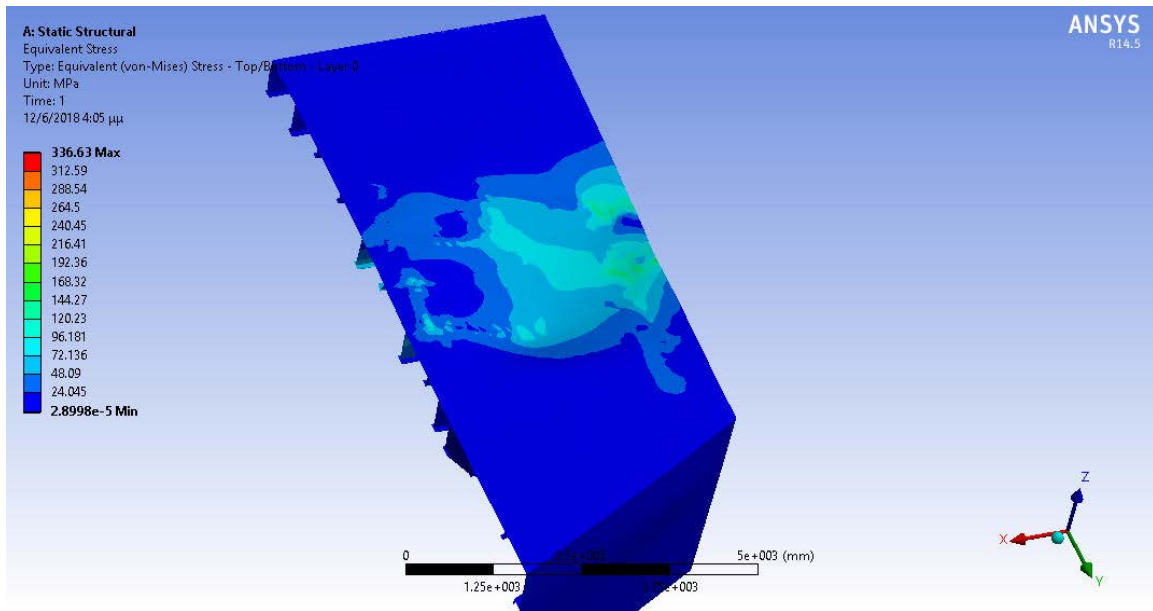
Εικόνα 54: Πλάγια άνοψη καταστροφάτος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



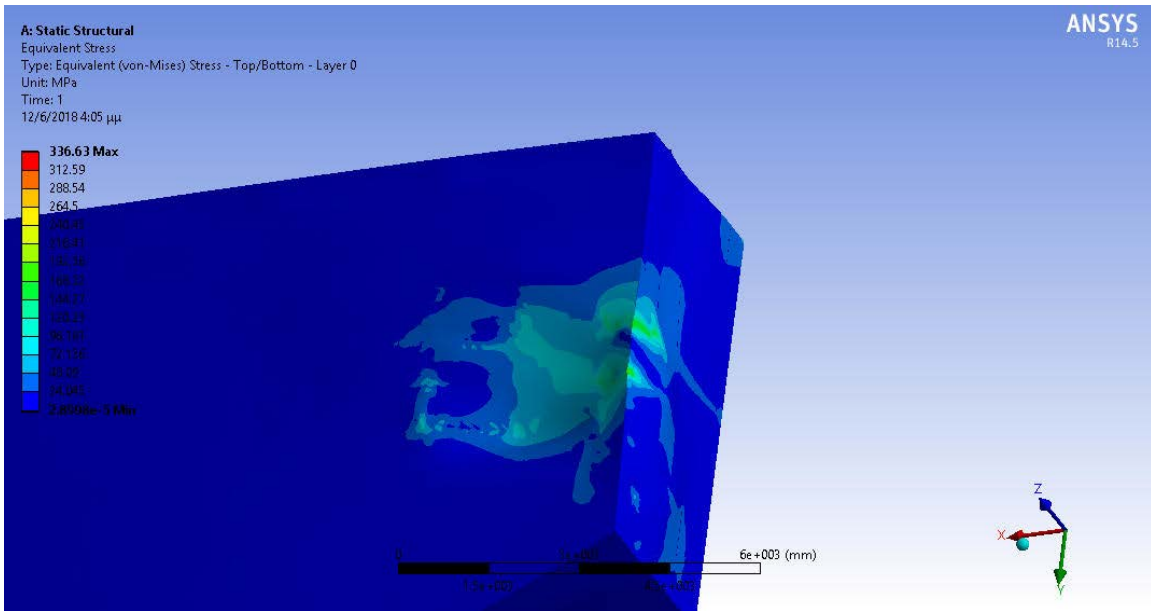
Εικόνα 55: Τομή καταστροφάτος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



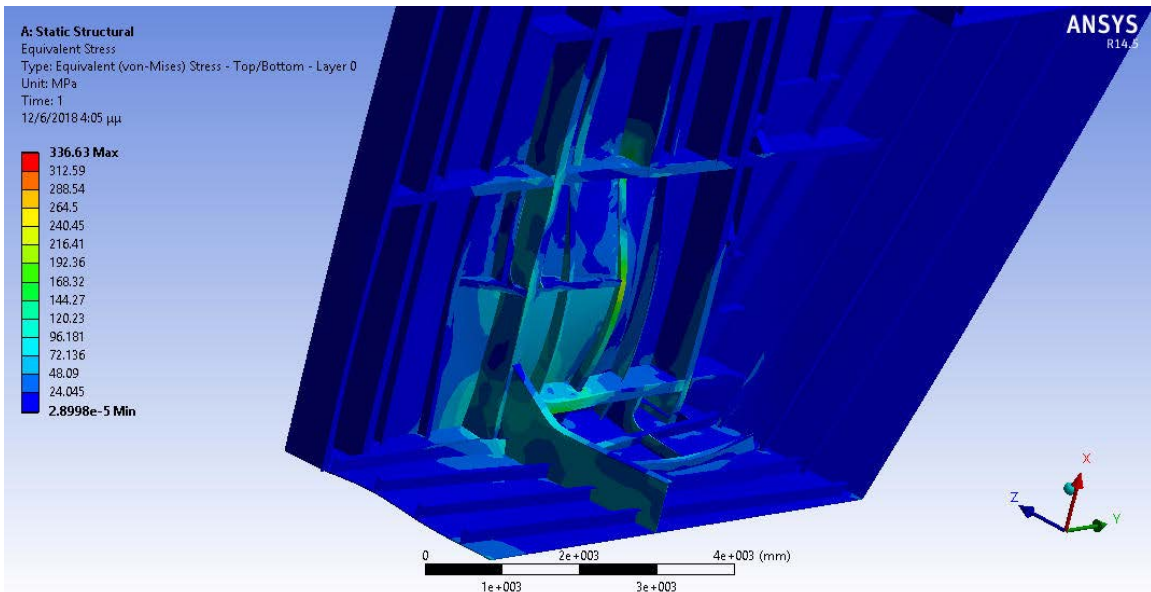
Εικόνα 56: Τομή καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 57: Τομή πλάγιας όψης καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



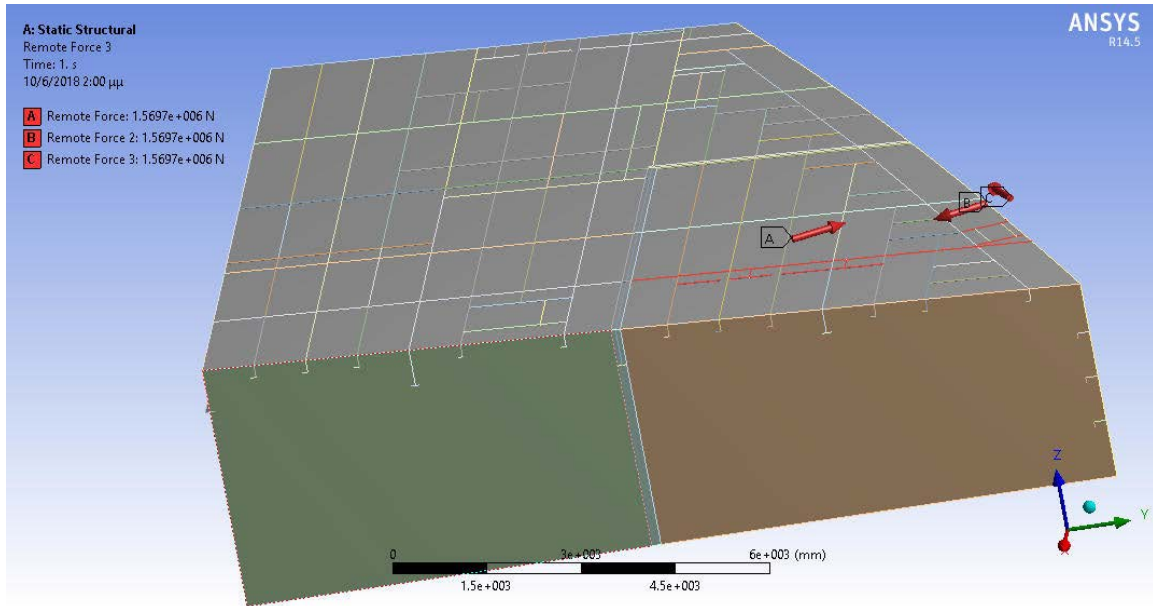
Εικόνα 58: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 59: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης

5.7 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C3

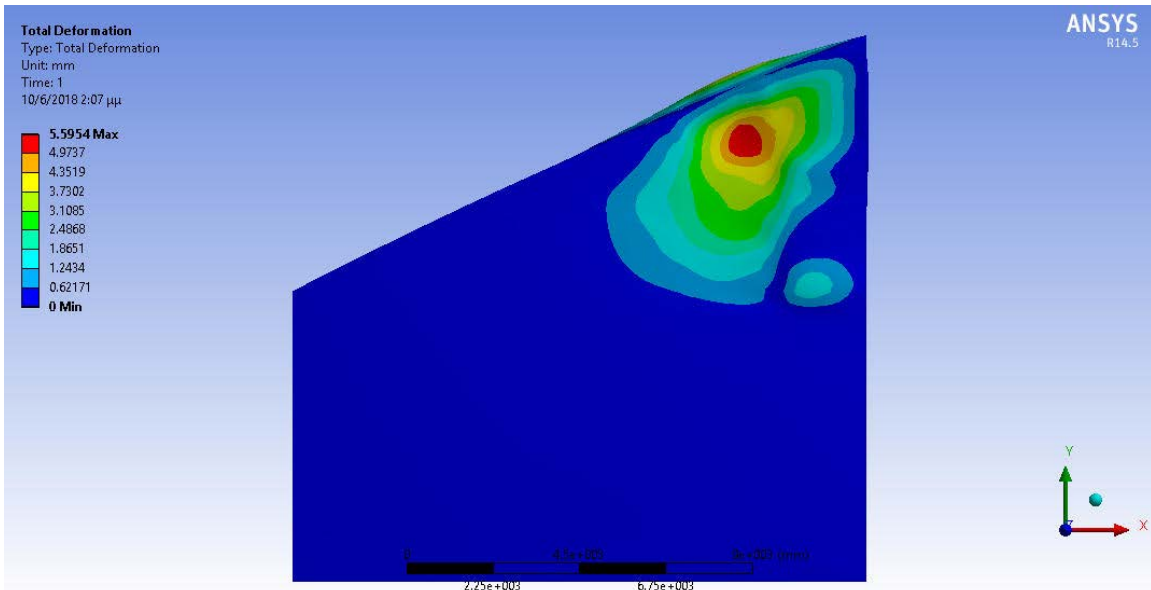
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 60.



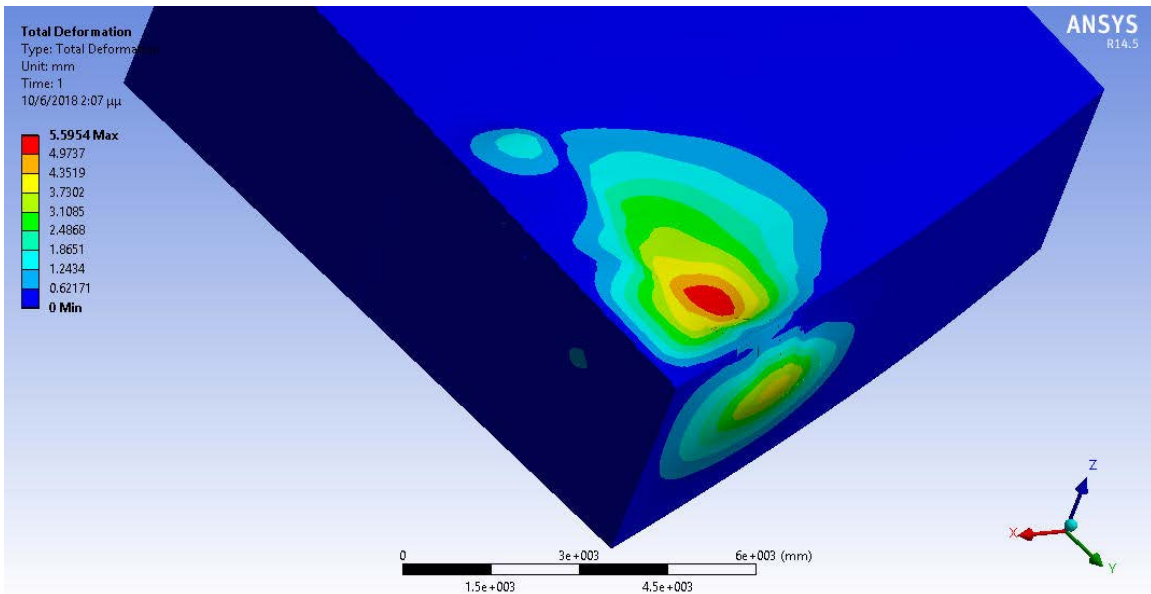
Εικόνα 60: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C3

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην Β ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 61 και 65:

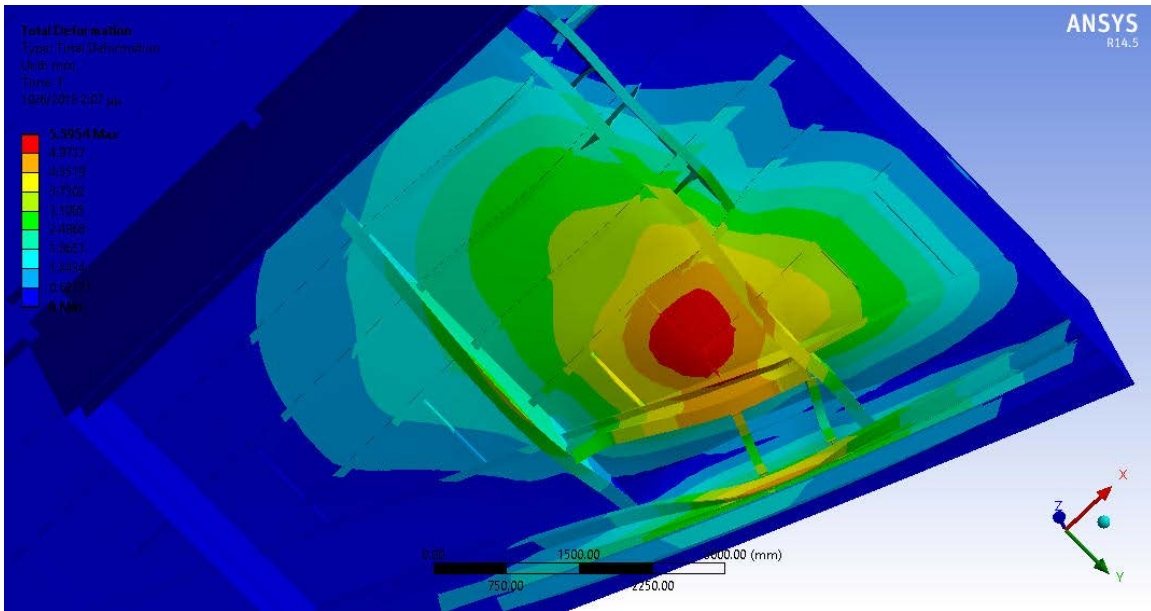
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 5,5954 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 421,41 MPa.



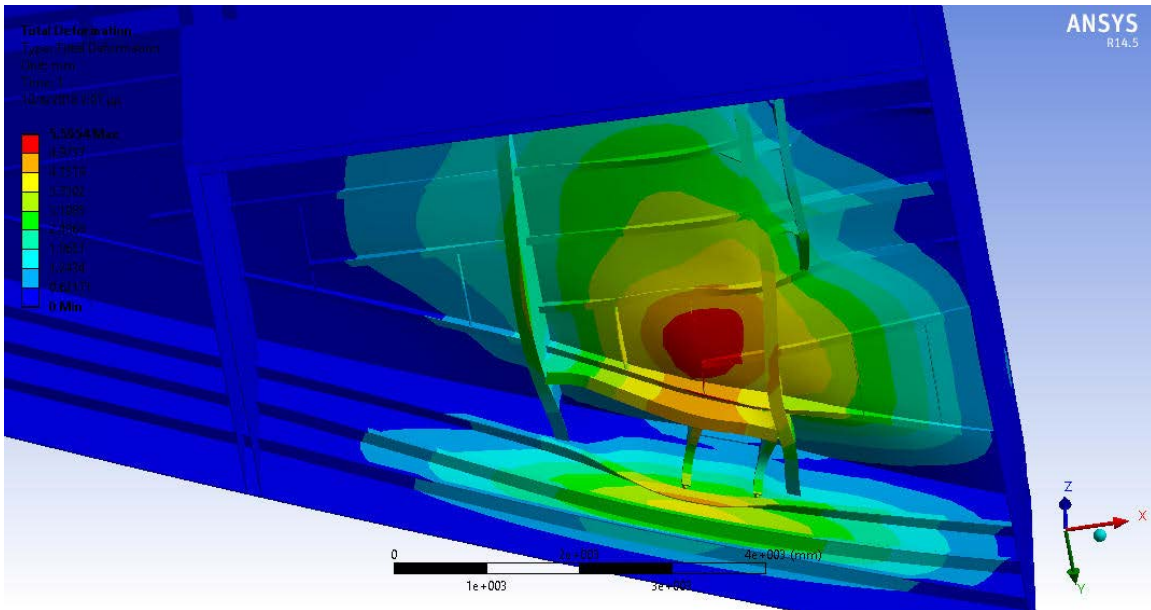
Εικόνα 61: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



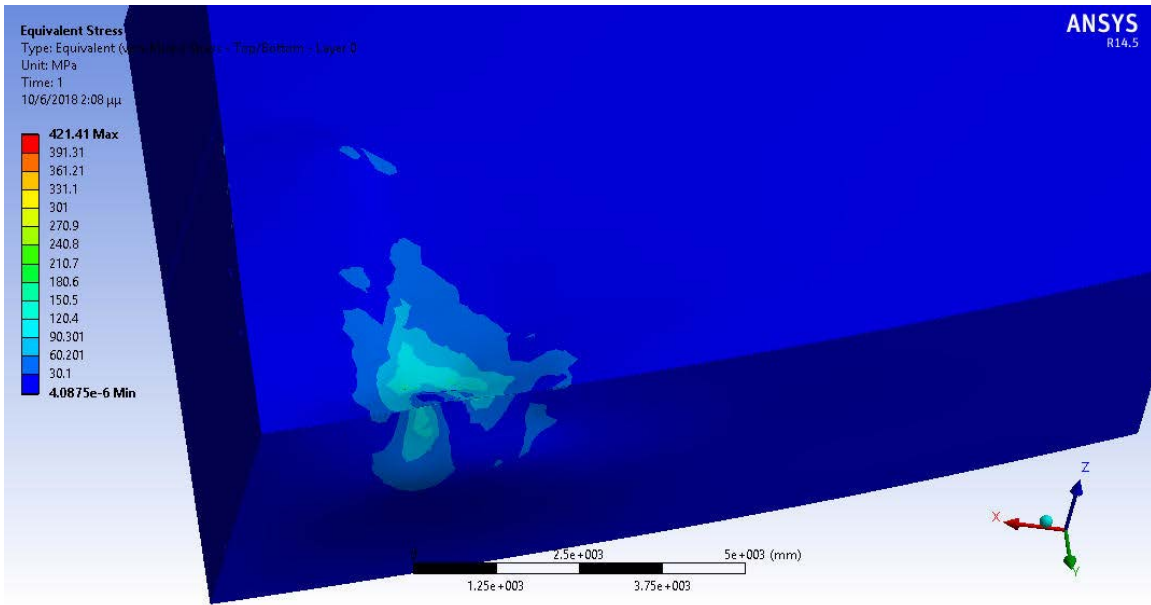
Εικόνα 62: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



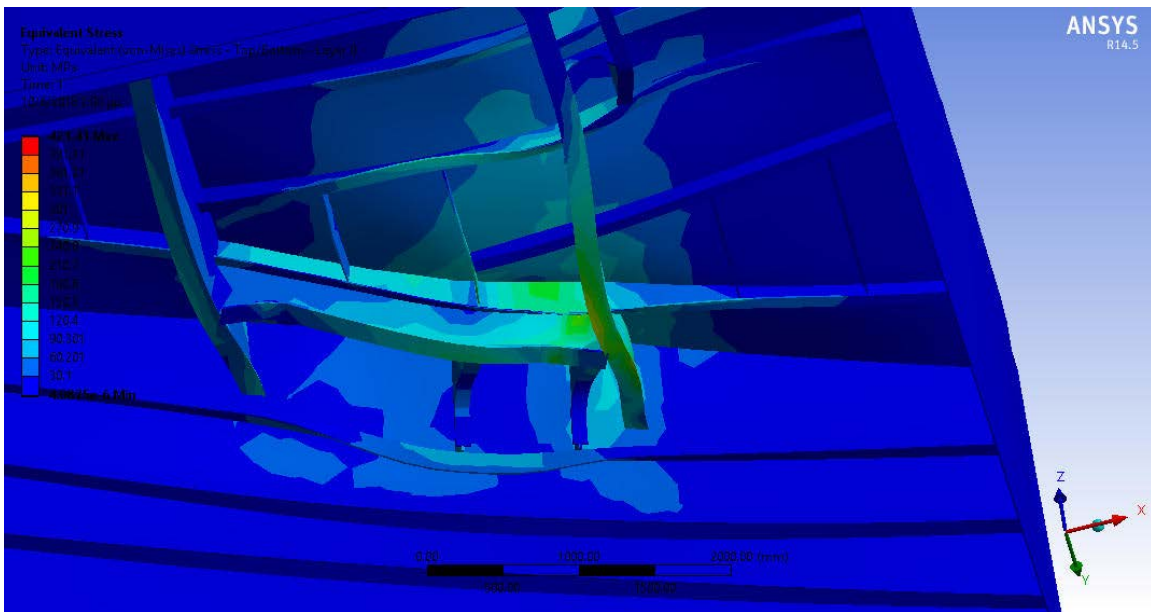
Εικόνα 63: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



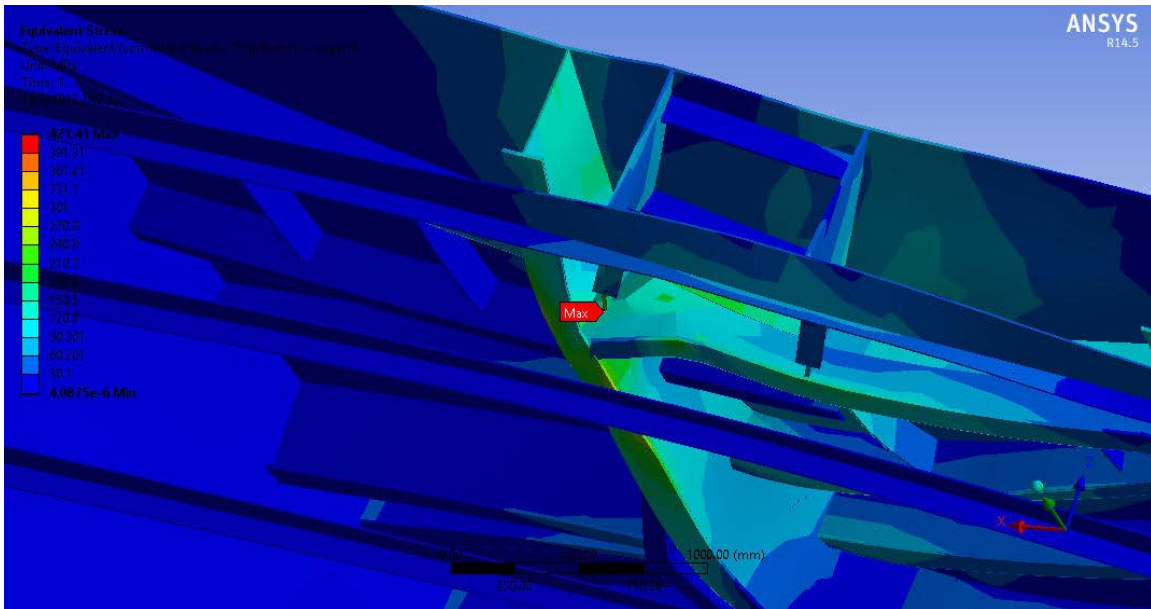
Εικόνα 64: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



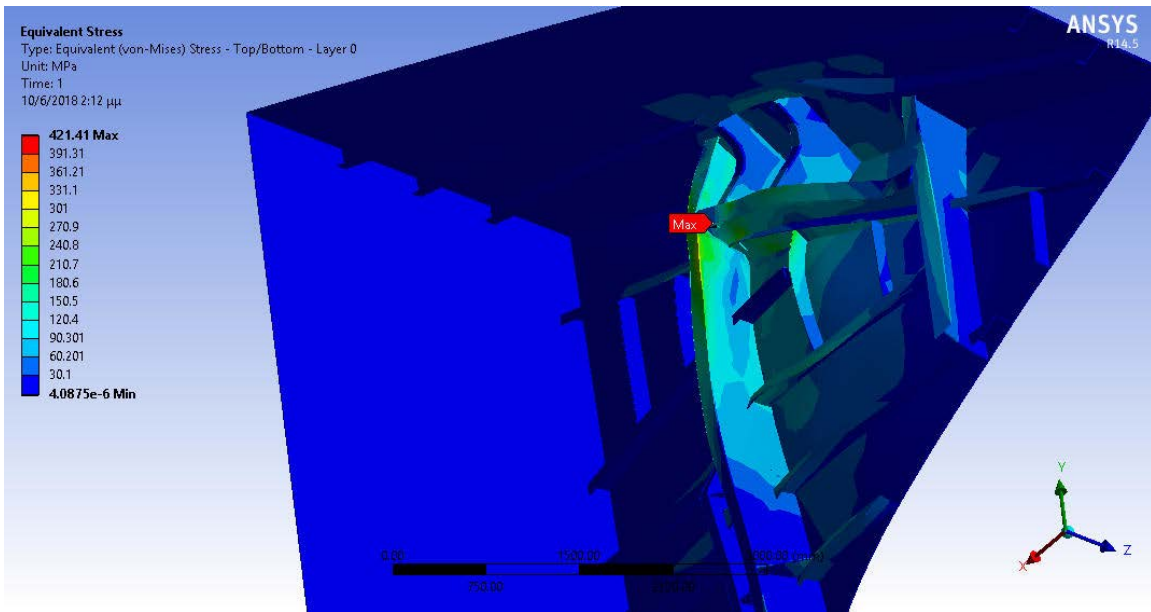
Εικόνα 65: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 66: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 67: Τομή καταστροφάτος περίπτωσης C3 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 68: Τομή καταστροφάτος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης

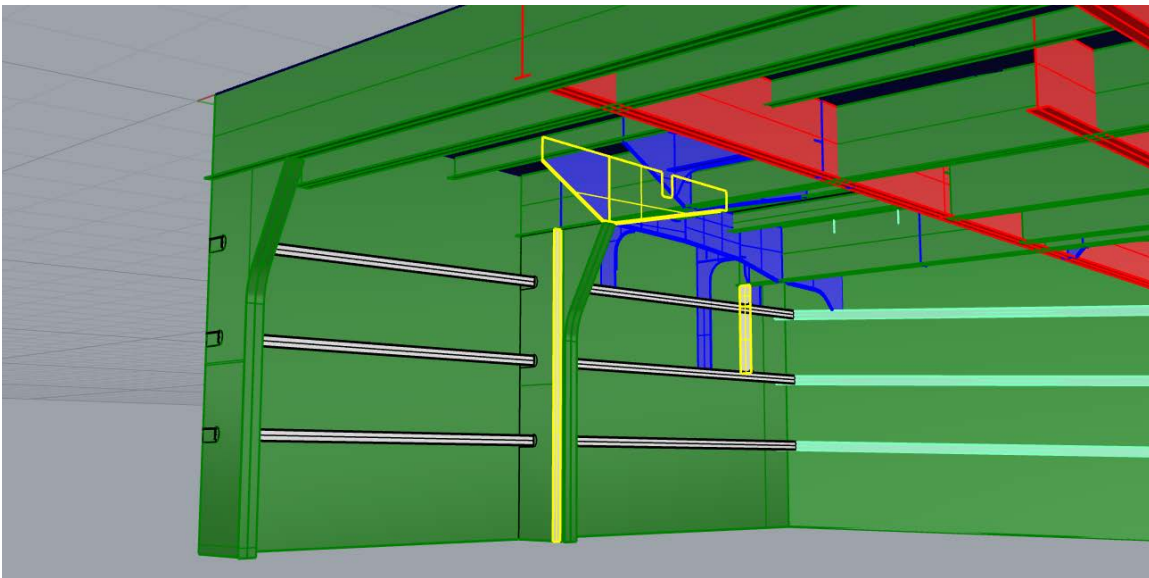
5.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

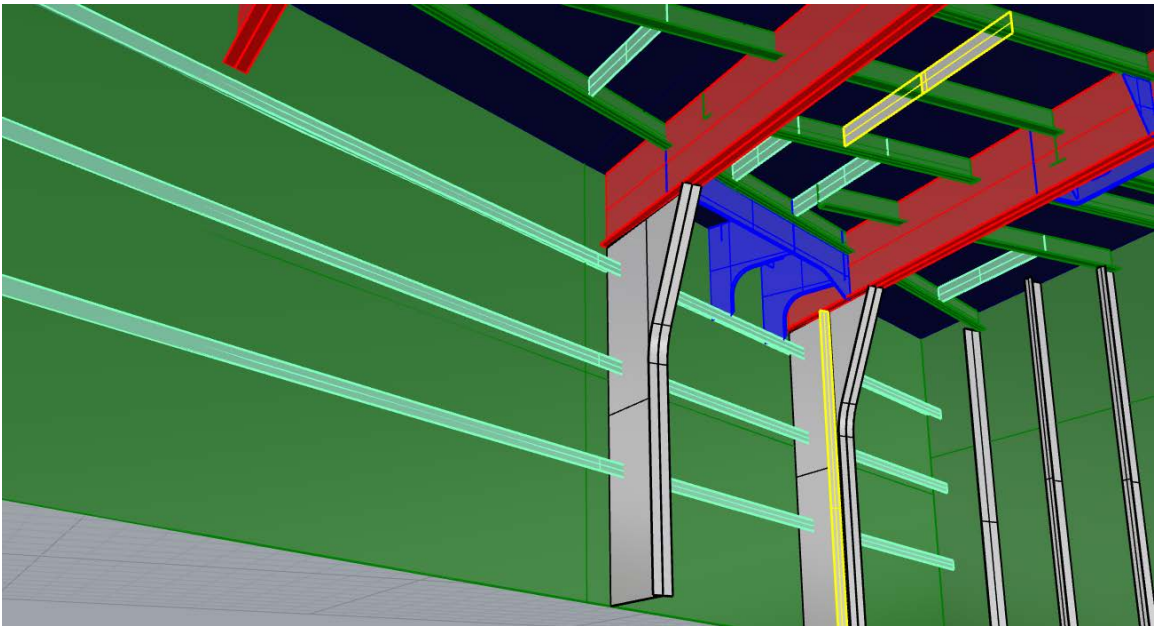
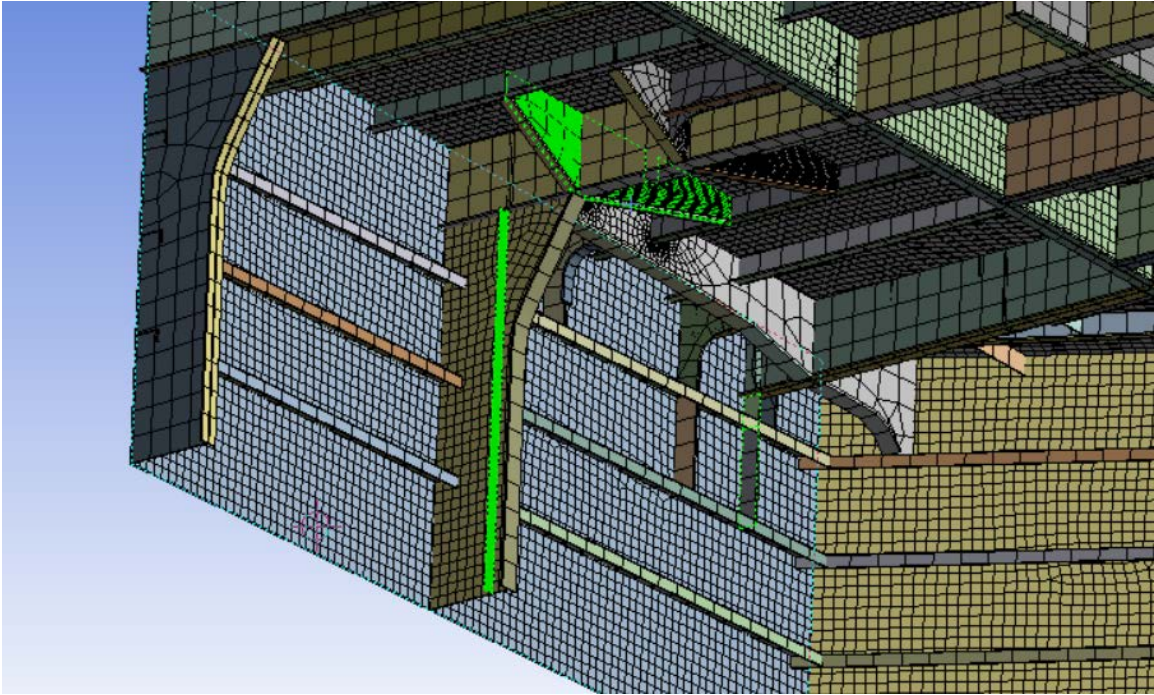
Με την προσθήκη των ενισχυτικών είναι εμφανής η βελτίωση του προβλήματος που έχει δημιουργηθεί αλλά και πάλι οι διατμητικές τάσεις ξεπερνούν το όριο διαρροής τους. Σε αυτή τη φάση θέτουμε ένα επιπλέον συντελεστή τον λυγισμό. Η μελέτη του λυγισμού είναι πλέον απαραίτητη από όλους τους Νηογνώμονες αφού αυτός αποτελεί σημαντικό κριτήριο για το τελικό πάχος των ενισχυτικών και των ελασμάτων των πλοίων.

Σαν λυγισμό ορίζουμε την ασταθή κατάρρευση ενός πρισματικού φορέα υπό την επίδραση θλιπτικών φορτίων που υπερβαίνουν κάποια τιμή. Ο λυγισμός μπορεί να ξεκινήσει λόγω μικρής εκκεντρότητας του φορτίου ή λόγω κατασκευαστικών ατελειών των πρισματικών φορέων. Σύνηθες σημείο εμφάνισης του φαινομένου αυτού, είναι στα ελάσματα του καταστρώματος και του πυθμένα του πλοίου που υπόκεινται σε ομοαξονικές θλιπτικές φορτίσεις η οποίες προκαλούν το λυγισμό του ελάσματος. Ταυτόχρονα ο λυγισμός των υποστυλωμάτων αποτελούν επίσης μια ασταθής κατάσταση.

Το φαινόμενο του λυγισμού συμβαίνει όταν η τιμή του θλιπτικού φορτίου ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένη, ελάχιστη τιμή, το κρίσιμο φορτίο λυγισμού.

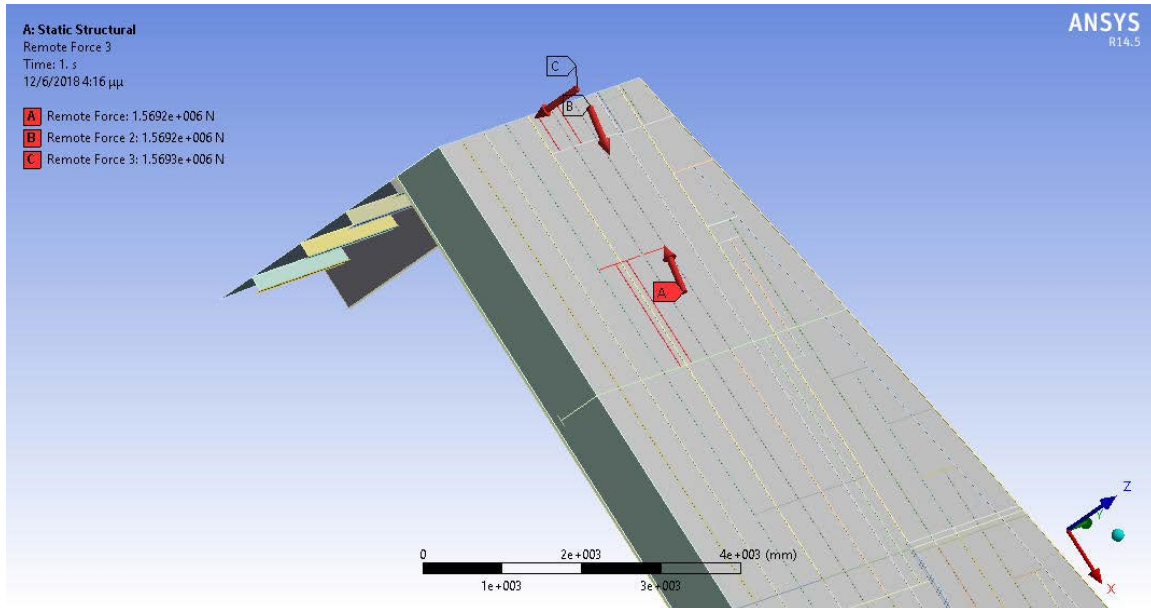
Για το λόγο αυτό προστέθηκαν τα ακόλουθα ενισχυτικά. Η πρώτη εικόνα αφορά την ενίσχυση των περιοχών για τις περιπτώσεις A1-3 και η δεύτερη τις C1-3.





5.9 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α1

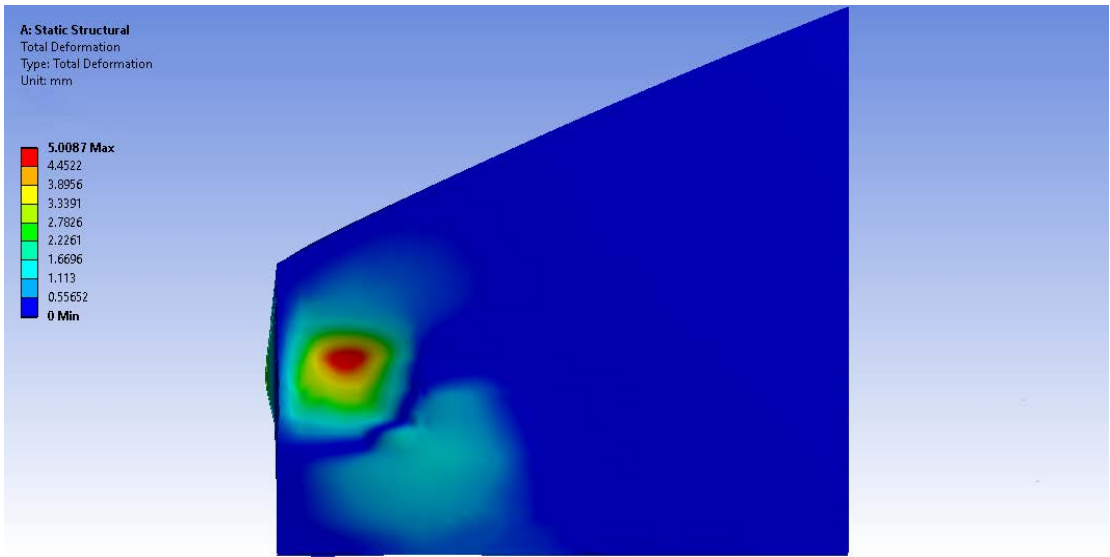
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 69.



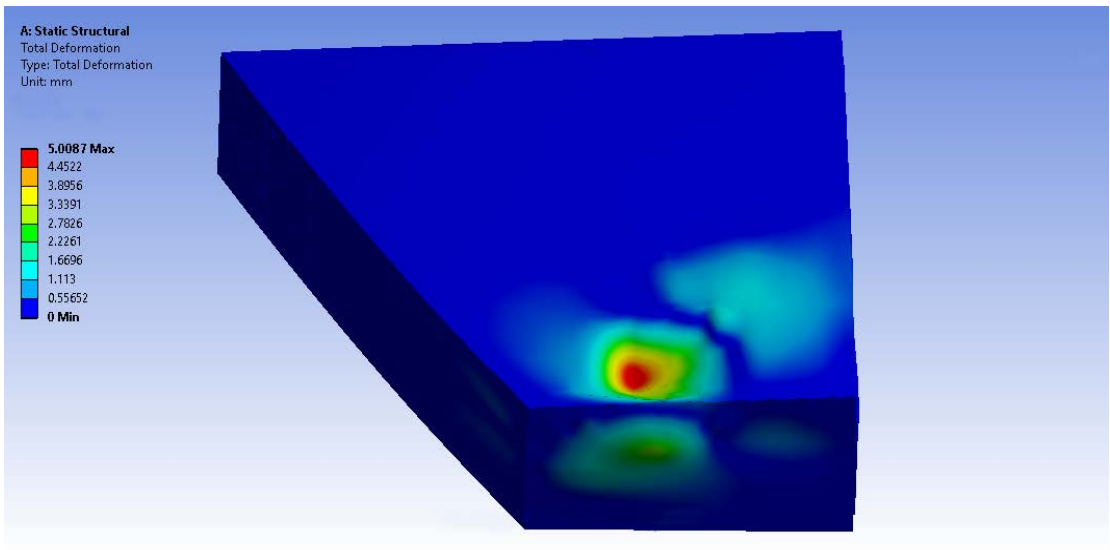
Εικόνα 69: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης Α1

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην Α ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 70, 75 και 79:

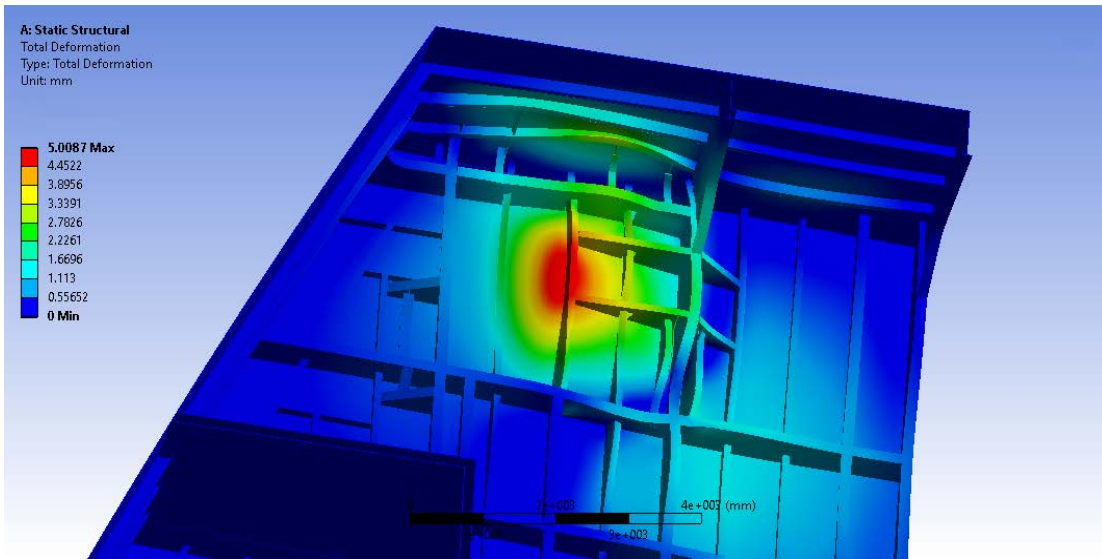
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 5,0087 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 257,62 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,8201.



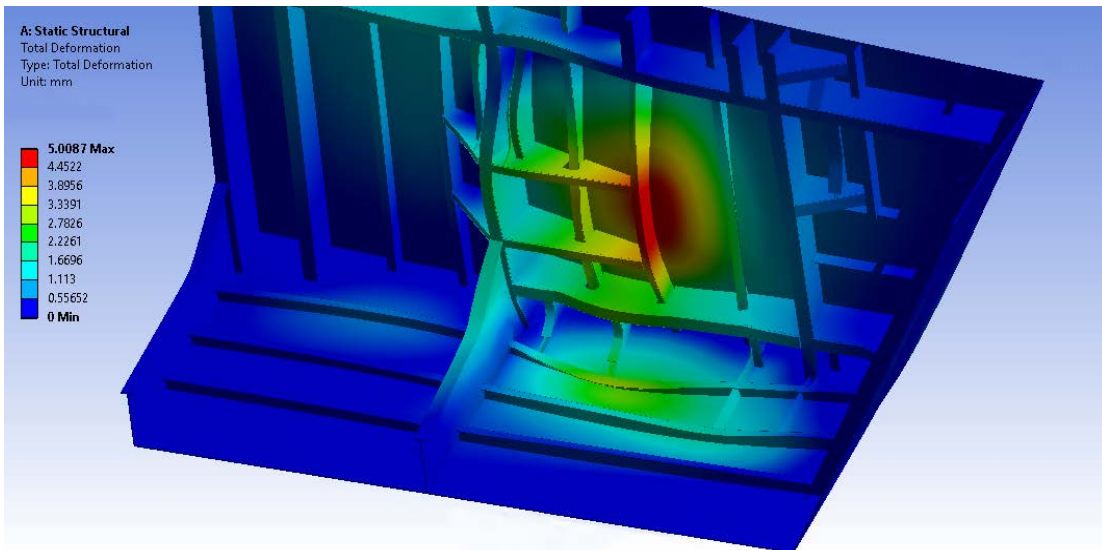
Εικόνα 70: Κάτωψη καταστρώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



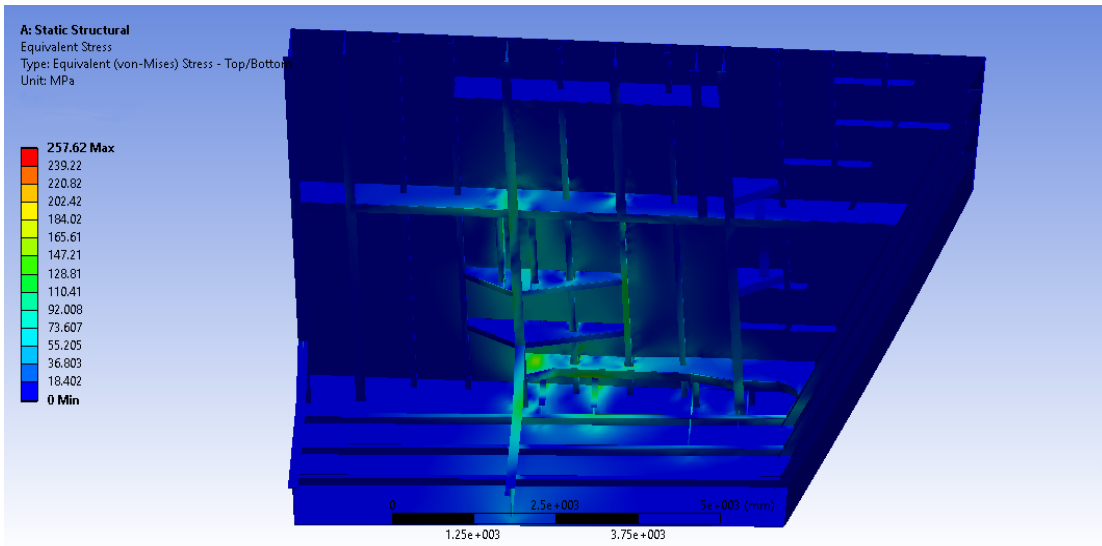
Εικόνα 71: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



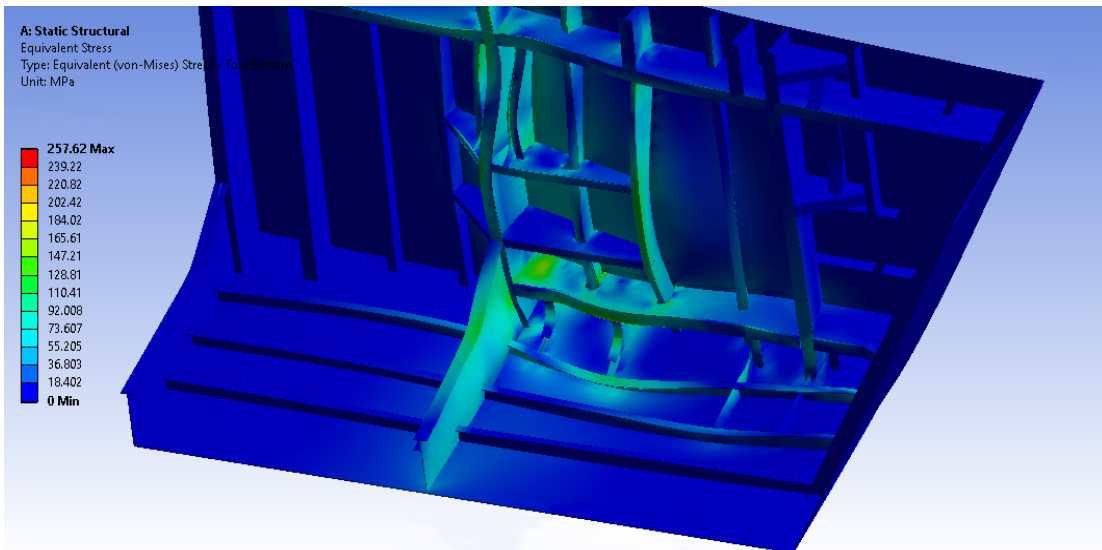
Εικόνα 72: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



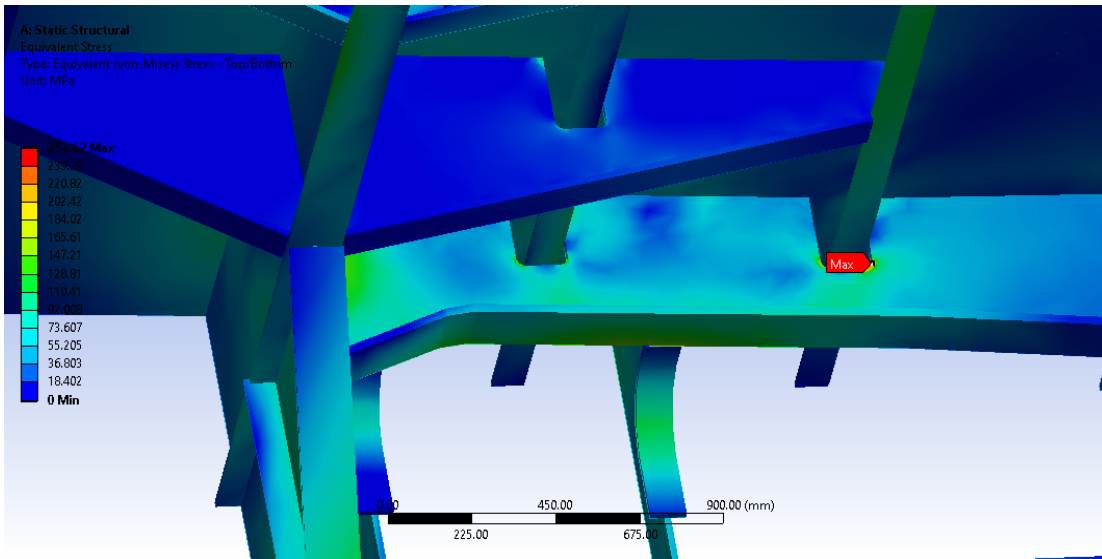
Εικόνα 73: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



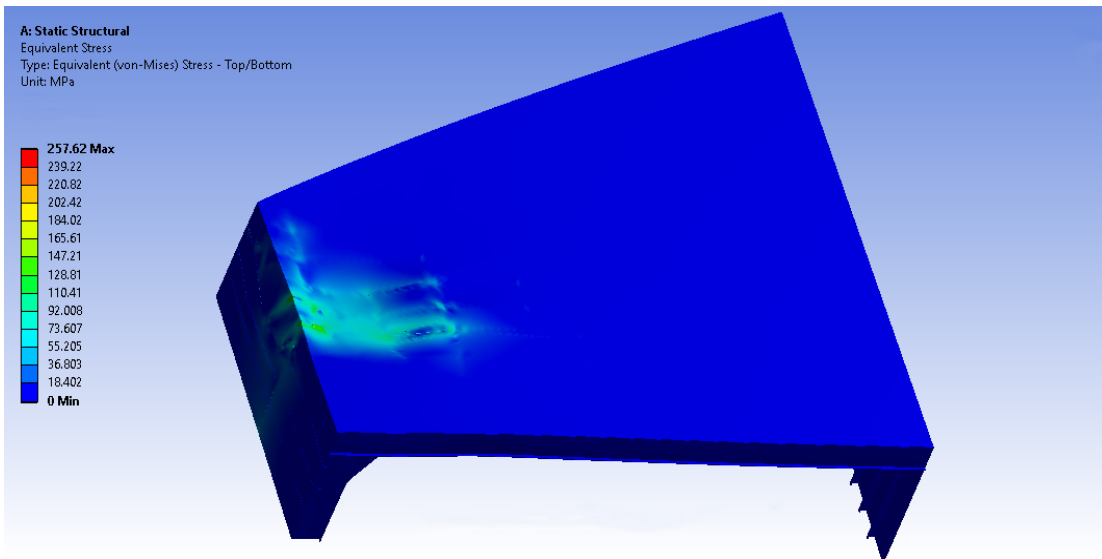
Εικόνα 74: Τομή καταστρώματος περίπτωσης Α1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



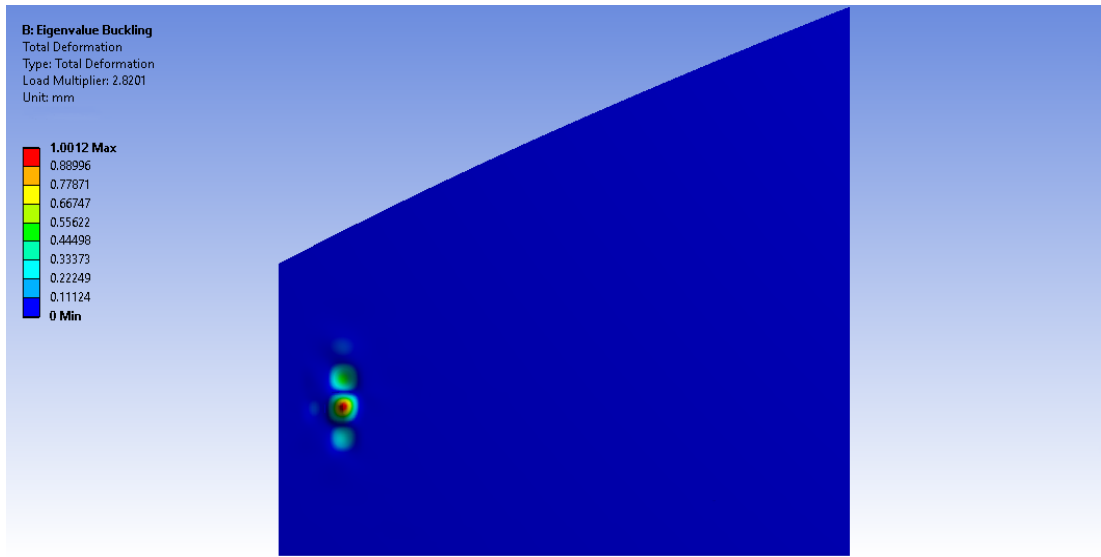
Εικόνα 75: Τομή καταστρώματος περίπτωσης Α1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



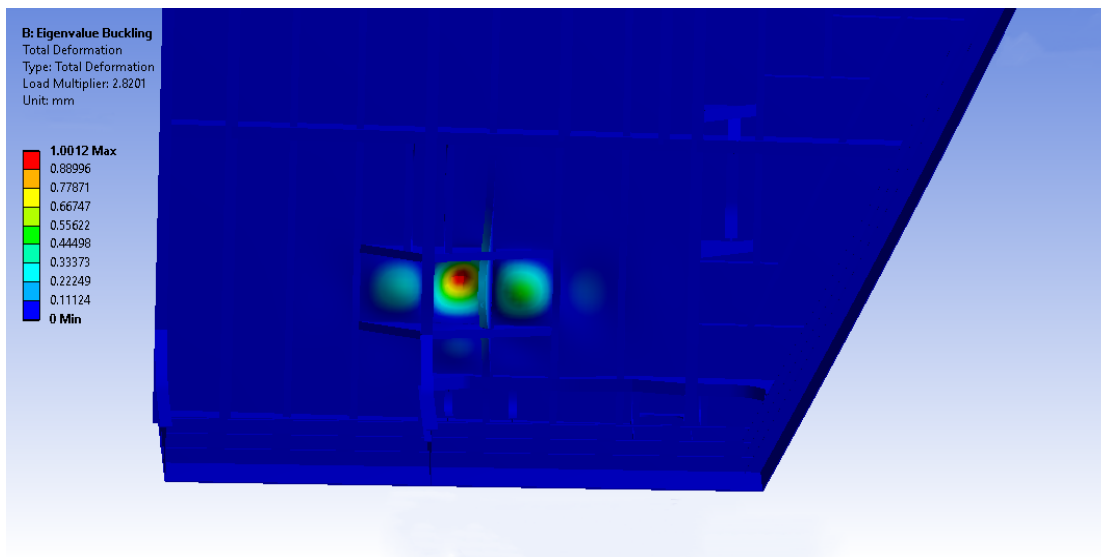
Εικόνα 76: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A1 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 77: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



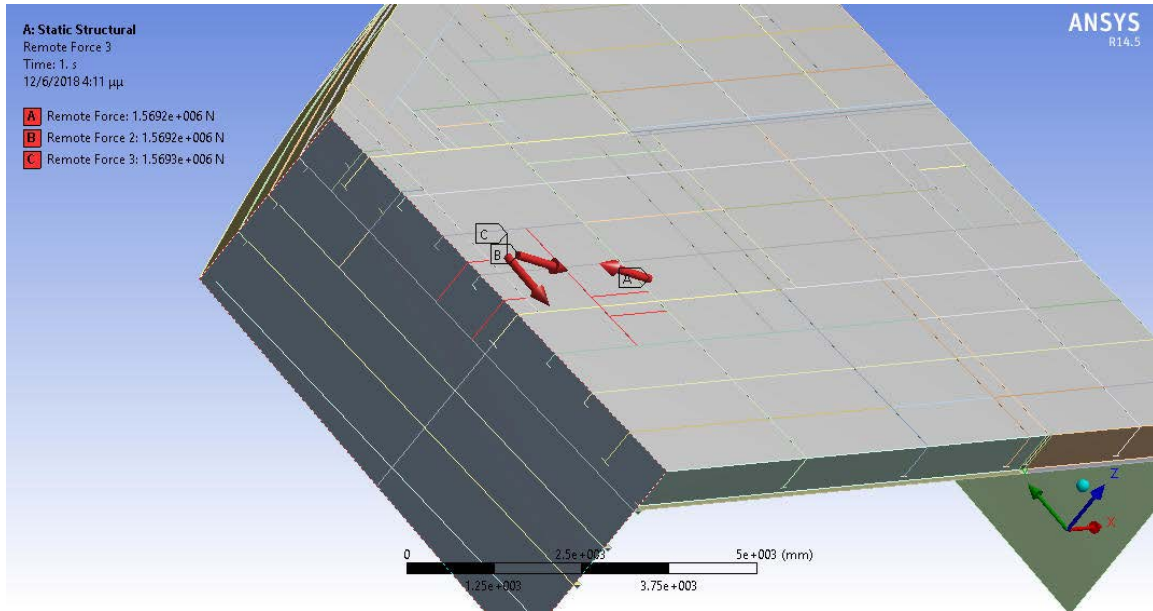
Εικόνα 78: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης Α1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή.



Εικόνα 79: Άνοψη καταστώματος περίπτωσης Α1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή.

5.10 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ A2

Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 80.

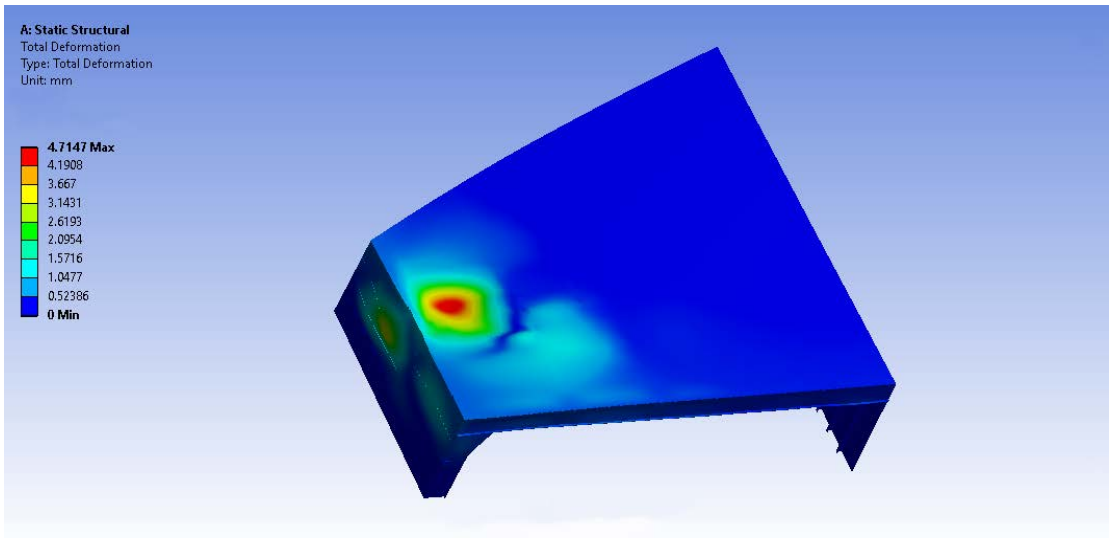


Εικόνα 80: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A2

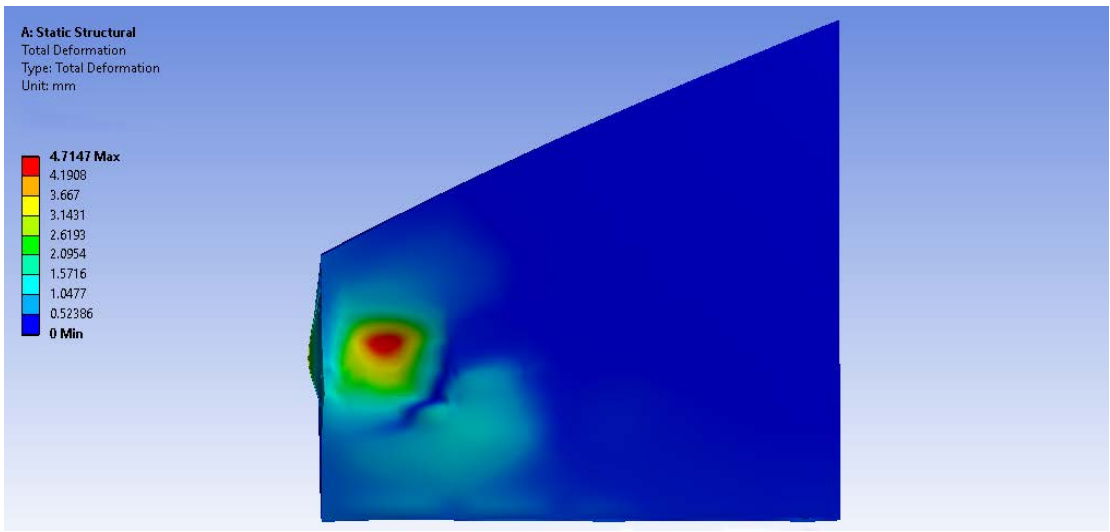
Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην A ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 81 και 85:

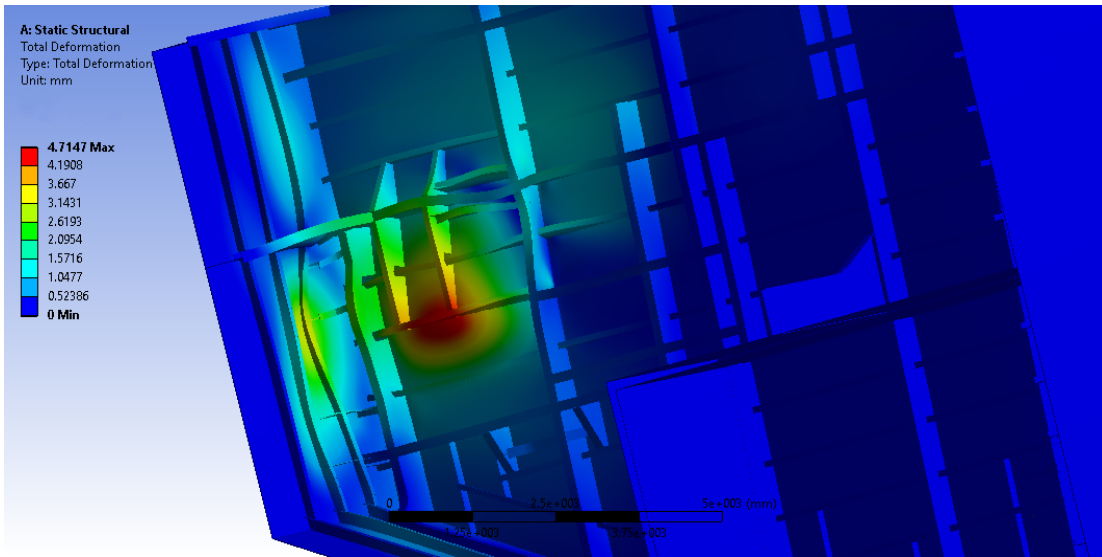
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 4,7147 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 238,42 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,8237.



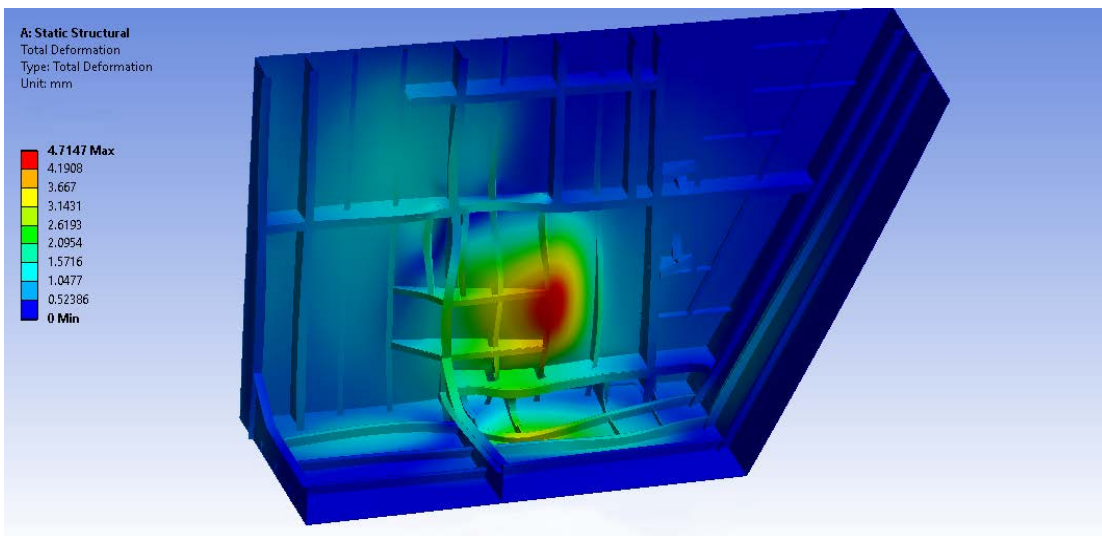
Εικόνα 81: Πλάγια όψη καταστροφάτος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



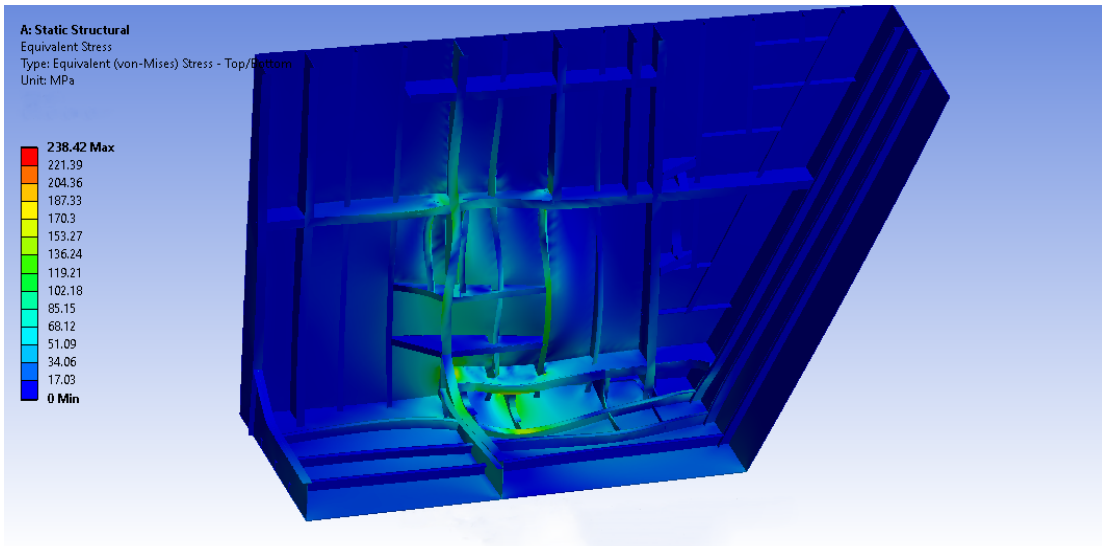
Εικόνα 82: Κάτοψη καταστροφάτος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



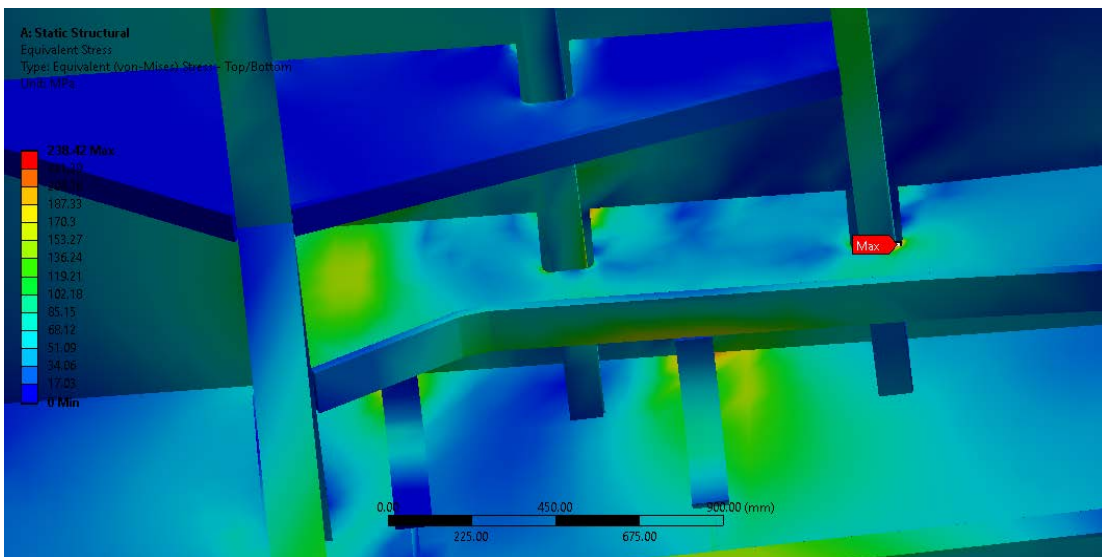
Εικόνα 83: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



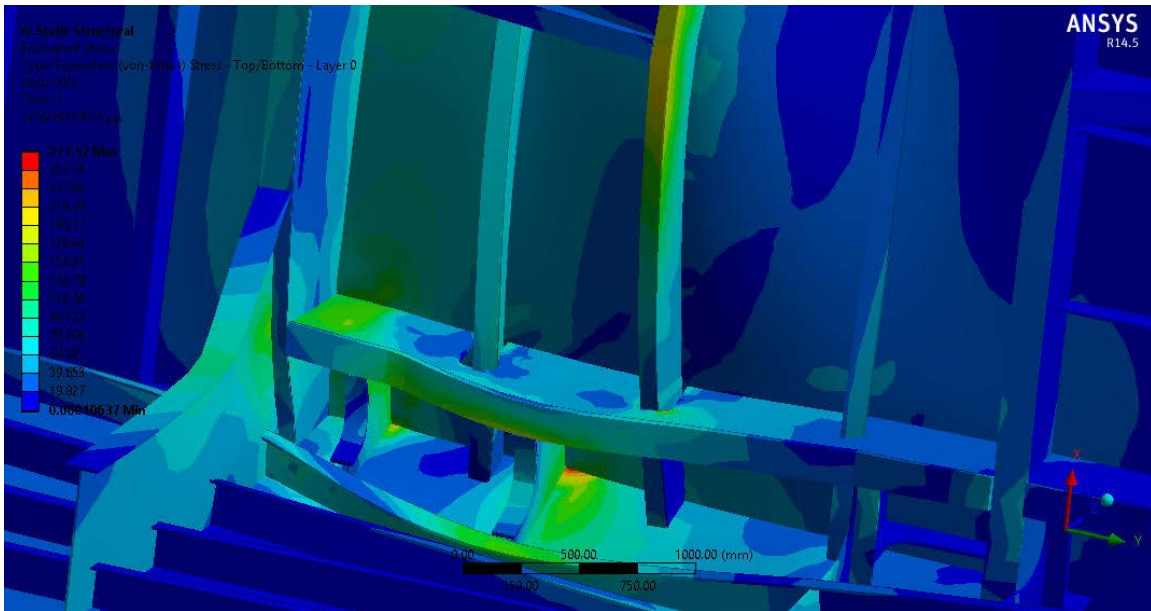
Εικόνα 84: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



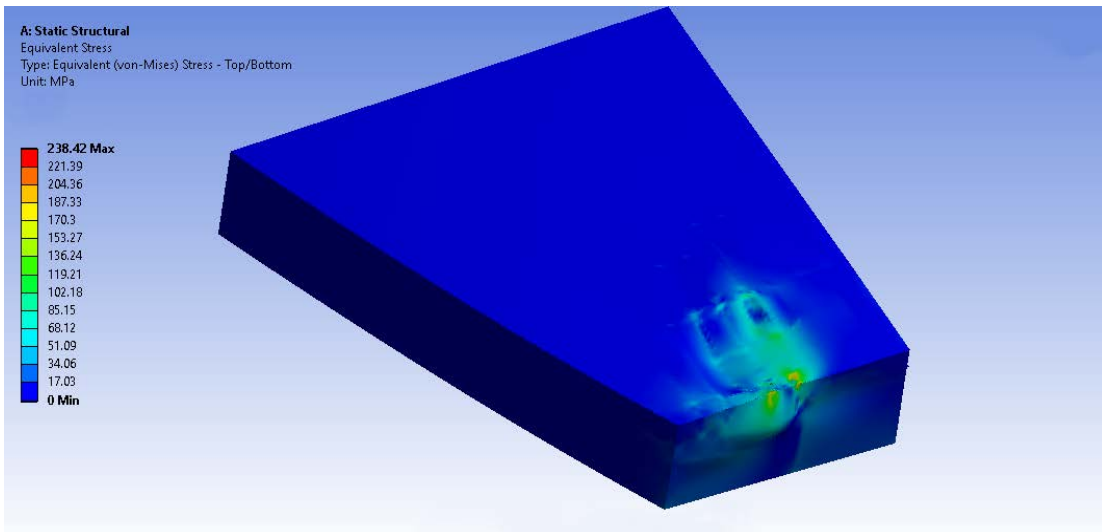
Εικόνα 85: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



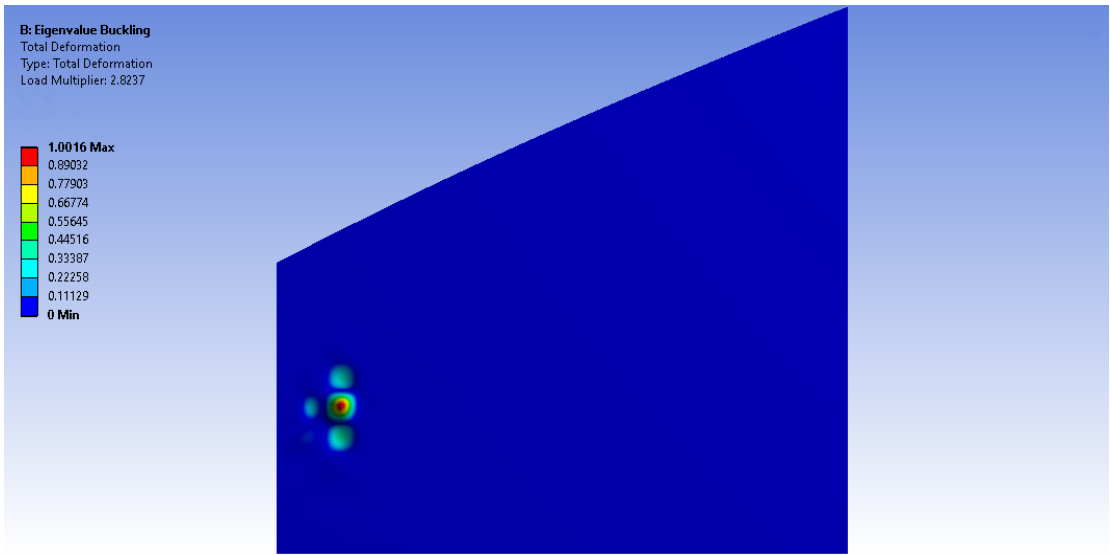
Εικόνα 86: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του σημείου που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



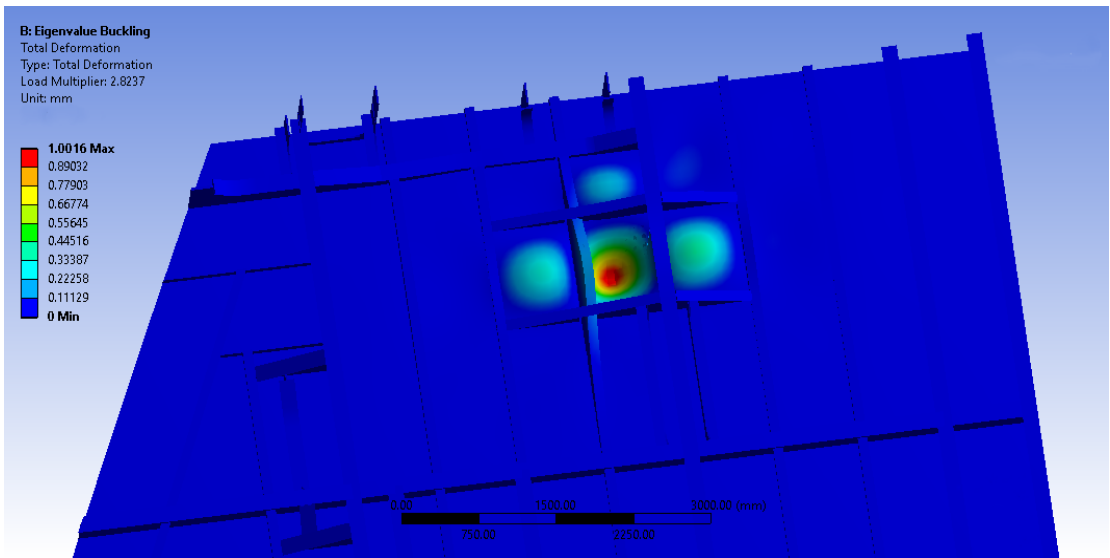
Εικόνα 87: Πλάγια άνοψη καταστροφάτος περίπτωσης A2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 88: Πλάγια όψη καταστροφάτος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής ισοδύναμης τάσης



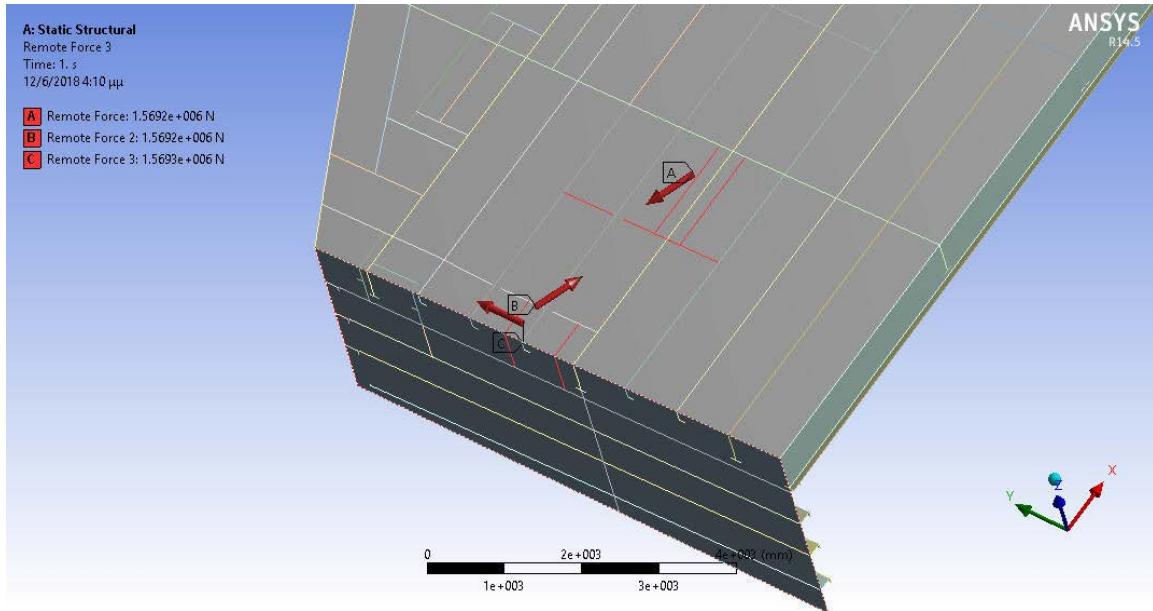
Εικόνα 89: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 90: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.11 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ A3

Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 91.

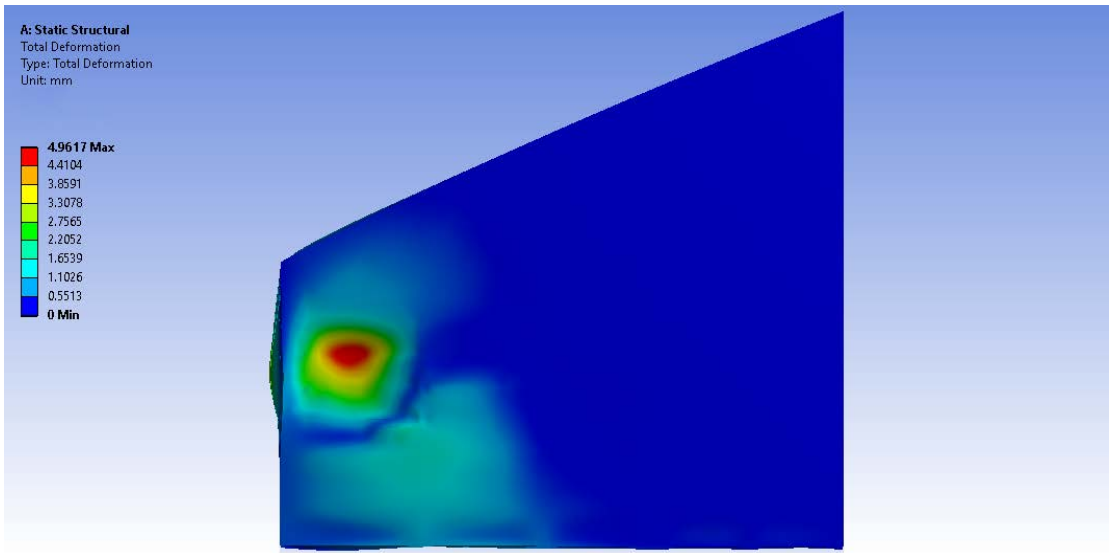


Εικόνα 91: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης A3

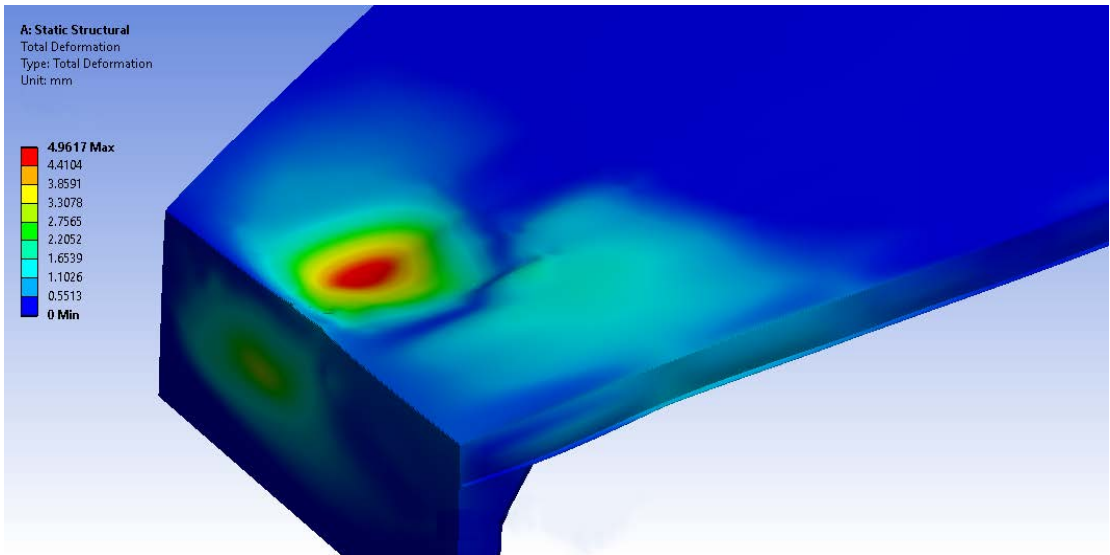
Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην A ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 92 και 96:

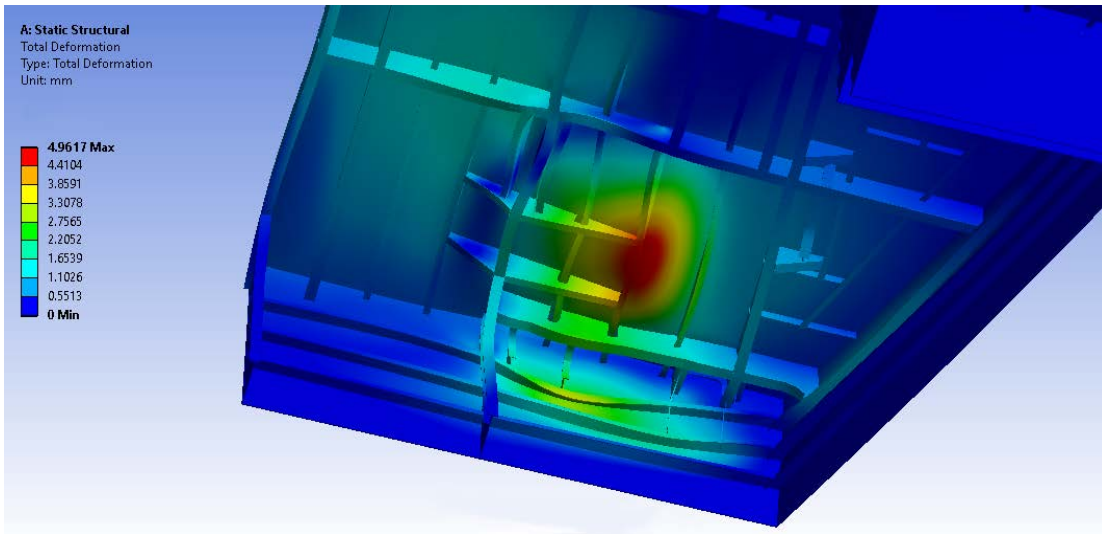
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 4,9617 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 249,4 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,8836.



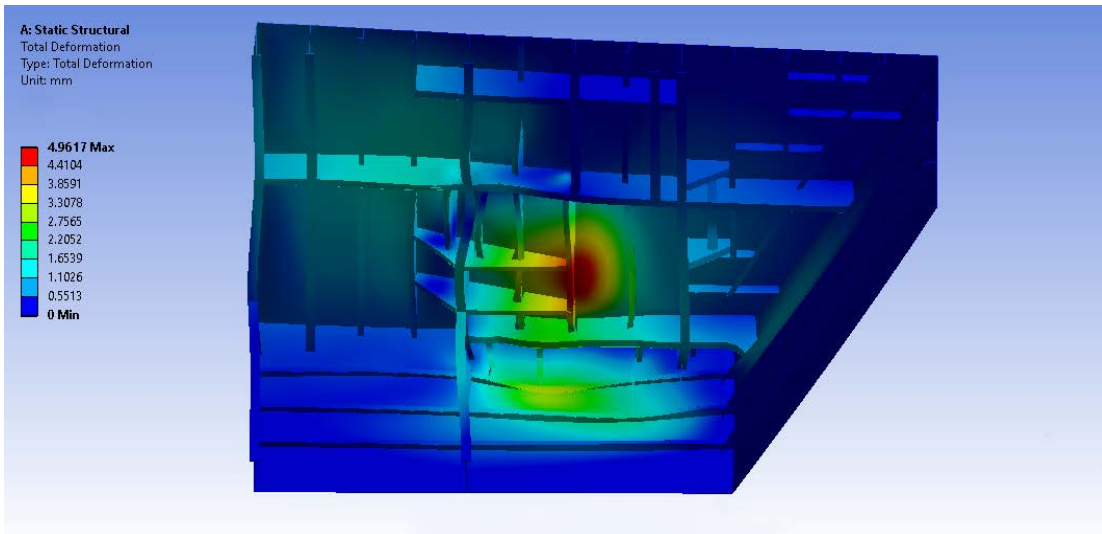
Εικόνα 92: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



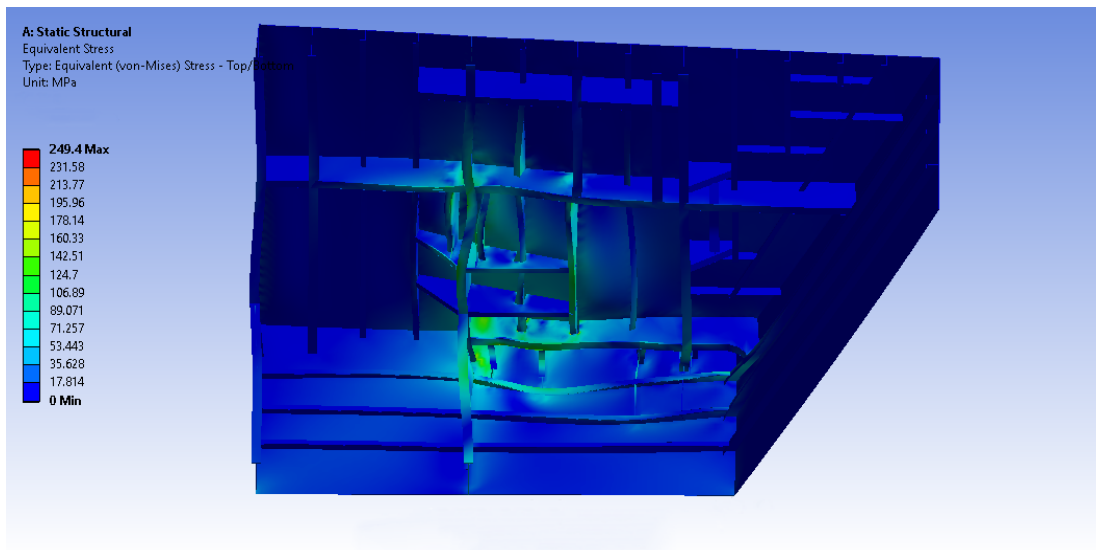
Εικόνα 93: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



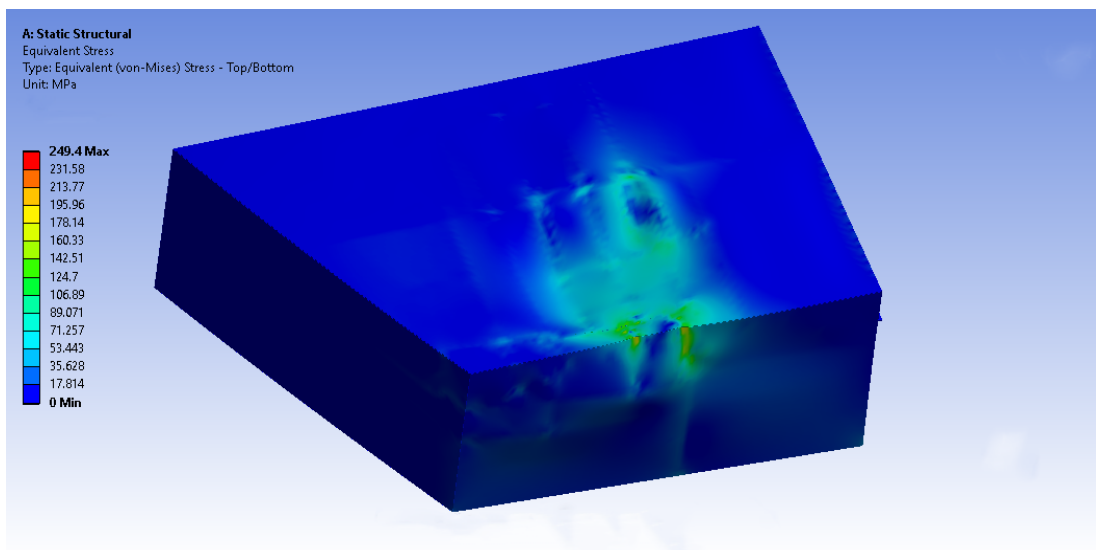
Εικόνα 94: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



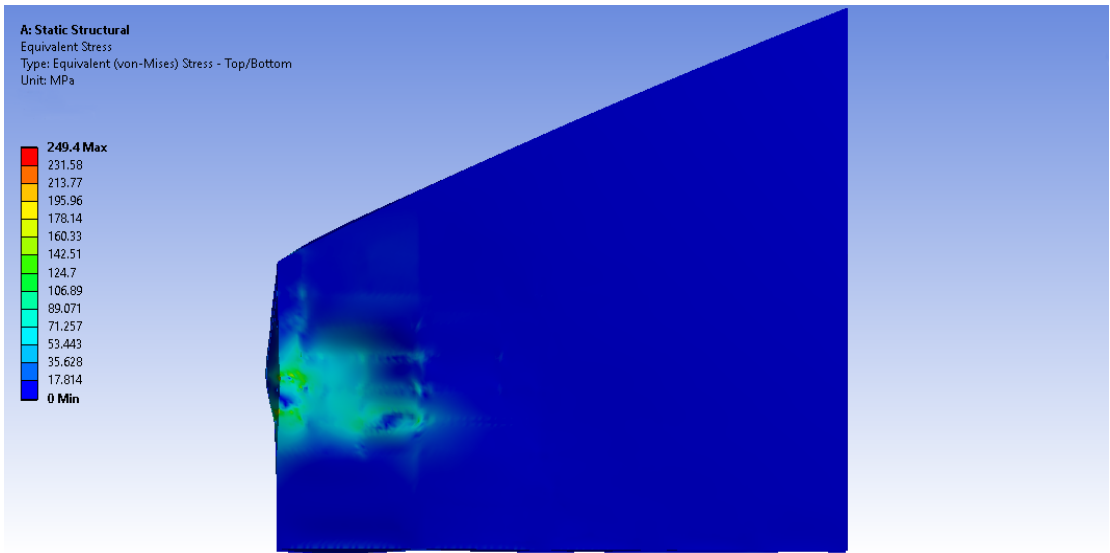
Εικόνα 95: Τομή καταστρώματος περίπτωσης A2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



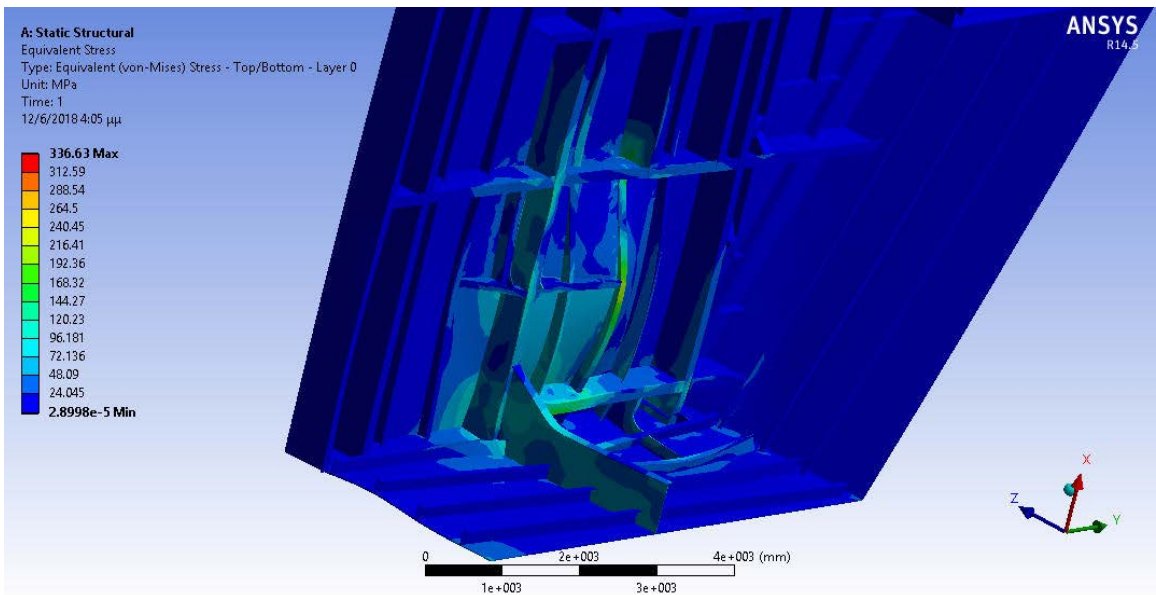
Εικόνα 96: Τομή καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



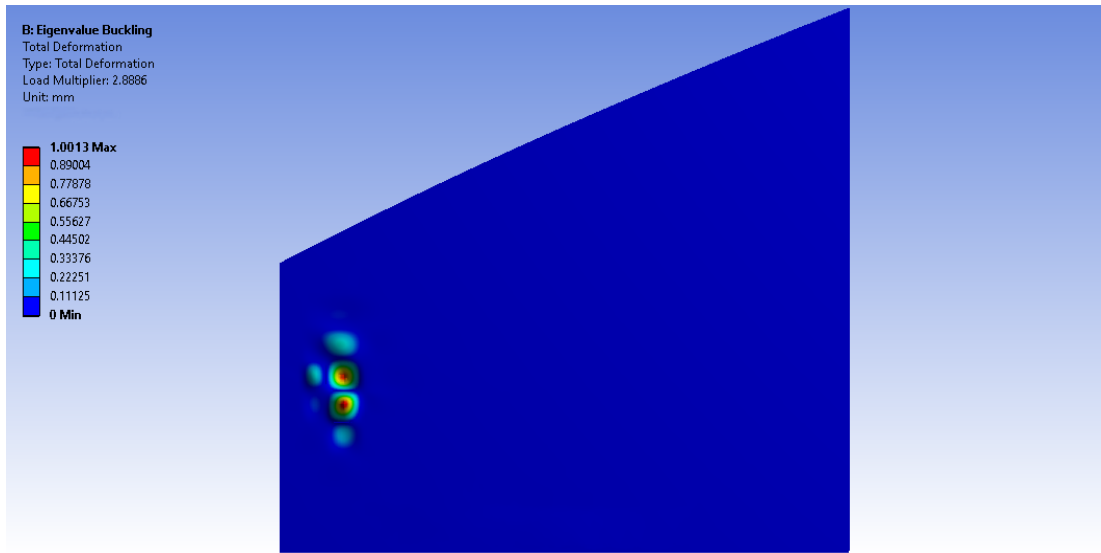
Εικόνα 97: Τομή πλάγιας όψης καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



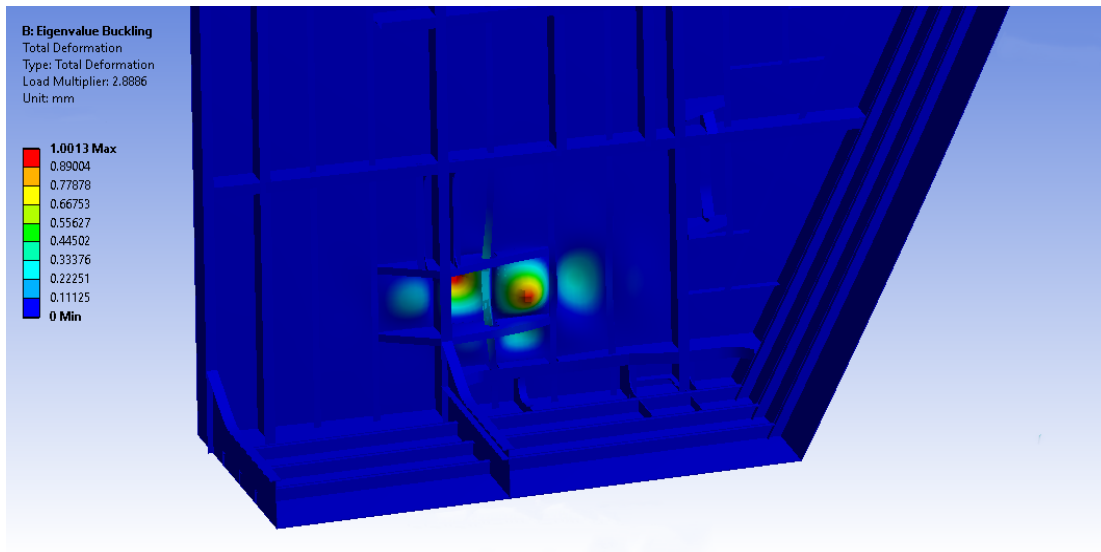
Εικόνα 98: Κάτοψη καταστροφώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 99: Πλάγια όψη καταστροφώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



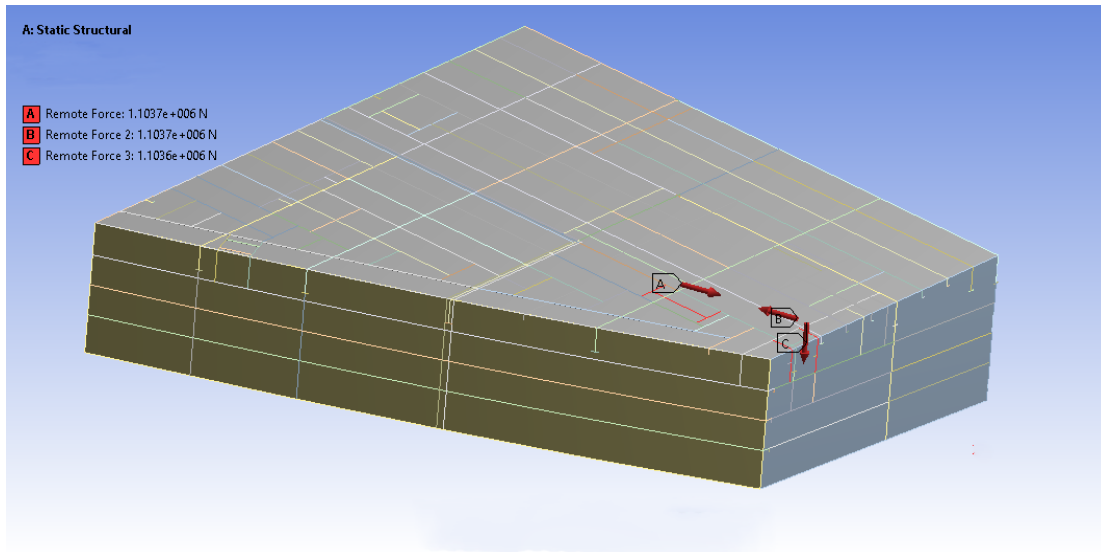
Εικόνα 100: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 101: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης A3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.12 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β1

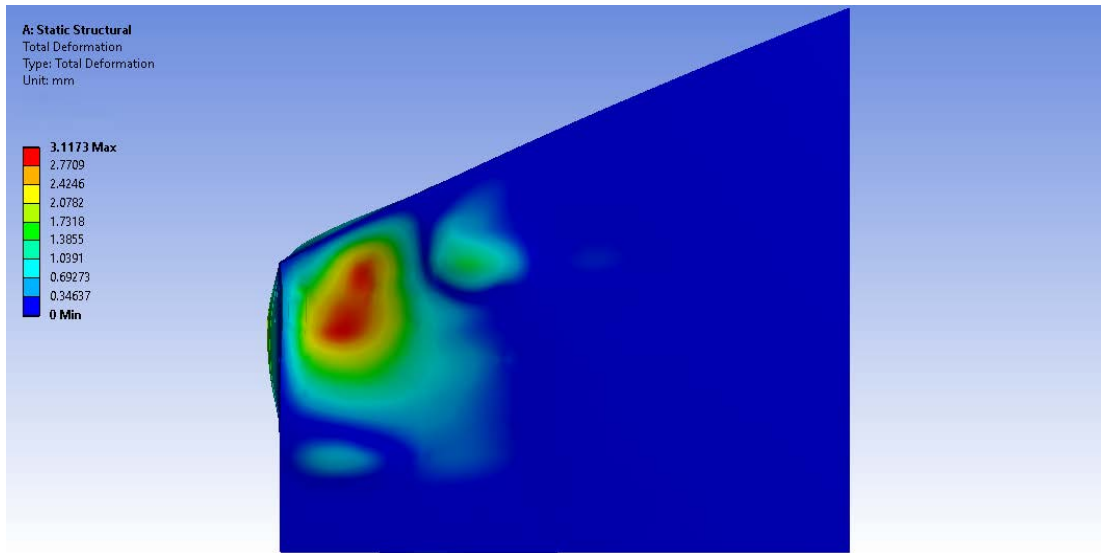
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.103.625 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 102.



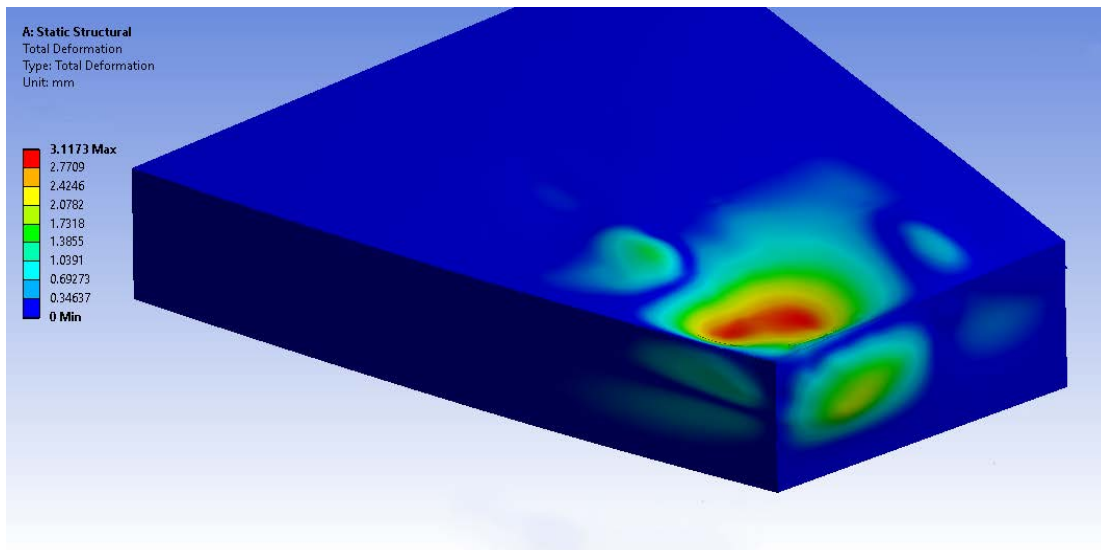
Εικόνα 102: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης Β1

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην Α ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 103 και 107:

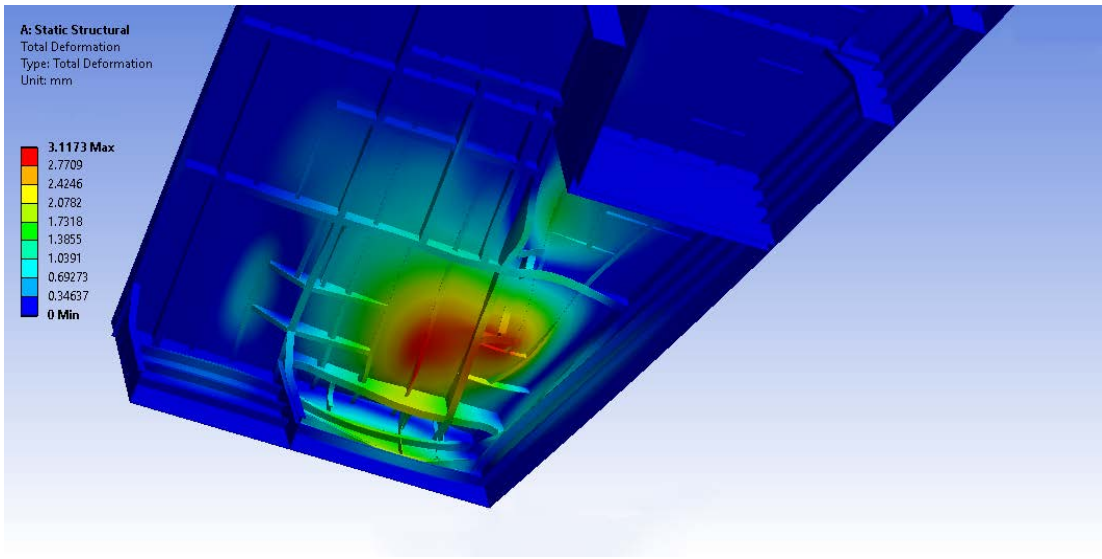
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 3,1173 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 179,99 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 3,2039.



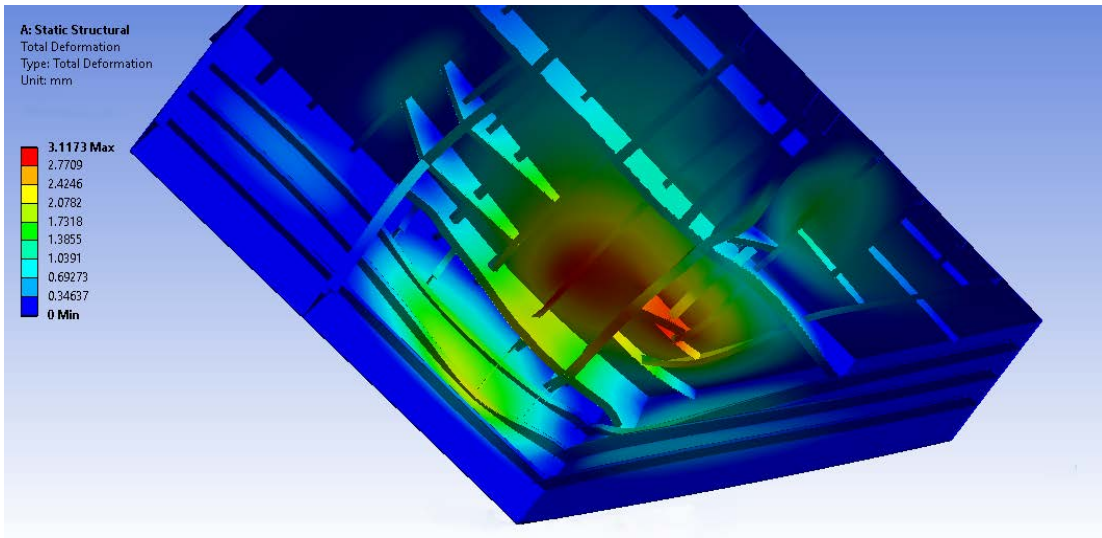
Εικόνα 103: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



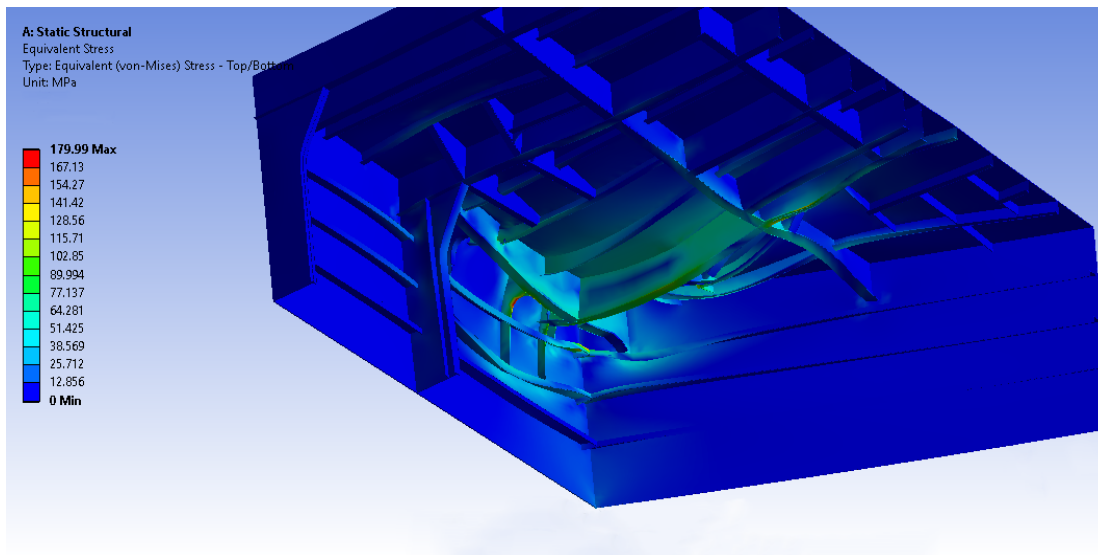
Εικόνα 104: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



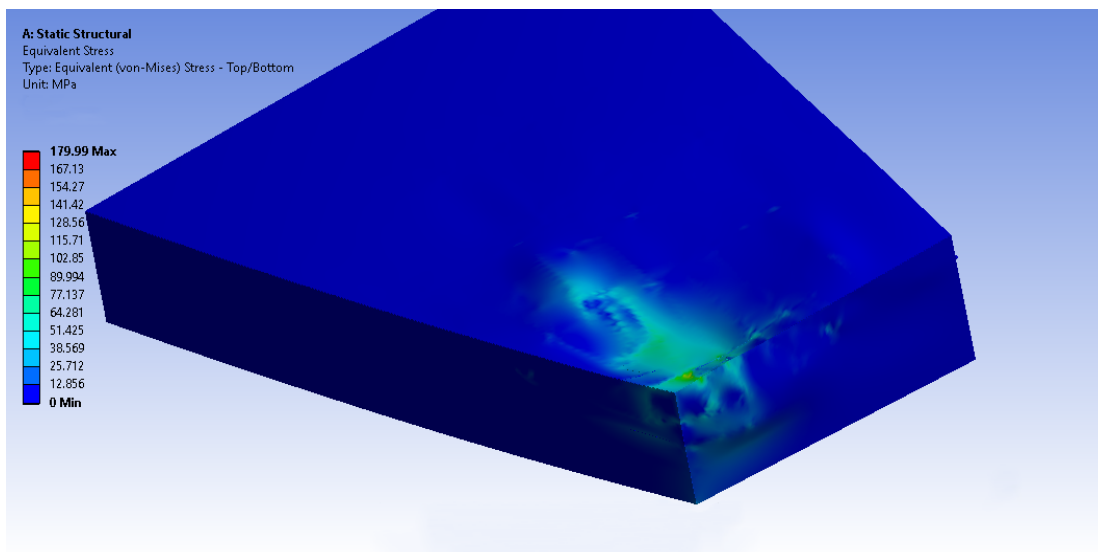
Εικόνα 105: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



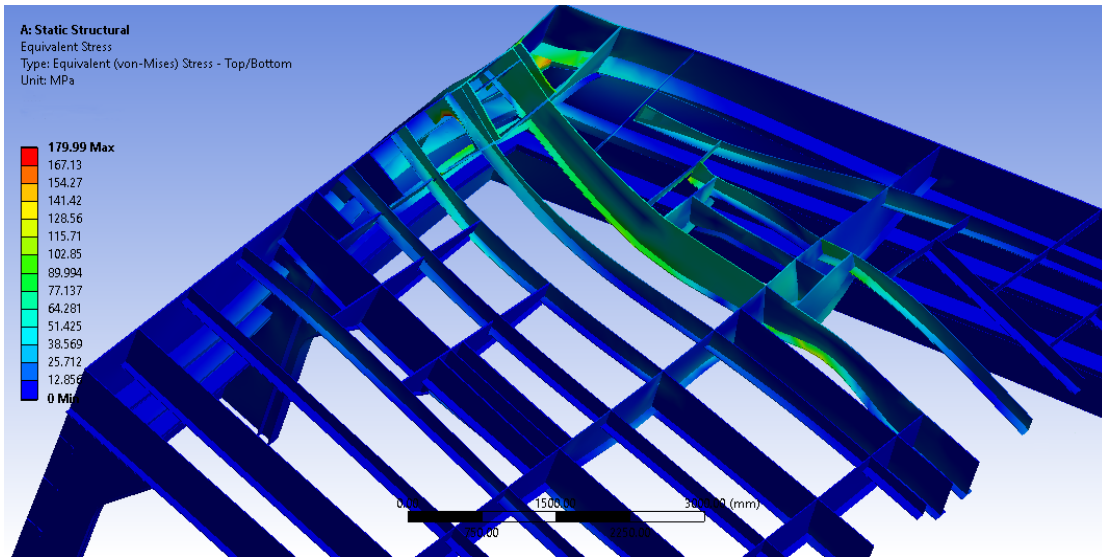
Εικόνα 106: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



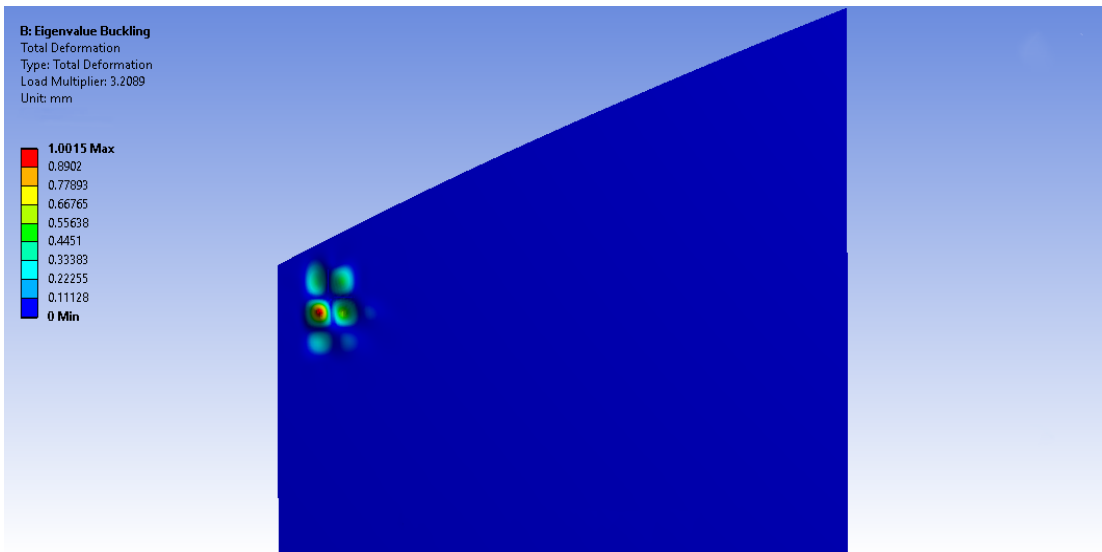
Εικόνα 107: Πλάγια άνοψη καταστροφώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



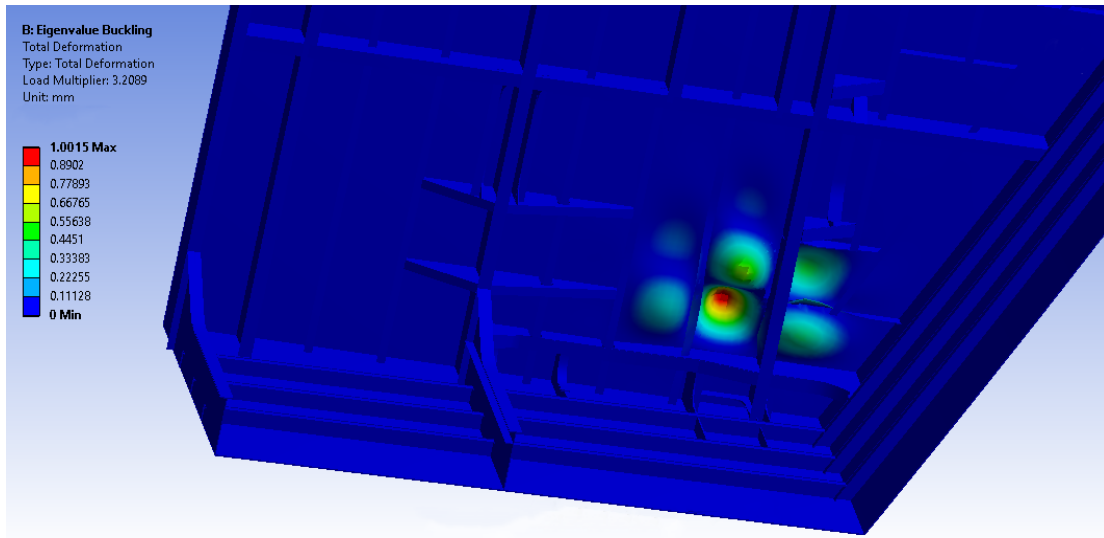
Εικόνα 108: Πλάγια όψη καταστροφώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 109: Πλάγια κάτωψη καταστώματος περίπτωσης Β1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης χωρίς την εμφάνιση του καταστώματος



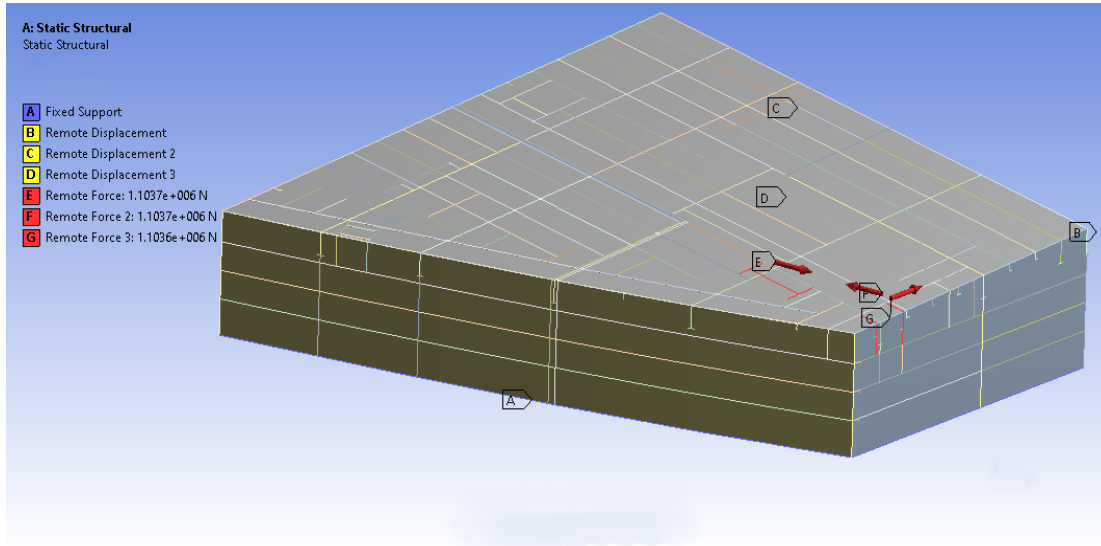
Εικόνα 110: Κάτωψη καταστώματος περίπτωσης Β1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 111: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης B1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.13 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β2

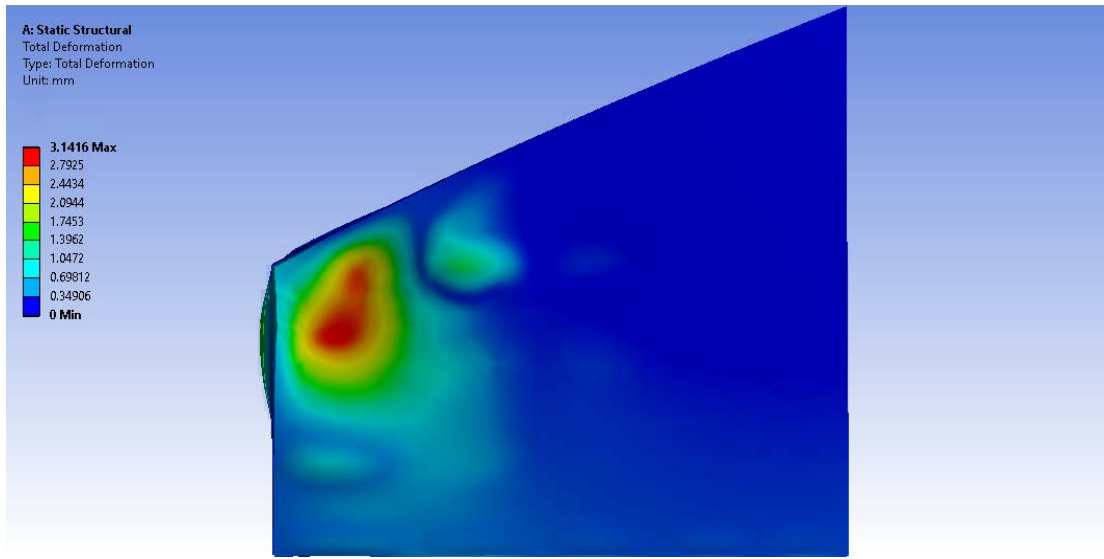
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.103.625 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 112.



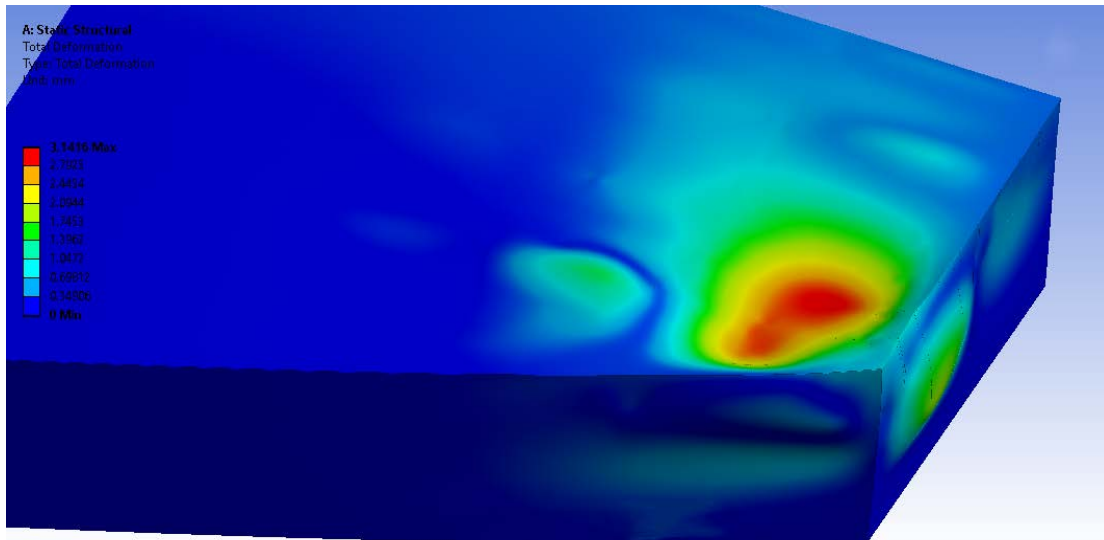
Εικόνα 112: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης Β2

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην Α ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 113 και 117:

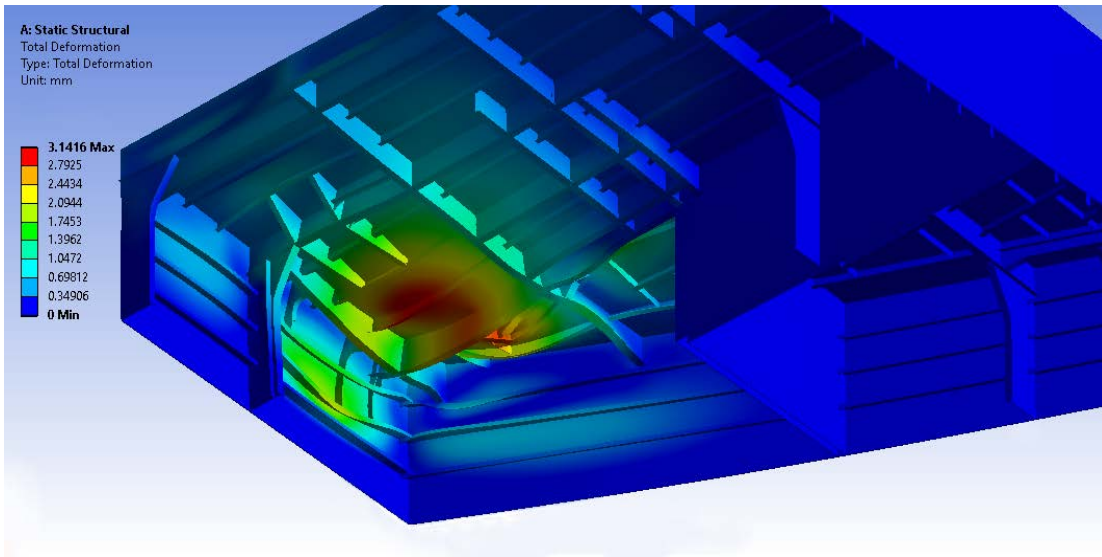
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 3,1416 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 165,28 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,8242.



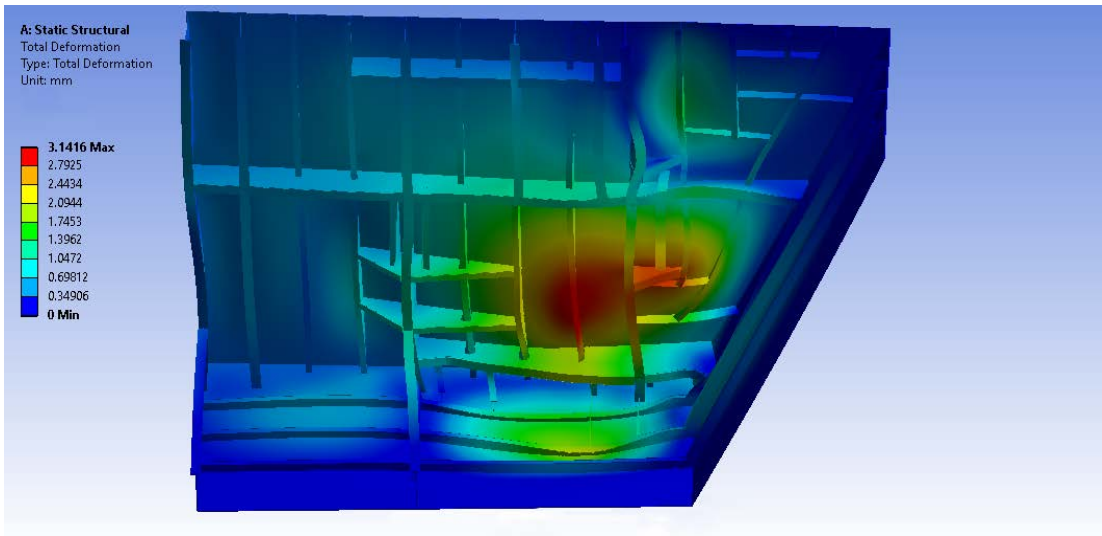
Εικόνα 113: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



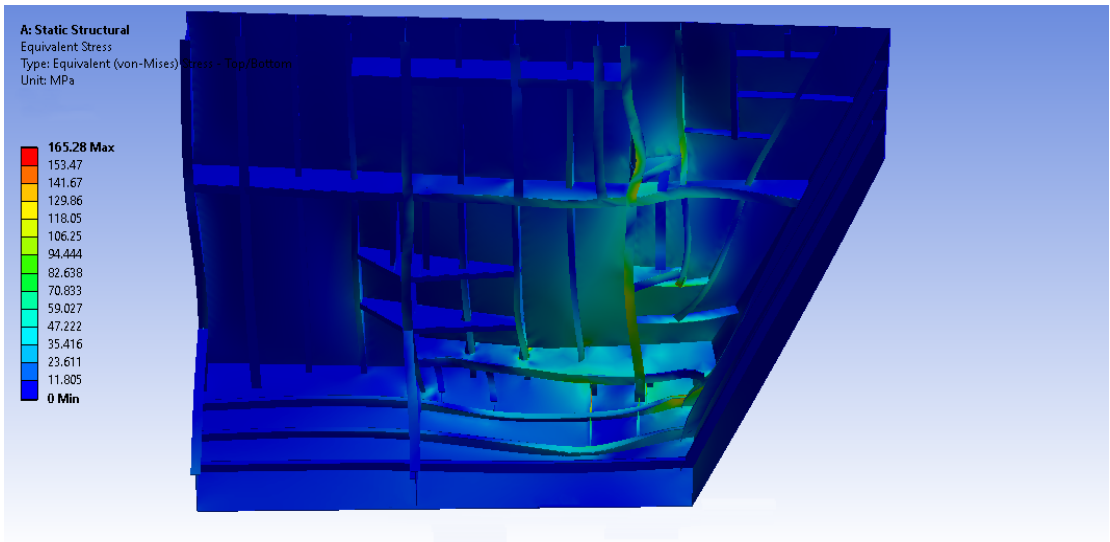
Εικόνα 114: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



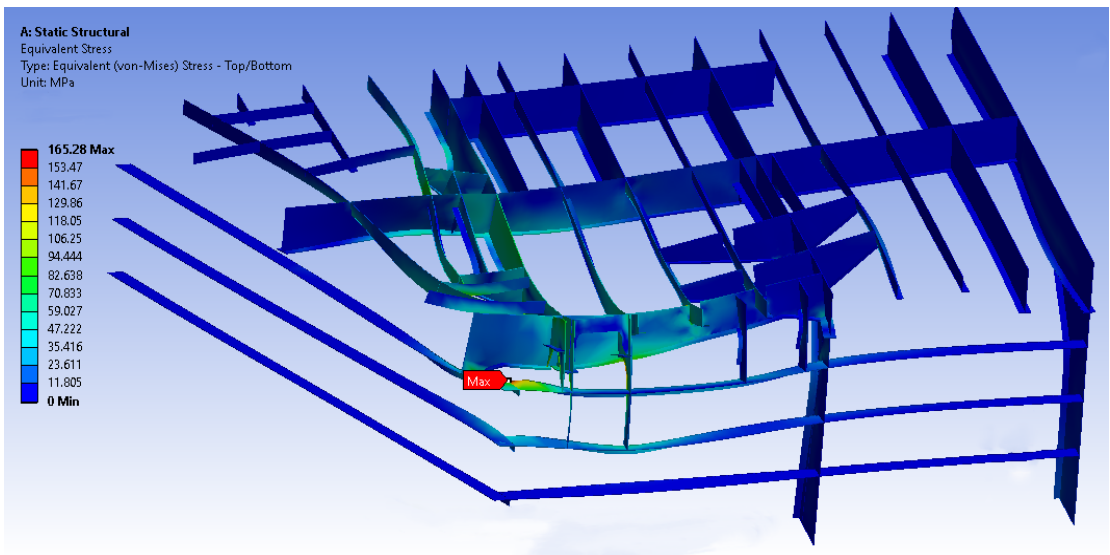
Εικόνα 115: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



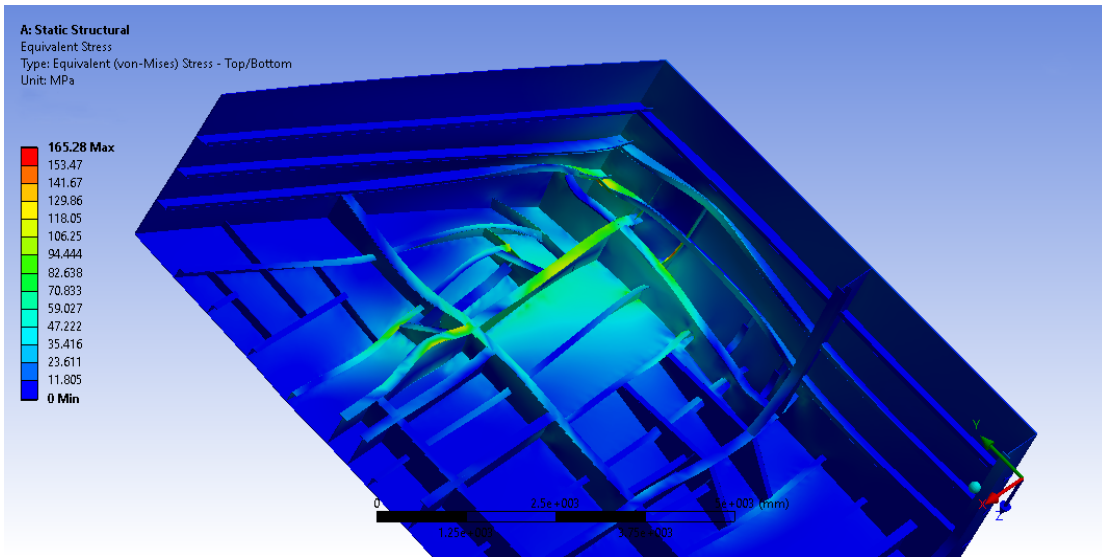
Εικόνα 116: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



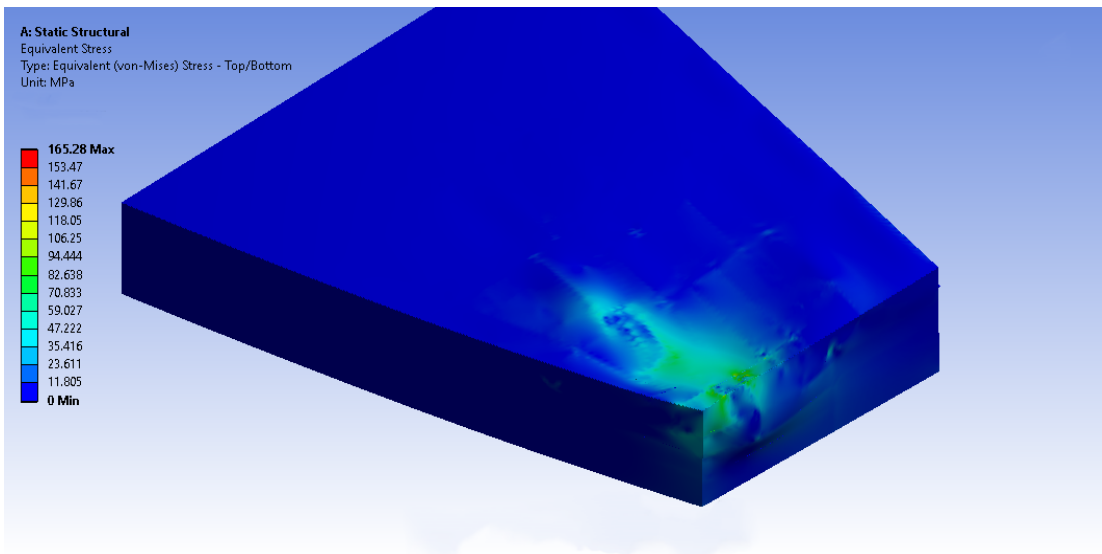
Εικόνα 117: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



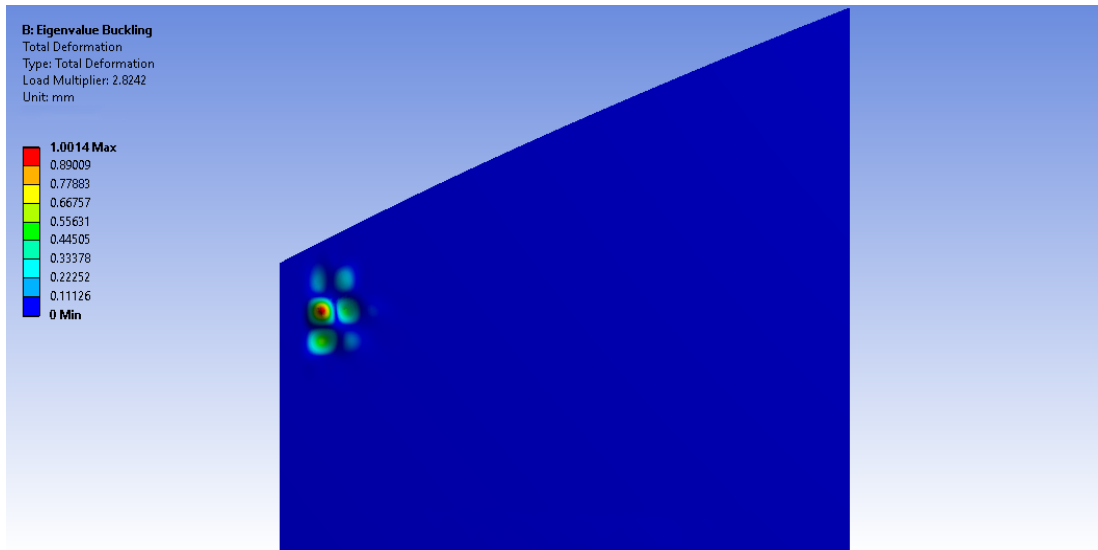
Εικόνα 118: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



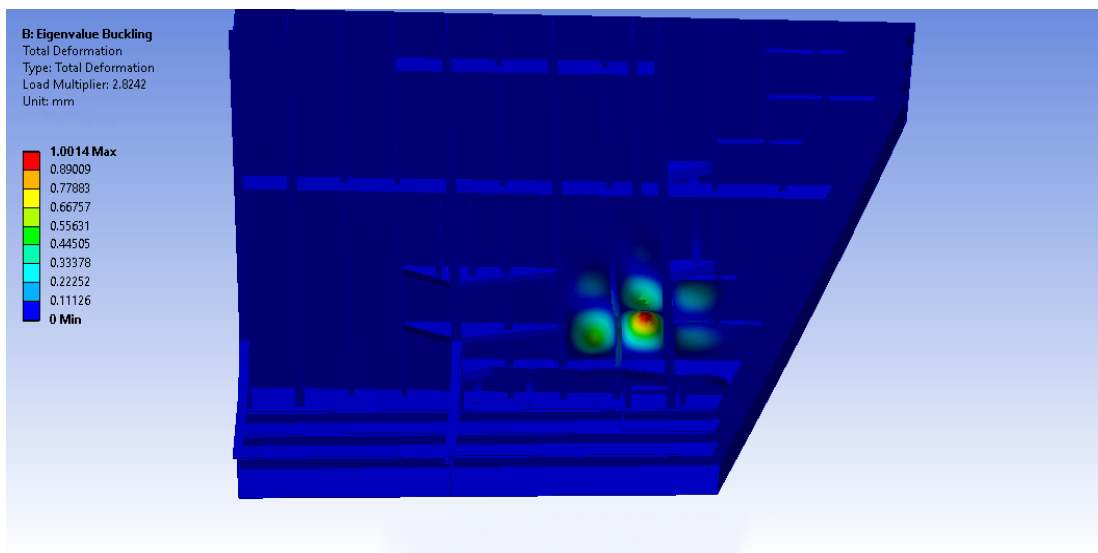
Εικόνα 119: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 120: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



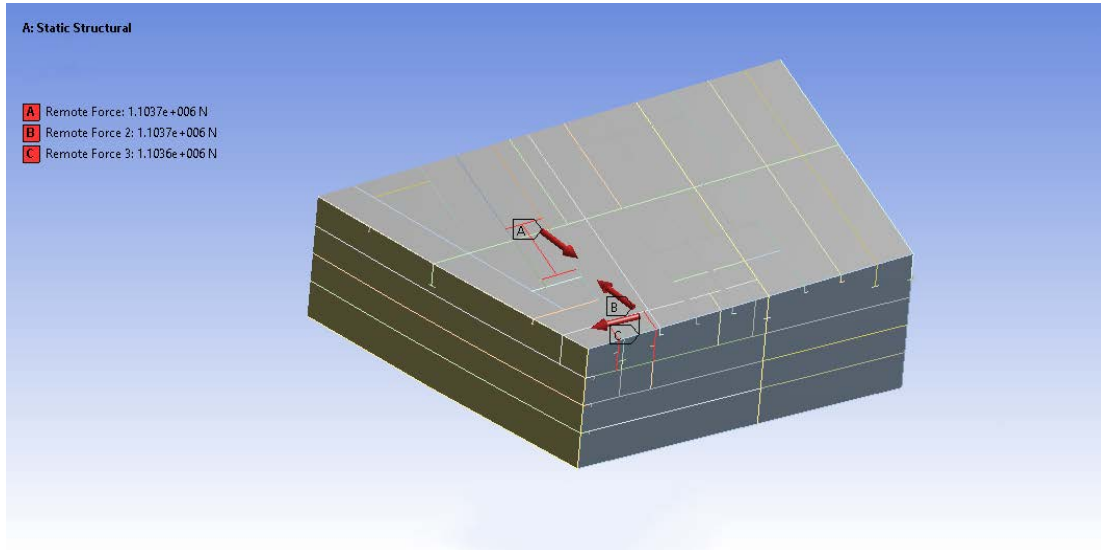
Εικόνα 121: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 122: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης B2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.14 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ B3

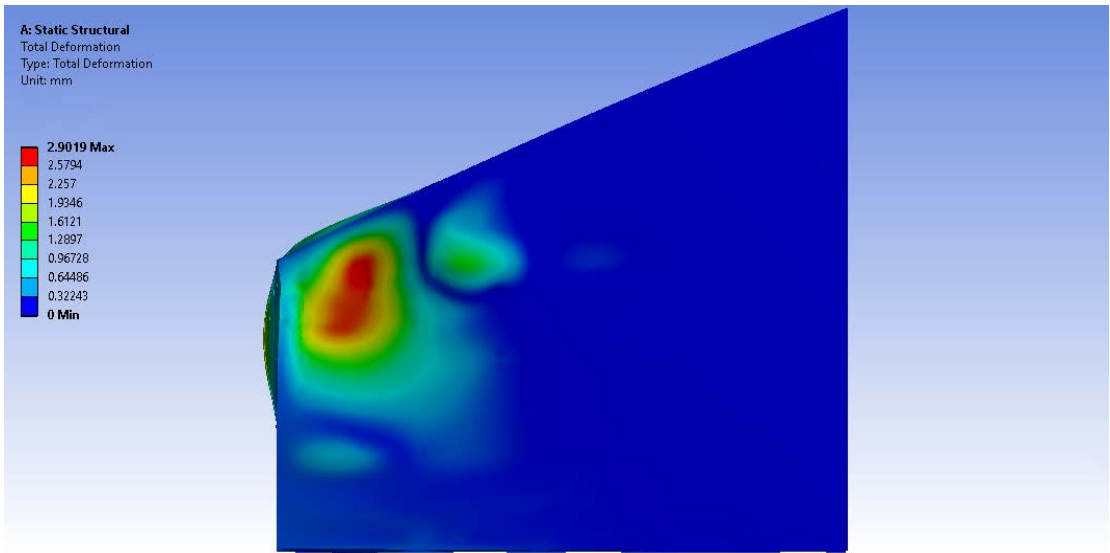
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1103625 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 123.



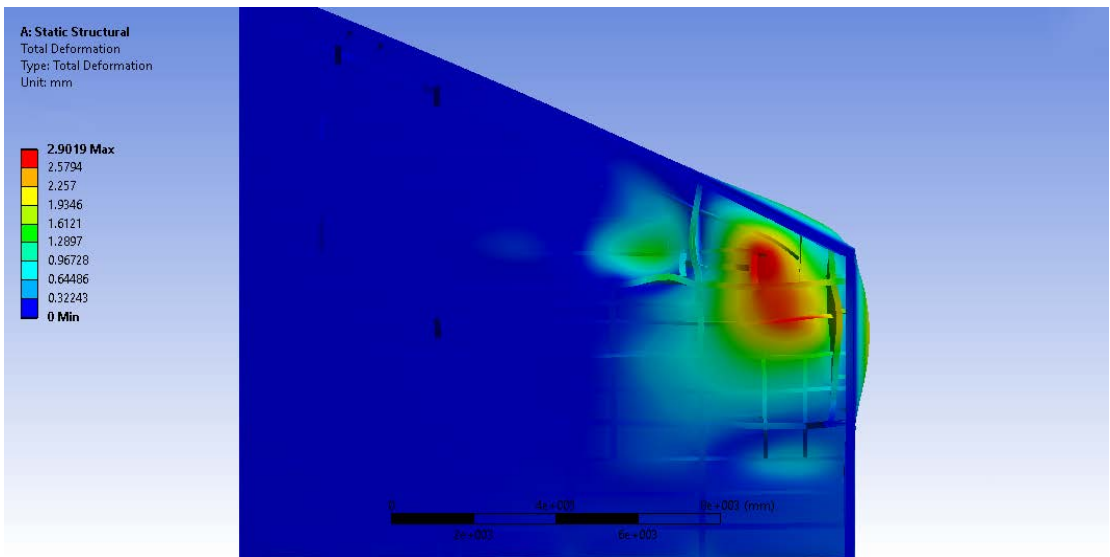
Εικόνα 123: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης B3

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην A ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 124 και 128:

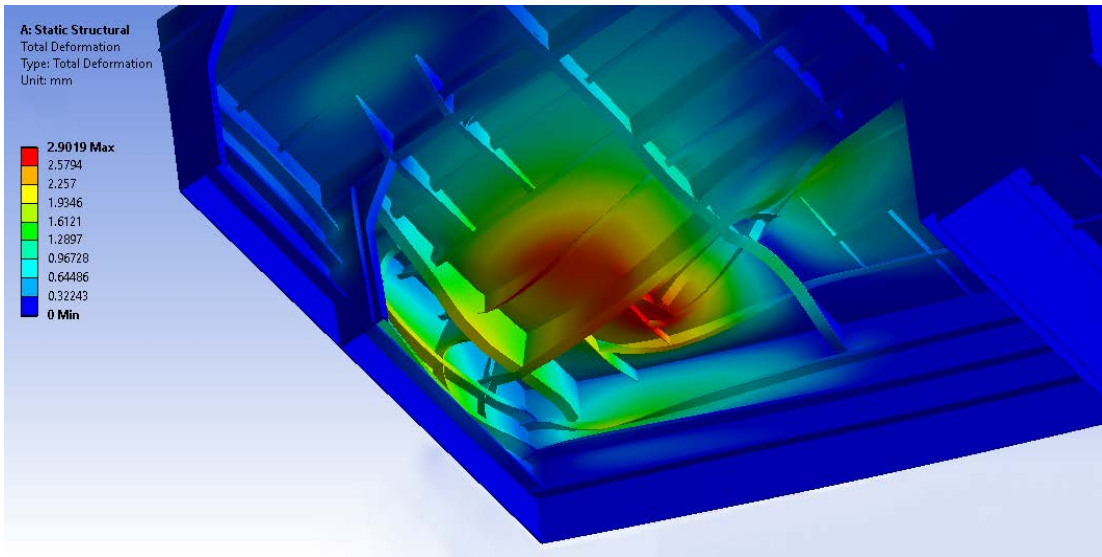
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 2,9019 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 178.84 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 3,3268.



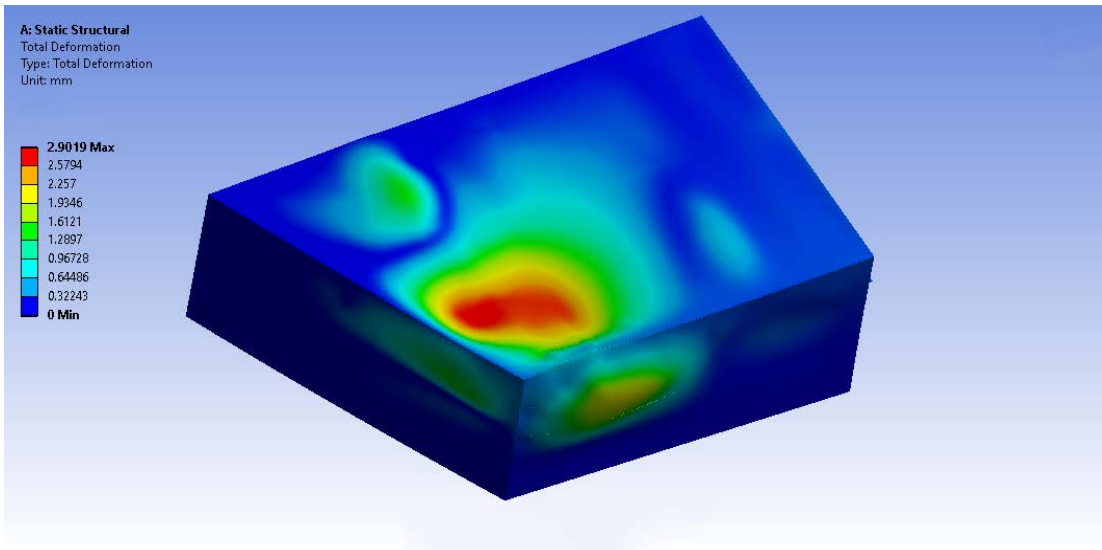
Εικόνα 124: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης Β3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



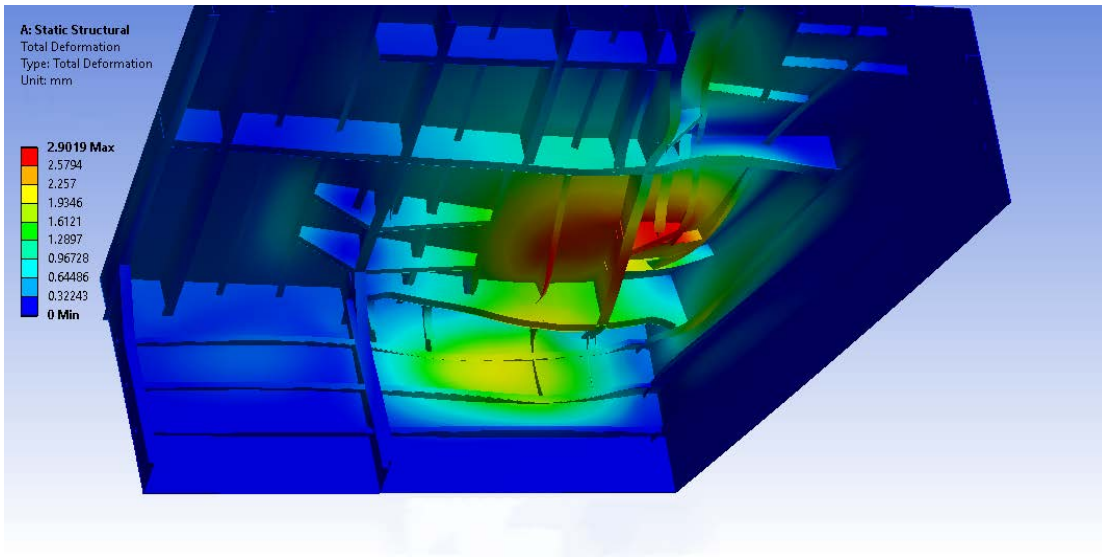
Εικόνα 125: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης Β3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



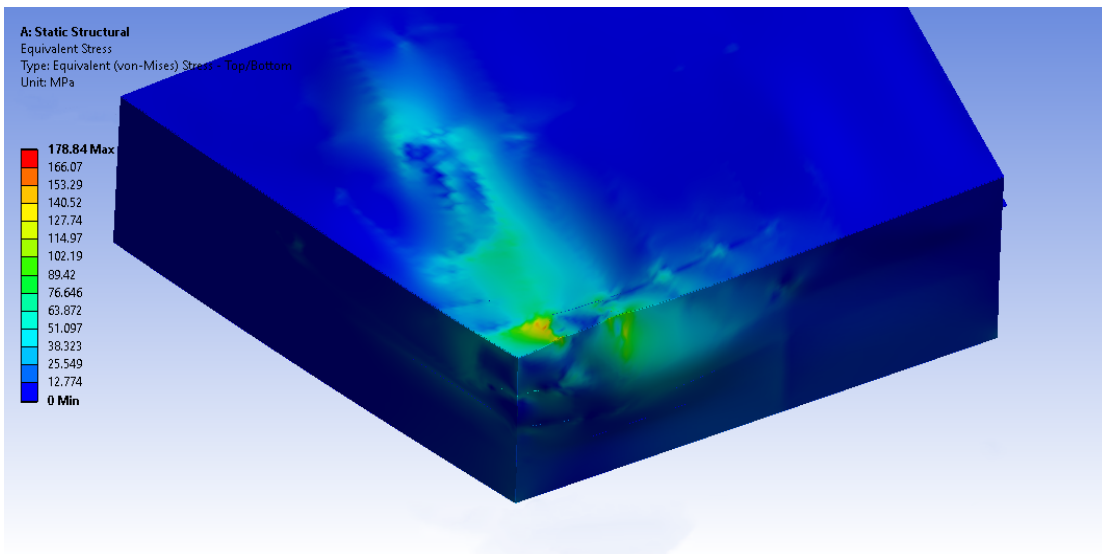
Εικόνα 126: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



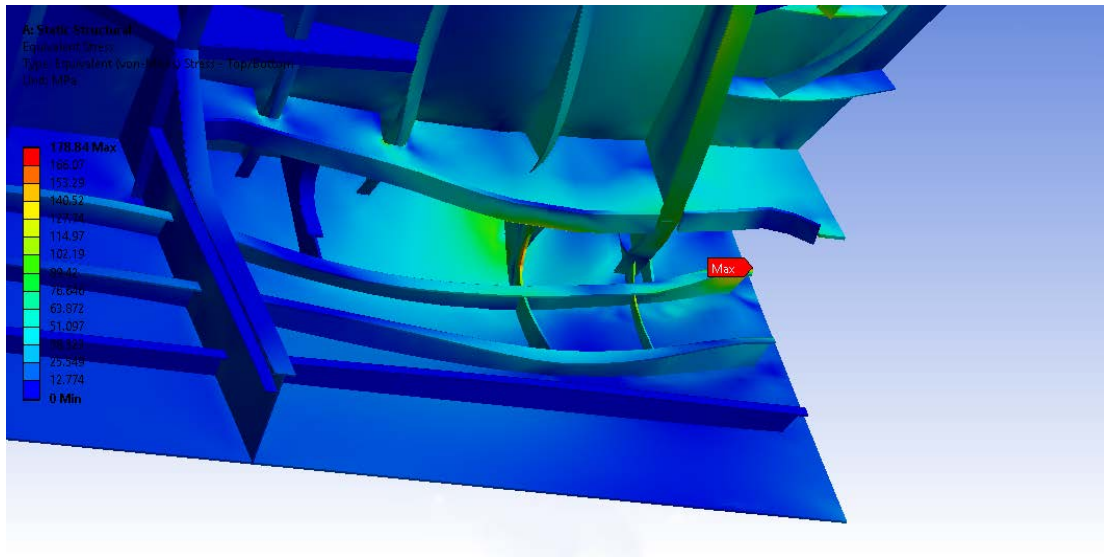
Εικόνα 127: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



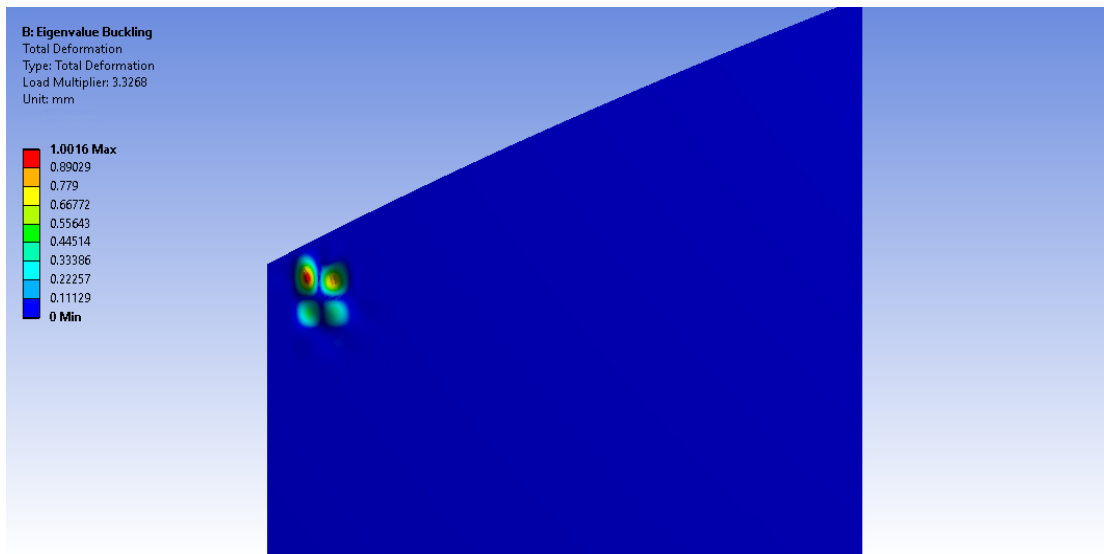
Εικόνα 128: Τομή καταστρώματος περίπτωσης B3 με εστίαση στο σημείο μέγιστης παραμόρφωσης



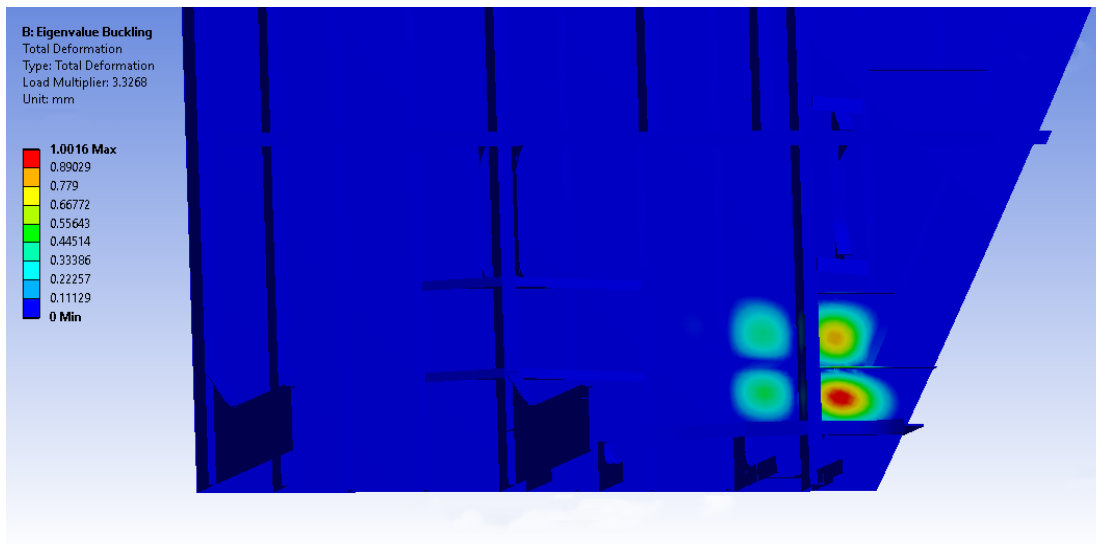
Εικόνα 129: Πλάγια όψη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 130: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



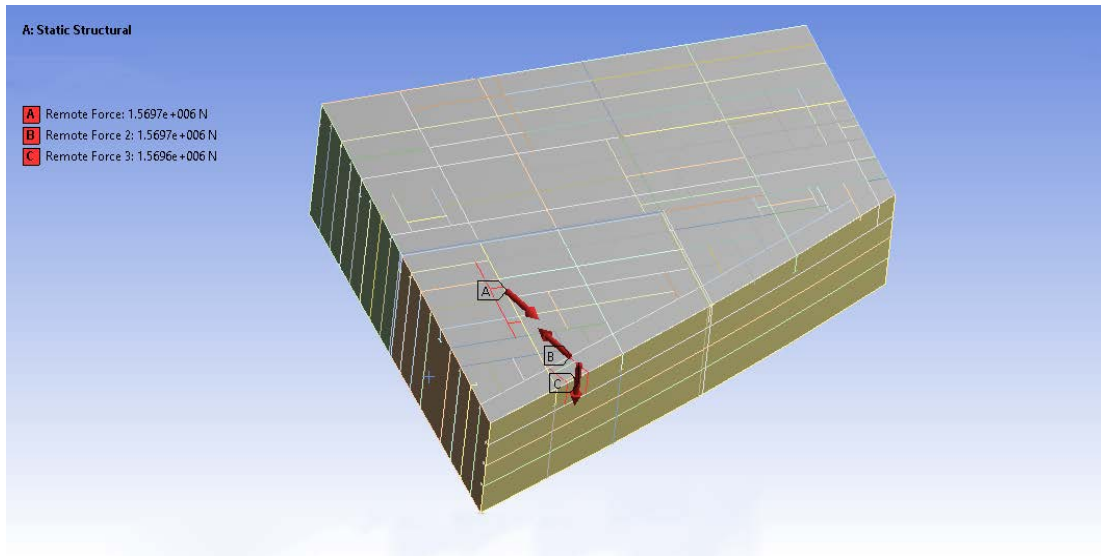
Εικόνα 131: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 132: Άνοξη καταστρώματος περίπτωσης B3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.15 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C1

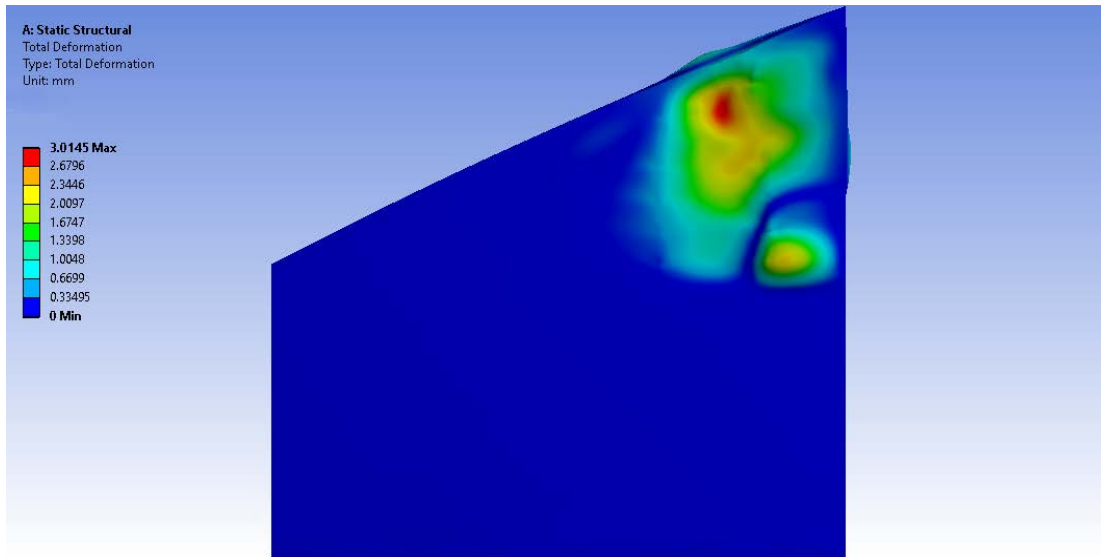
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 133.



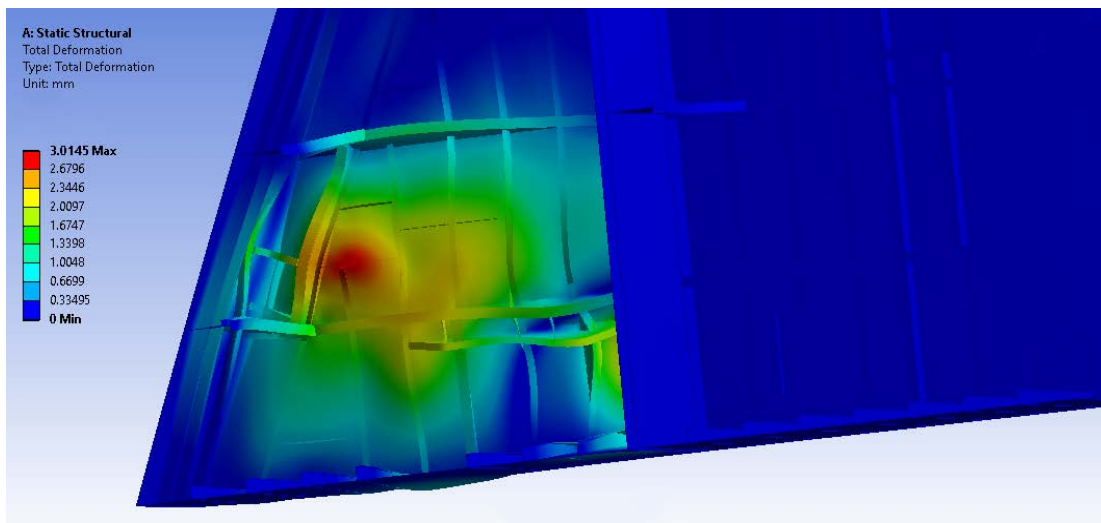
Εικόνα 133: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C1

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην B ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 134 και 138:

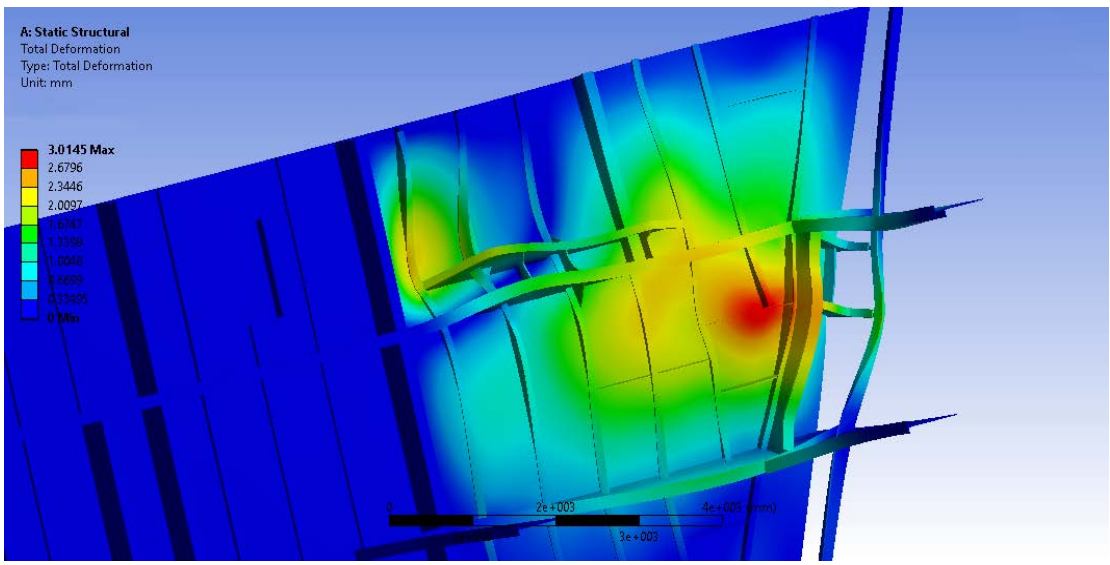
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 3,0145 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 212,83 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 3,0802.



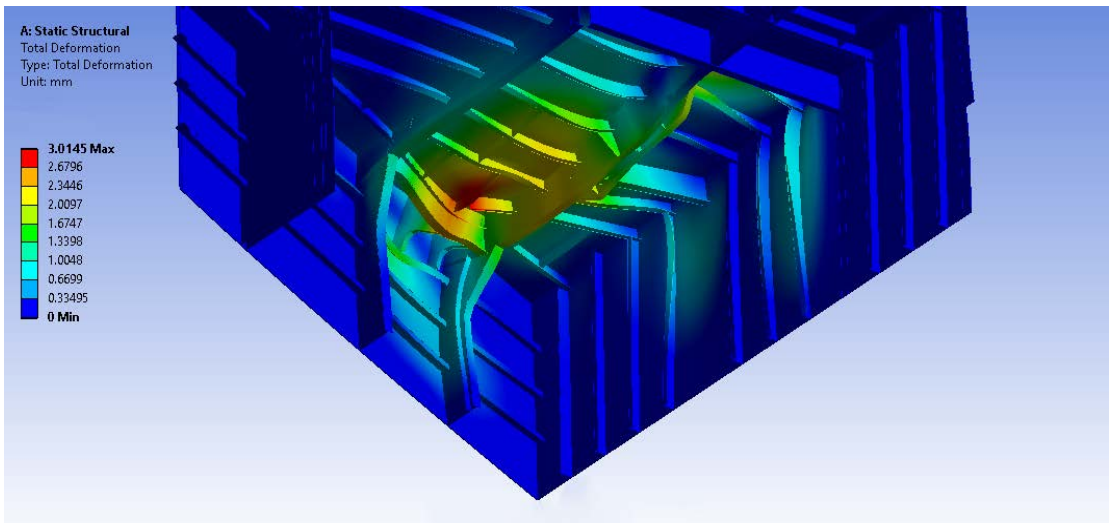
Εικόνα 134: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



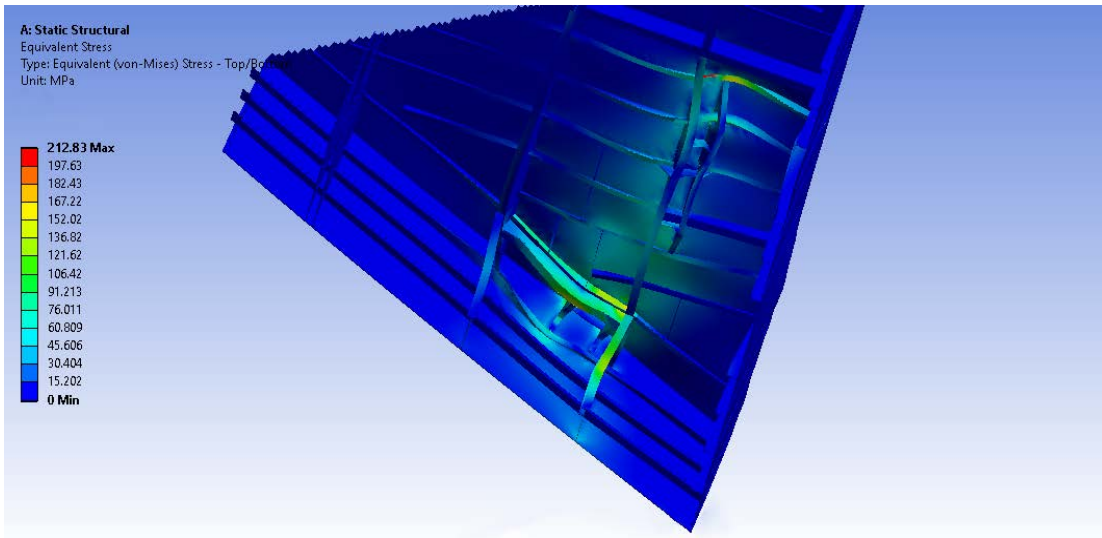
Εικόνα 135: Άνοξη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



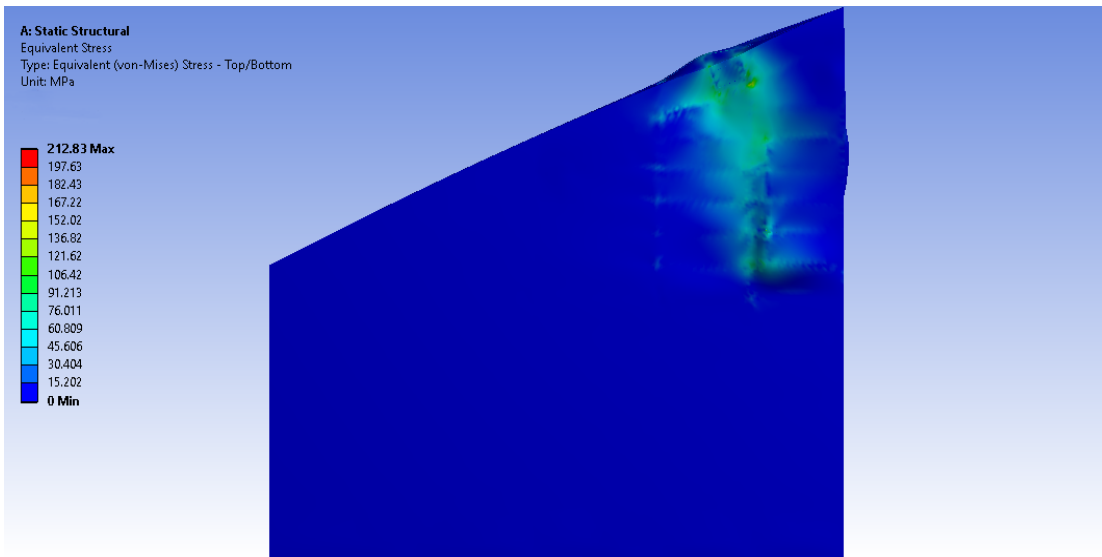
Εικόνα 136: Άνοξη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



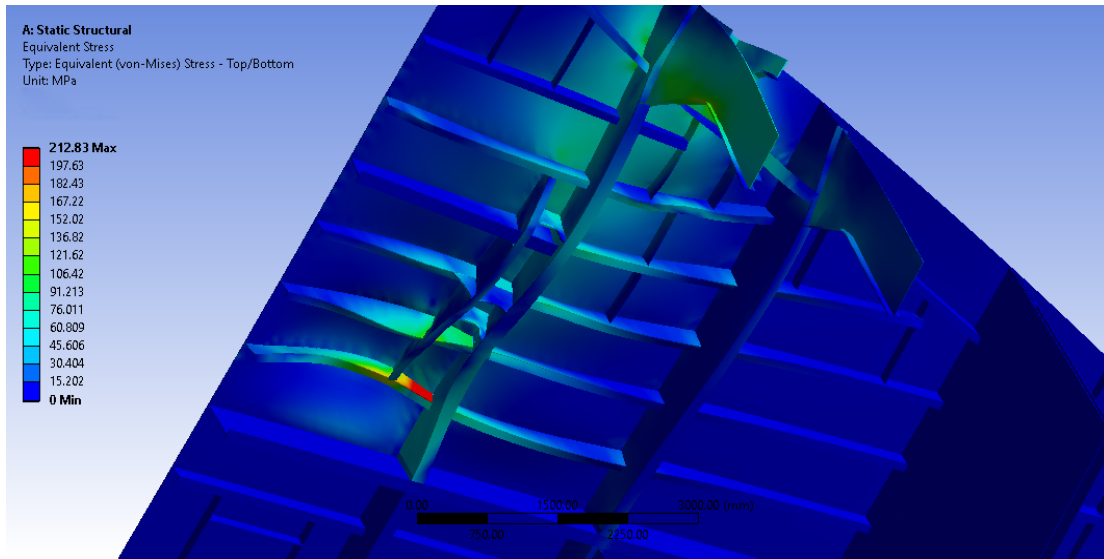
Εικόνα 137: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



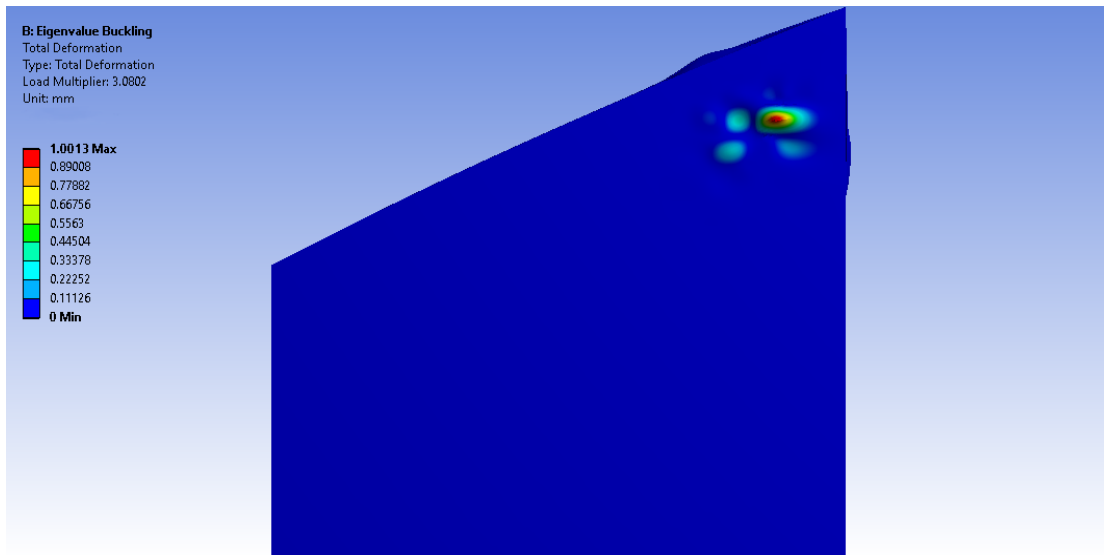
Εικόνα 138: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



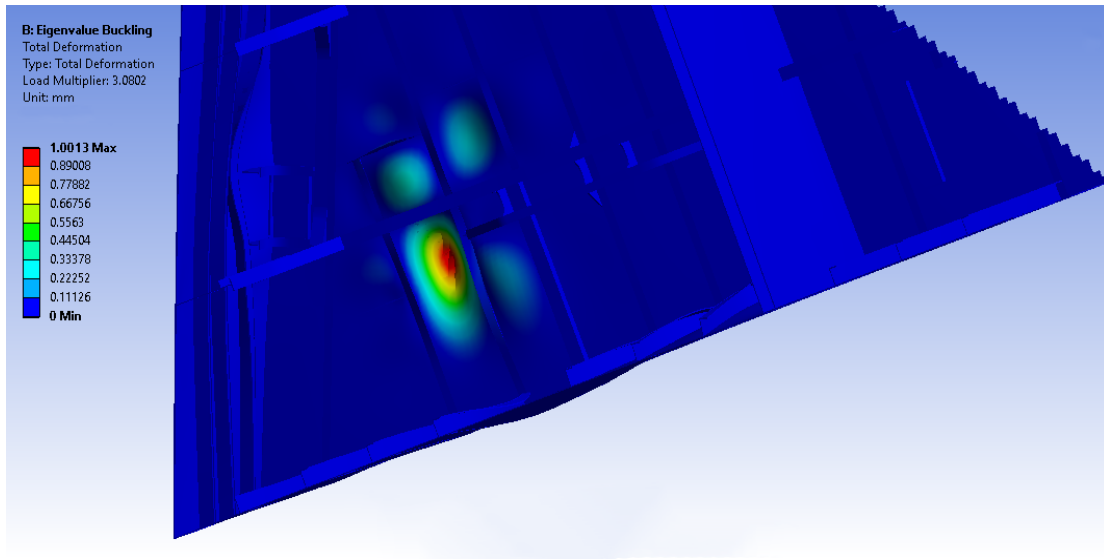
Εικόνα 139: Κάτοψη καταστρώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 140: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



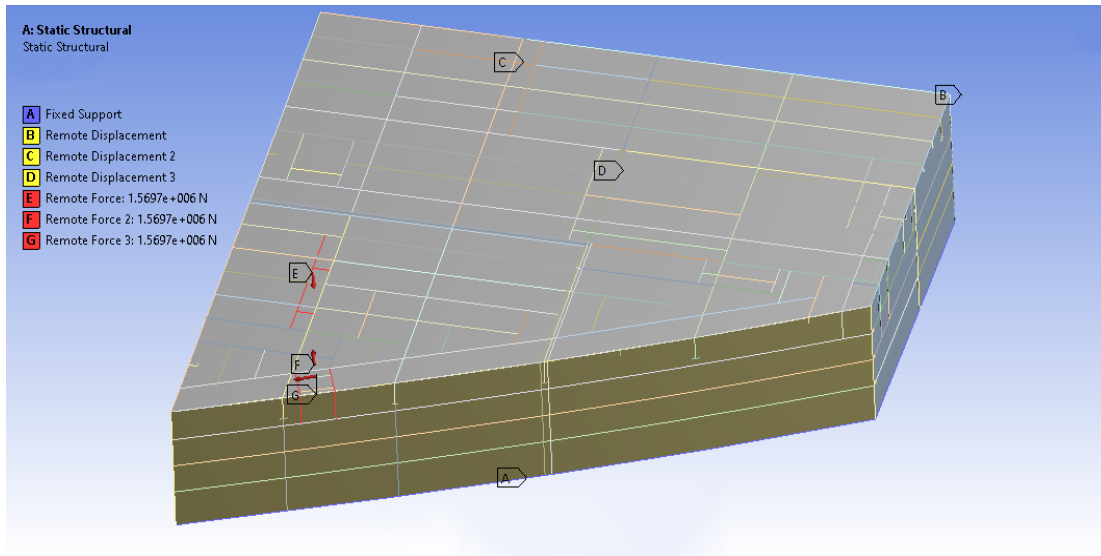
Εικόνα 141: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 142: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C1 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.16 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C2

Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 143.

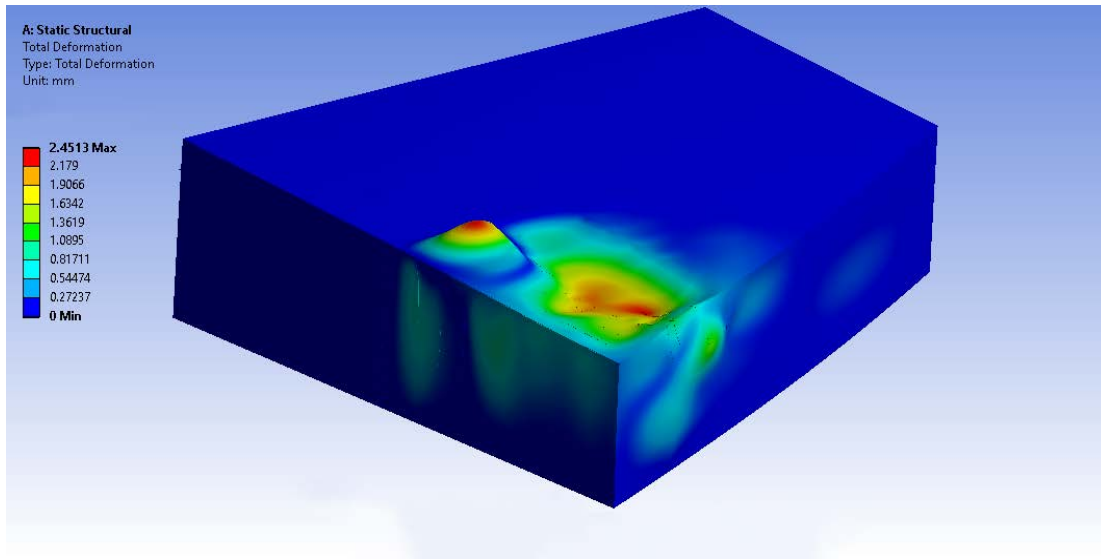


Εικόνα 143: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C2

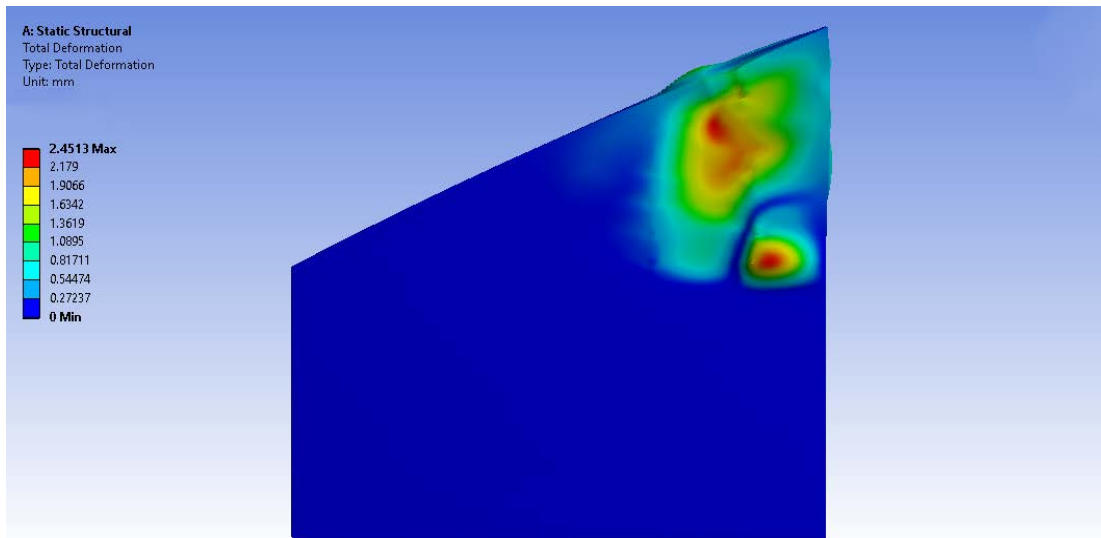
Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην B ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 144 και 149:

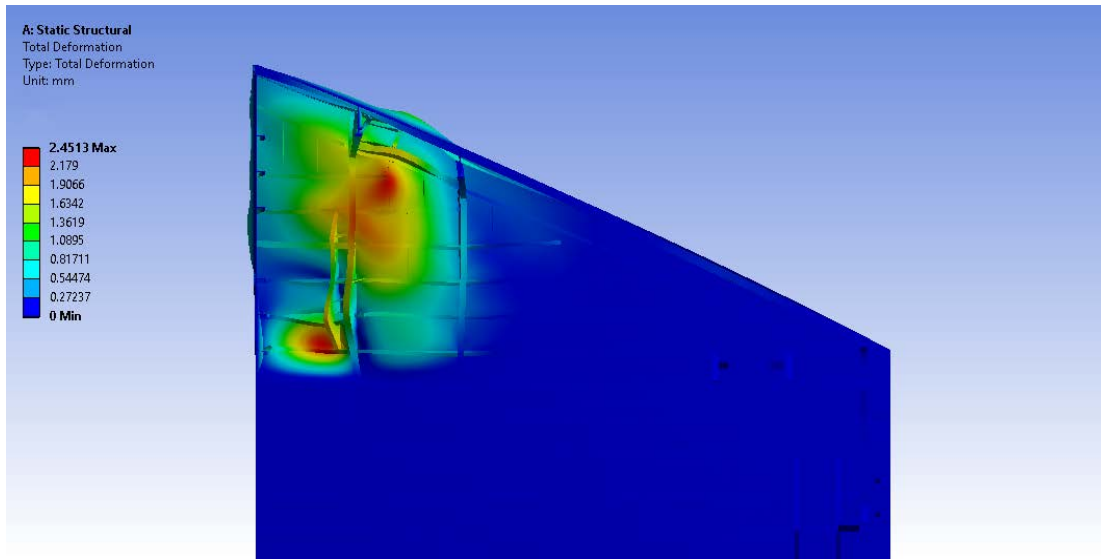
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 2,4513 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 213,43 MPa.
- πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,9257.



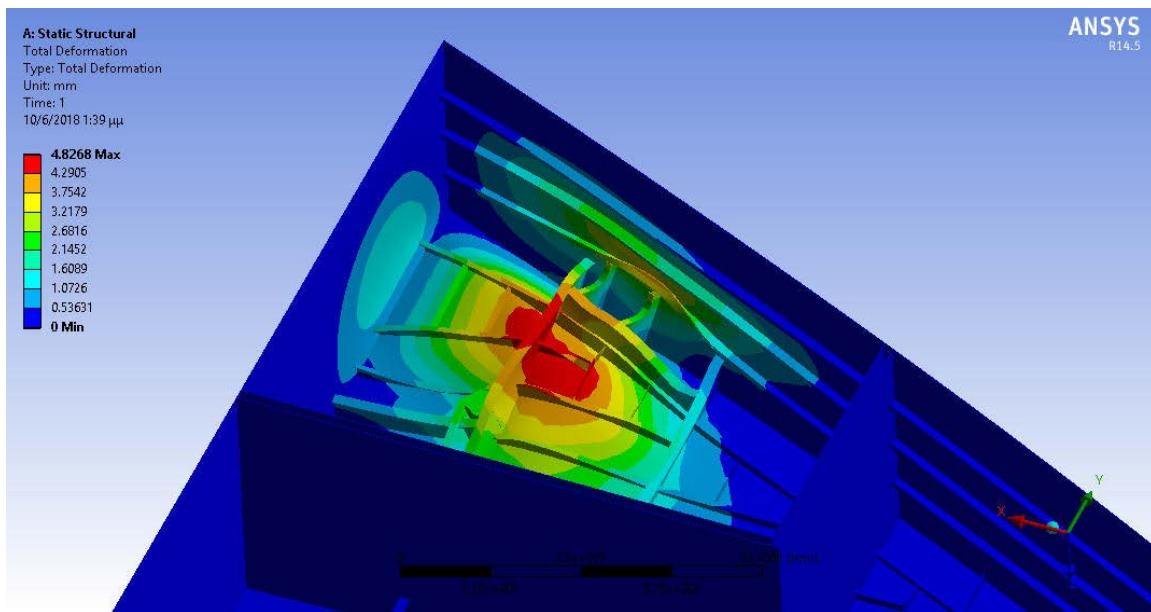
Εικόνα 144: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



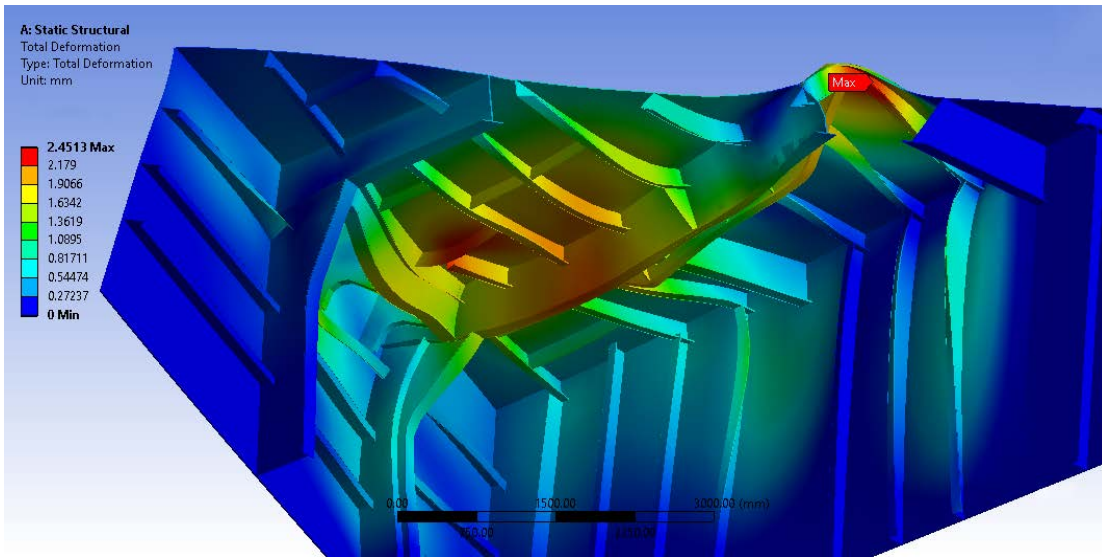
Εικόνα 145: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



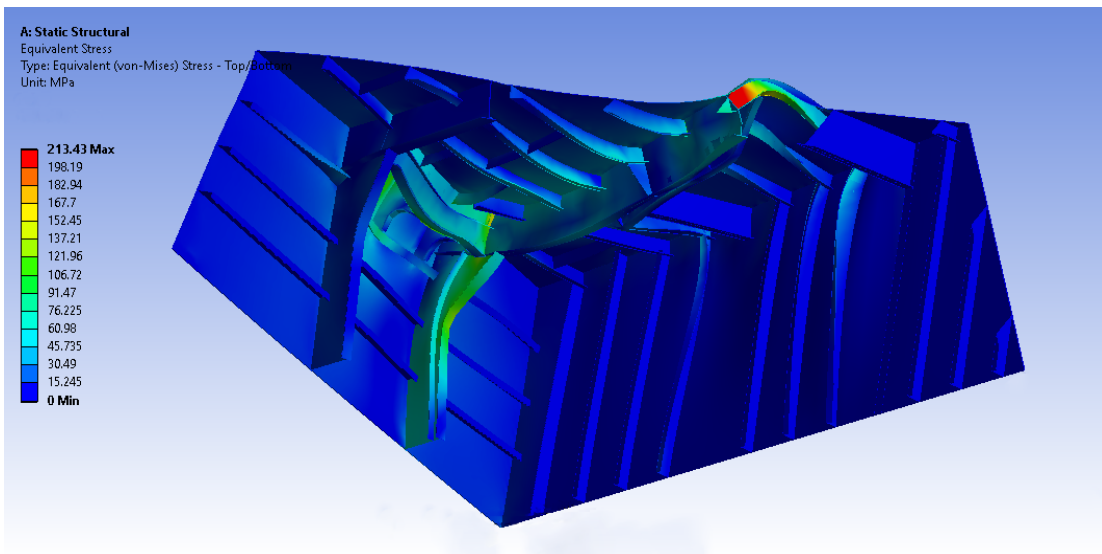
Εικόνα 146: Άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



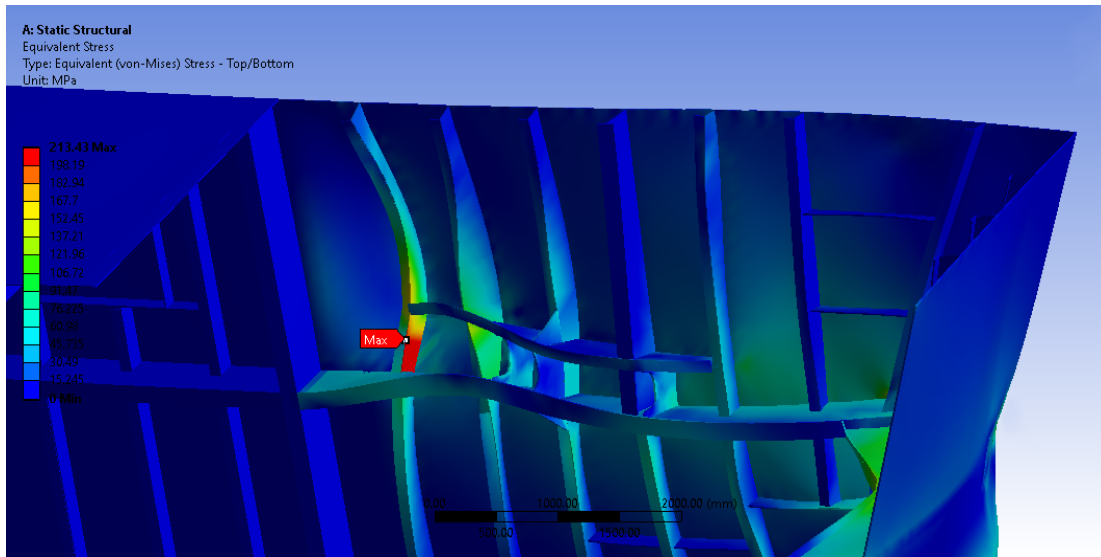
Εικόνα 147: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



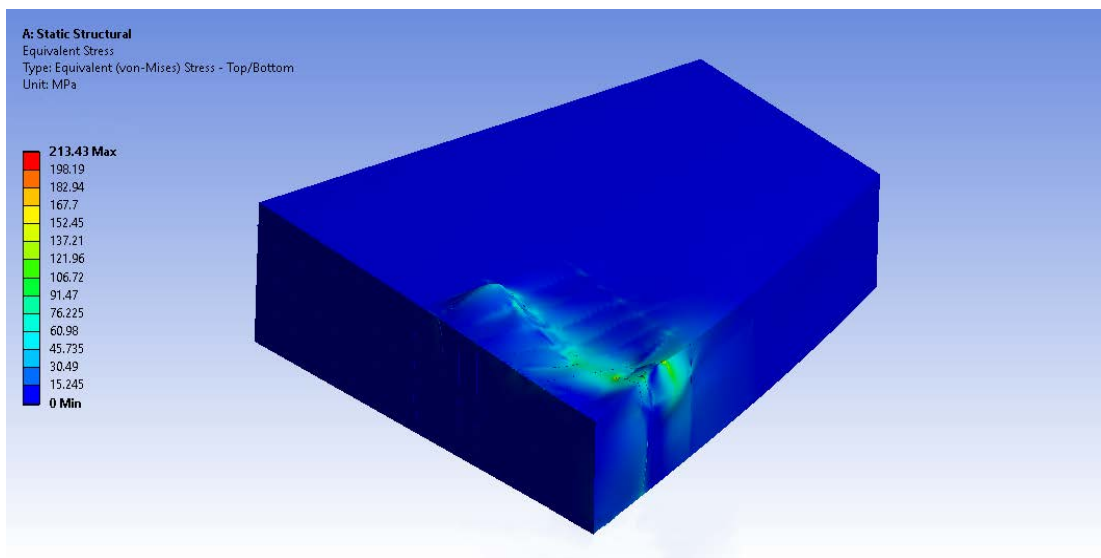
Εικόνα 148: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



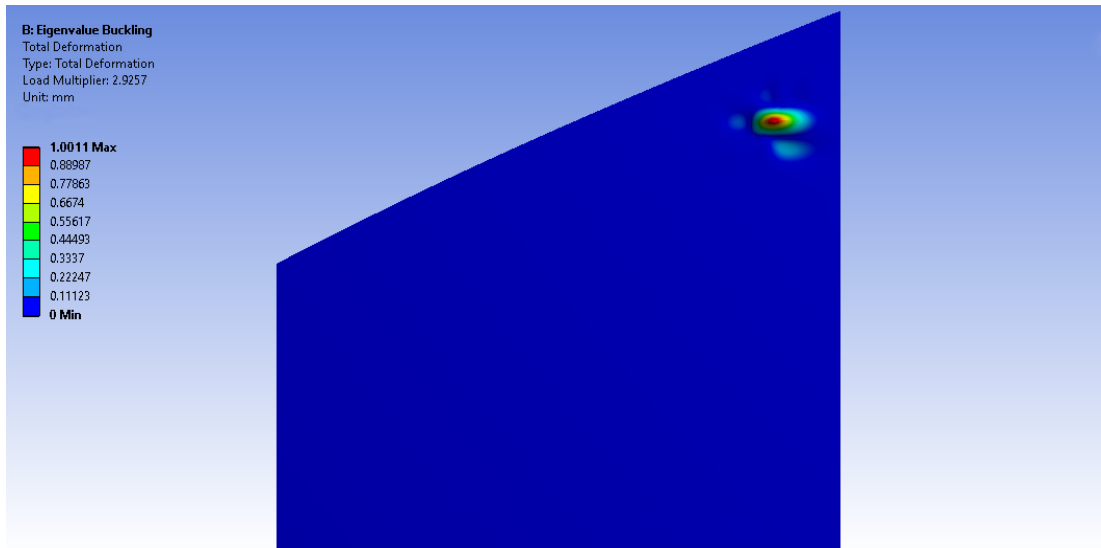
Εικόνα 149: Τομή καταστρώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



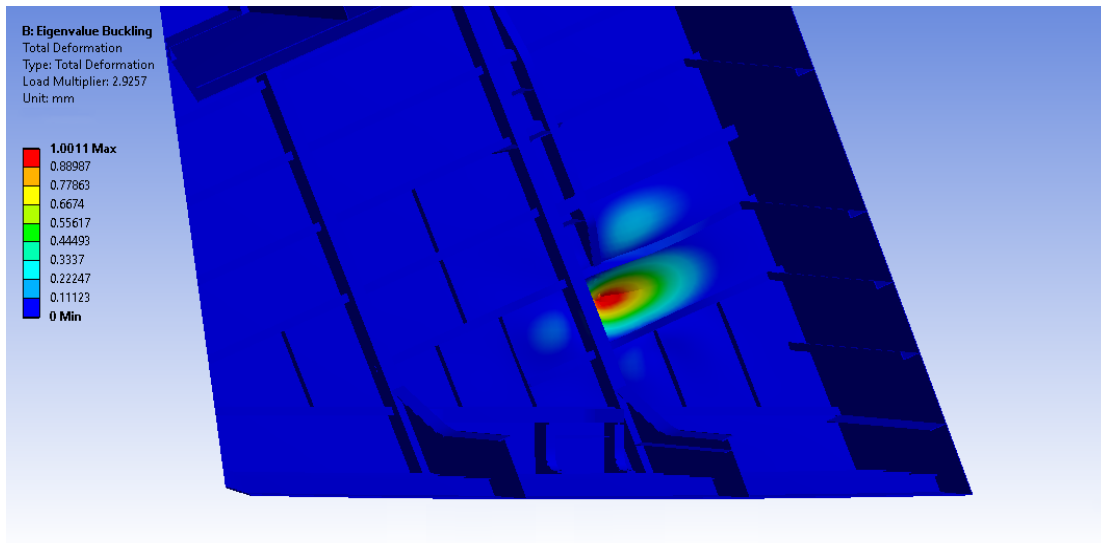
Εικόνα 150: Πλάγια όψη καταστροφώματος περίπτωσης C2 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 151: Πλάγια όψη καταστροφώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



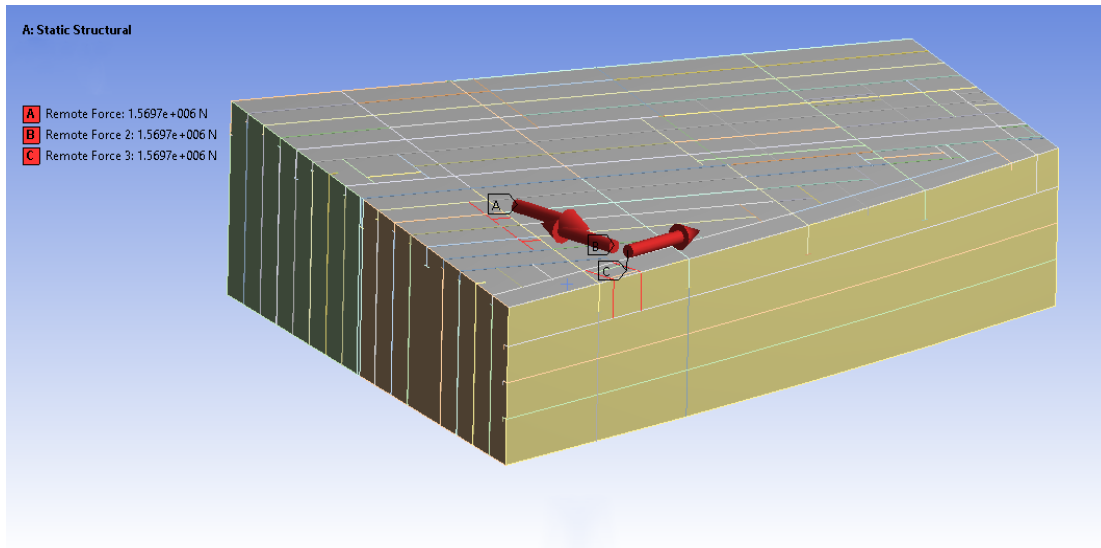
Εικόνα 152: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 153: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C2 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

5.17 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ C3

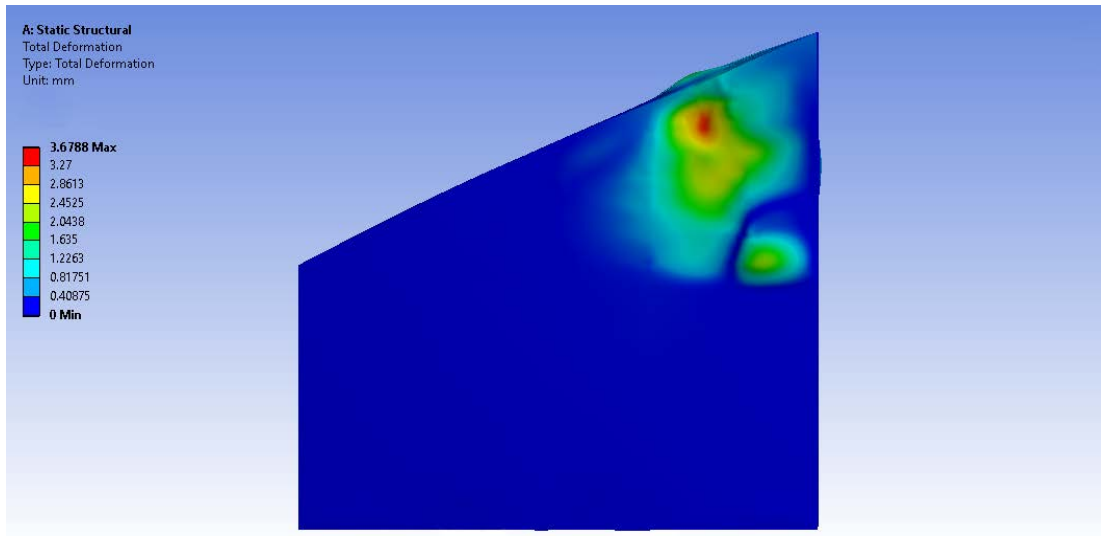
Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζονται τρεις δυνάμεις της τάξεως των 1.569.600 N με διευθύνσεις όπως φαίνονται στην εικόνα 154.



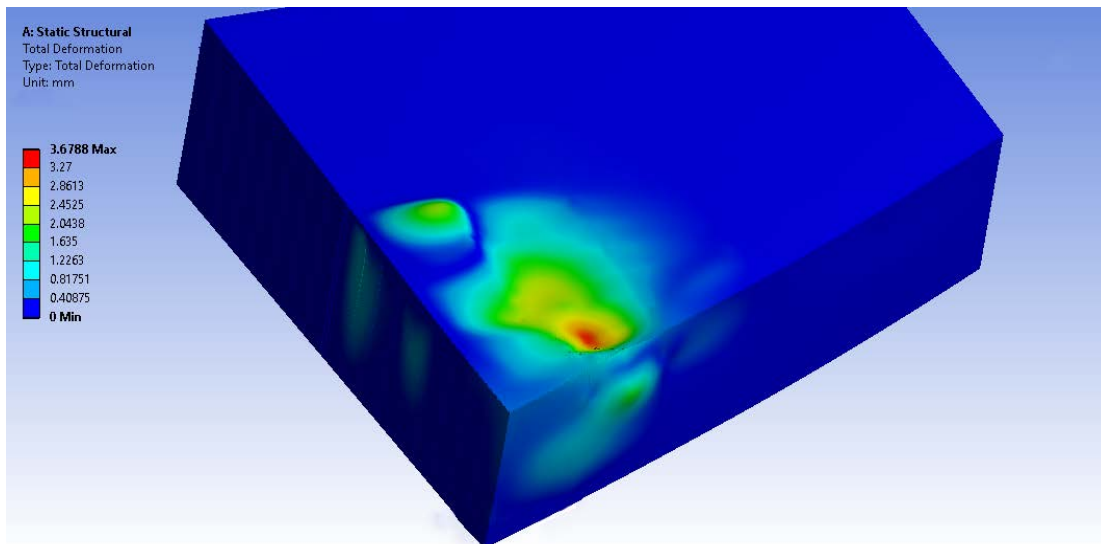
Εικόνα 154: Κατευθύνσεις δυνάμεων περίπτωσης C3

Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται στην B ομάδα των ενισχυτικών που έχουν τοποθετηθεί. Όπως φαίνεται στις εικόνες 155 και 159:

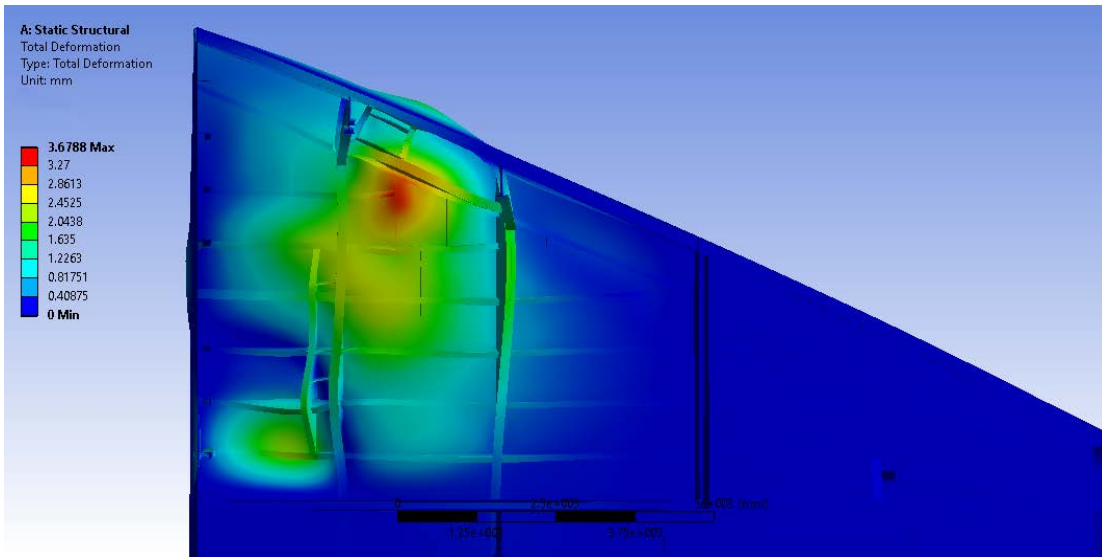
- Η μέγιστη παραμόρφωση είναι της τάξεως των 3,6788 mm.
- Η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται είναι 260,63 MPa.
- Ο πολλαπλασιαστής του φορτίου του συντελεστή λυγισμού της συγκεκριμένης φόρτισης είναι 2,4351.



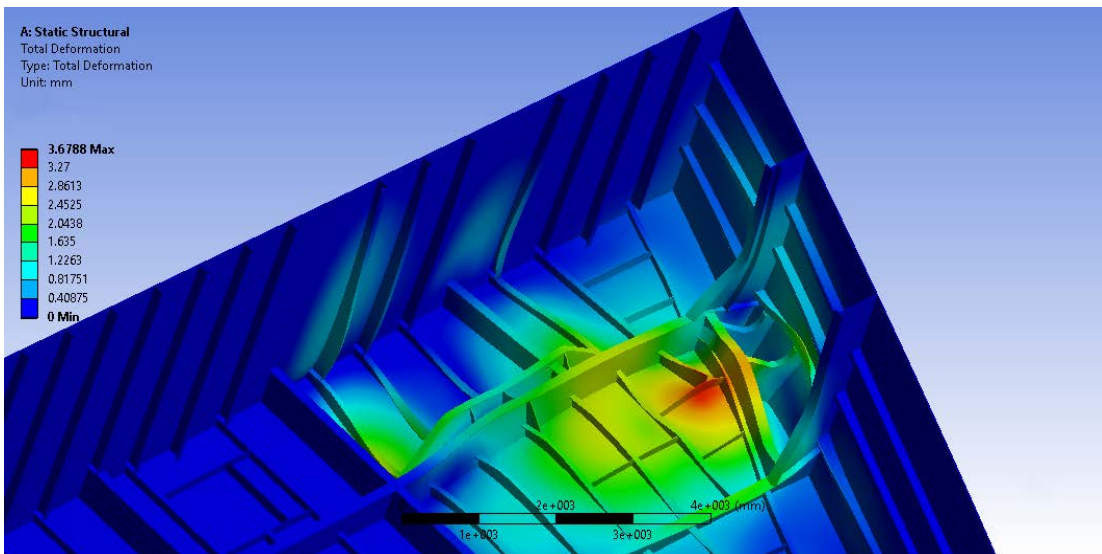
Εικόνα 155: Κάτοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



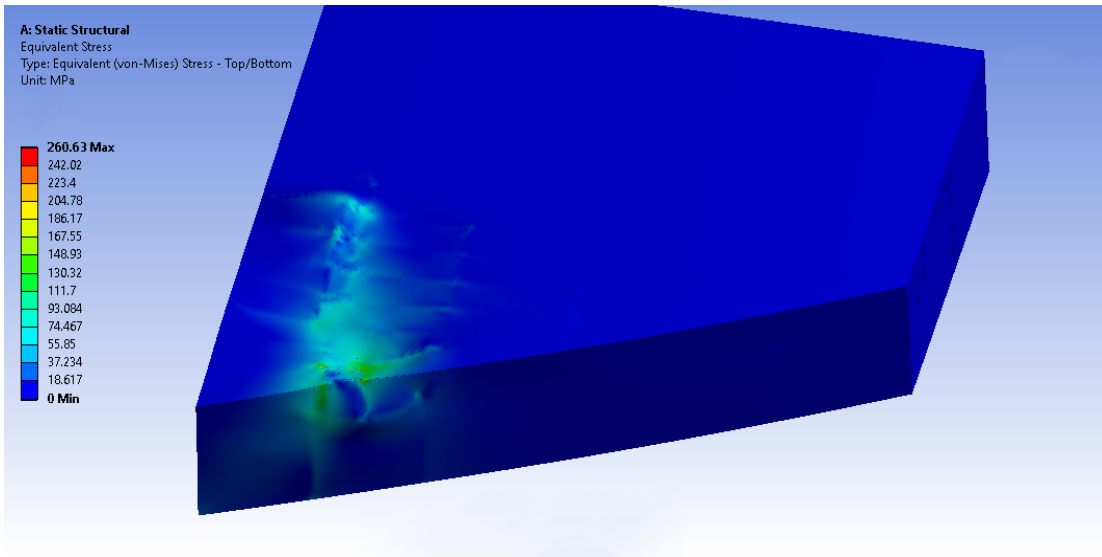
Εικόνα 156: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



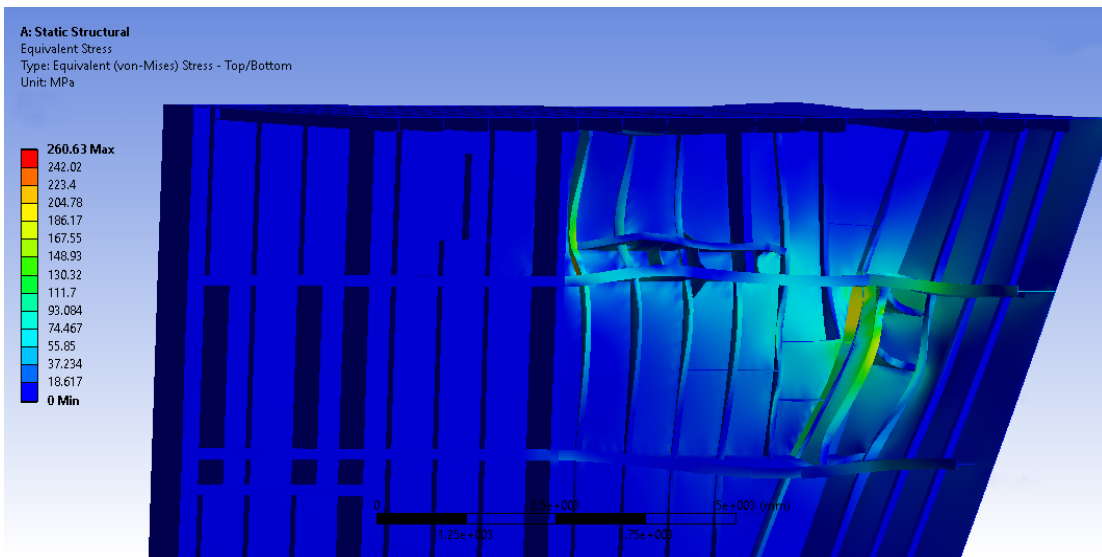
Εικόνα 157: Άνοξη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



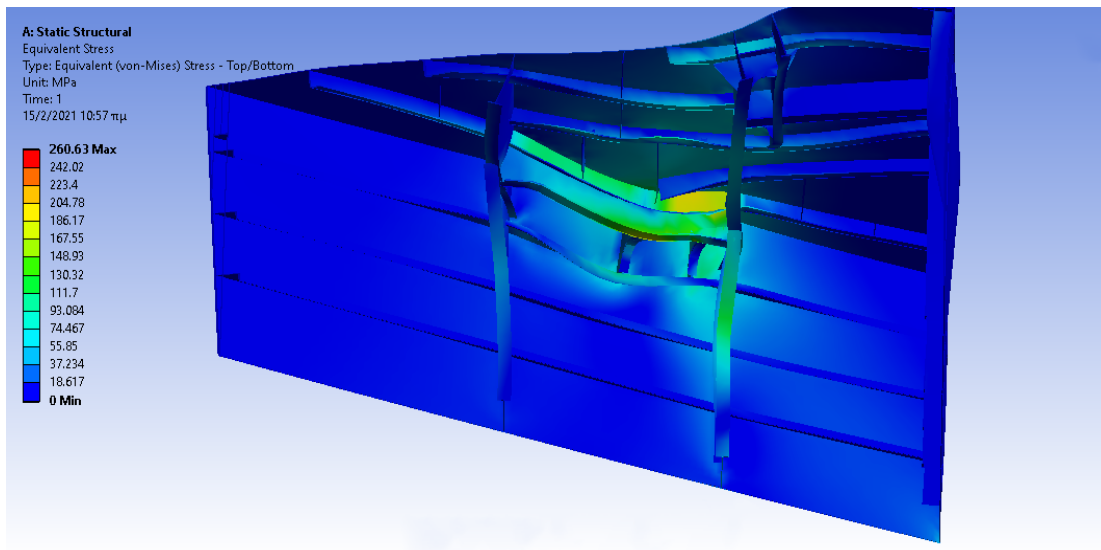
Εικόνα 158: Πλάγια άνοξη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της συνολικής παραμόρφωσης



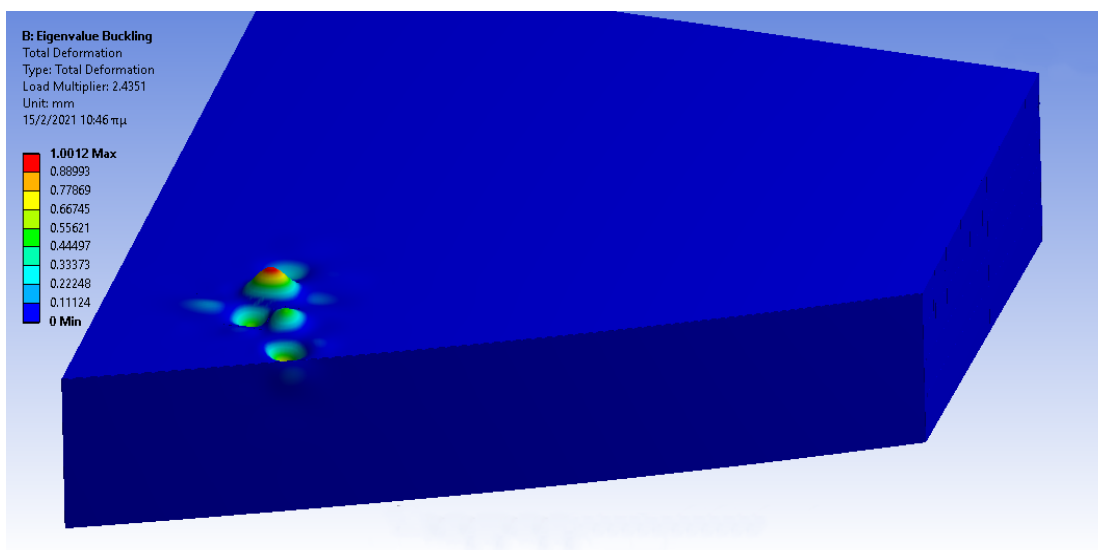
Εικόνα 159: Πλάγια όψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



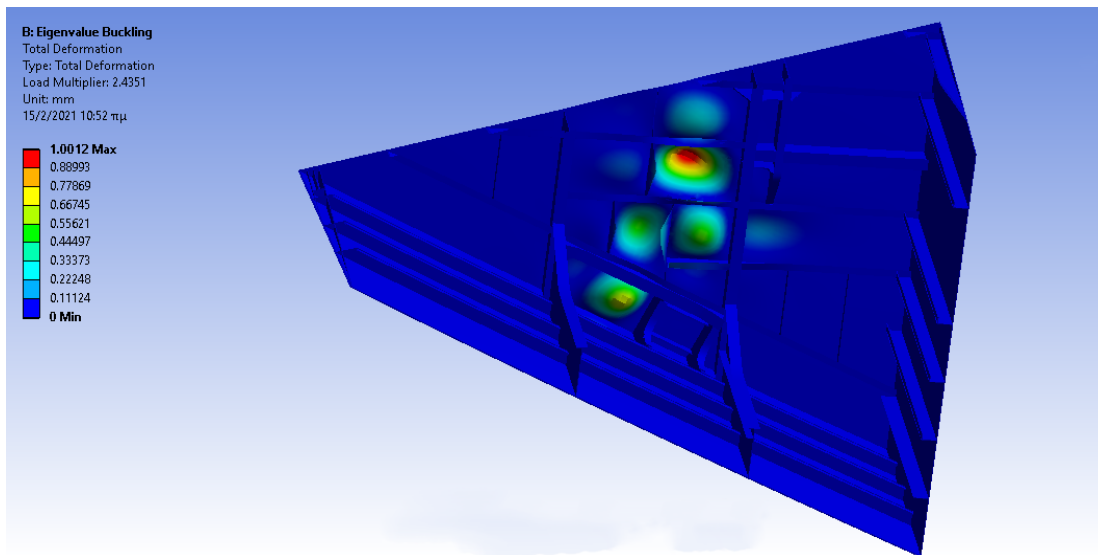
Εικόνα 160: Πλάγια άνοψη καταστώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης



Εικόνα 161: Τομή καταστροφάτος περίπτωσης C3 με εστίαση στο σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη ισοδύναμη τάση



Εικόνα 162: Κάτοψη καταστροφάτος περίπτωσης C3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή



Εικόνα 163: Πλάγια άνοψη καταστρώματος περίπτωσης C3 με απεικόνιση του πολλαπλασιαστή φορτίου του συντελεστή λυγισμού στην πρώτη του ιδιομορφή

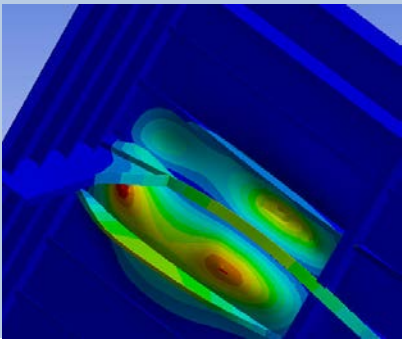
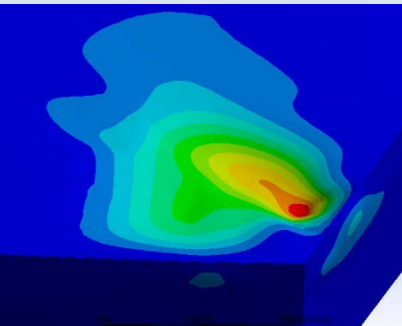
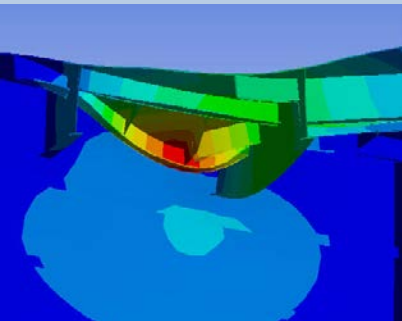
6

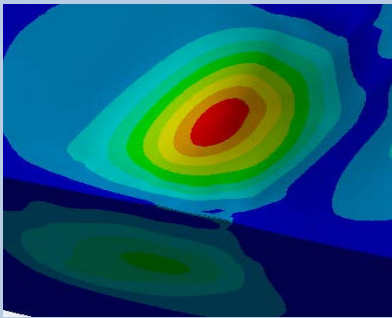
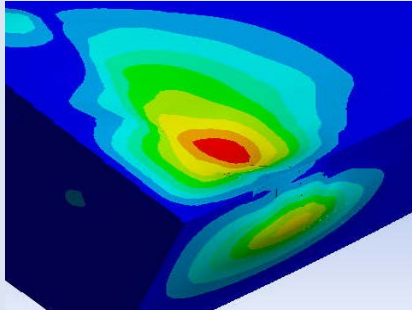
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται, η σύγκριση των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα “ANSYS” καθώς και τα συμπεράσματα που πάρθηκαν. Αρχικά ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει μέσω του πίνακα την διαφορά της αντοχής του μοντέλου μετά την προσθήκη των ενισχύσεων. Επιπλέον γίνονται κάποιες προτάσεις με στόχο την επίλυση προβλημάτων που οι ναυπηγοί και οι μηχανικοί συνήθως αντιμετωπίζουν κατά την εκπόνηση παρόμοιων μελετών.

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

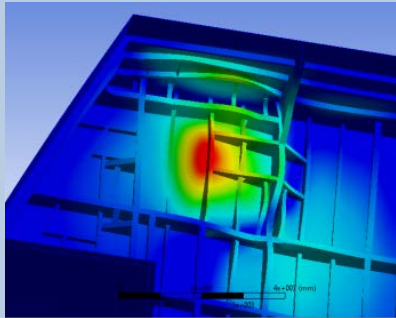
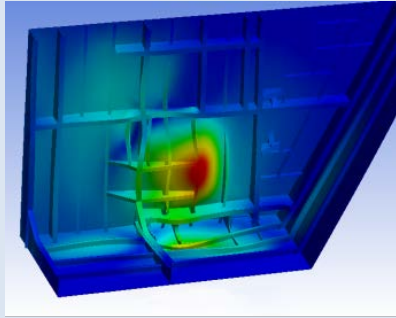
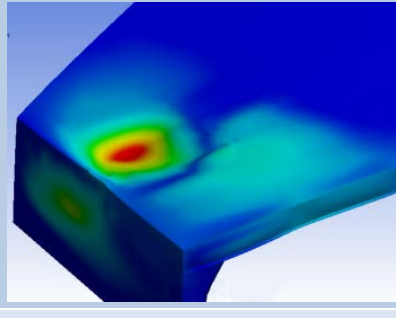
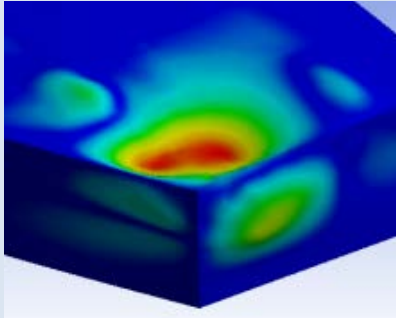
Είναι φανερό πως μέσα από το πρόγραμμα “ANSYS” έγινε εφικτή η εκλογή αξιόπιστων αποτελεσμάτων για την αντοχή της κατασκευής. Το πλοίο αρχικά δεν θα μπορούσε να περάσει από την επέκταση της διώρυγας του Παναμά. Αυτό διότι έπειτα από τις μελέτες που διεξήχθησαν, οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονταν αποτελούσαν κίνδυνο για το πλοίο, το πλήρωμα και το περιβάλλον. Είναι εμφανές ότι η προσθήκη των ενισχυτικών επιδρά αισθητά στον περιορισμό της ανάπτυξης των παραμορφώσεων και των τάσεων.

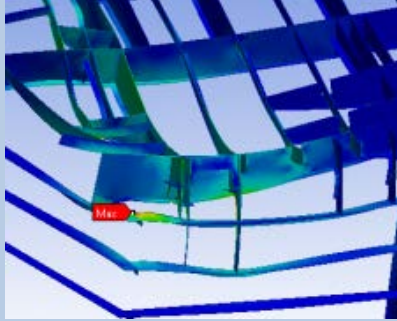
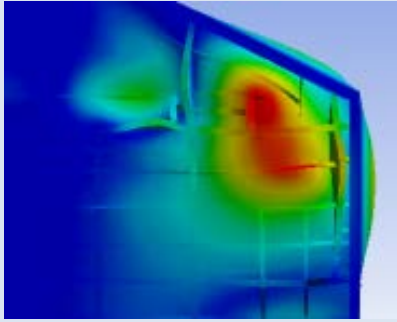
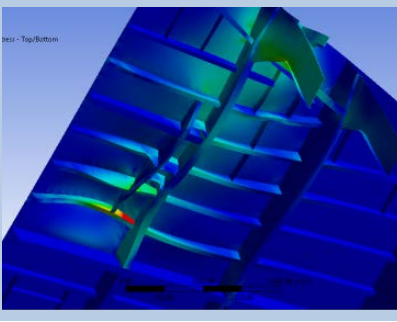
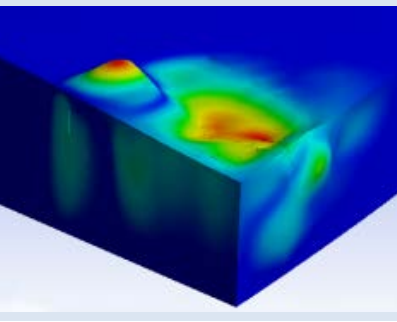
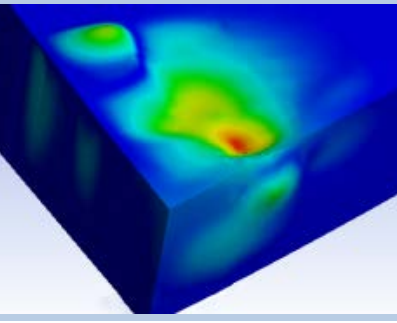
ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	ELEMENT QUALITY
A1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1569600	56.804	3392.7		27065
B1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1103625	10.832	524.12		27065
C1 ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ	1569600	16.095	752.99		27065

ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	ELEMENT QUALITY
A3	1569600	7.041	336.63		28786
C3	1569600	5.5954	421.41		16929

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και τα αποτελέσματα που ακολουθούν κρίνεται σωστή η προσθήκη των ενισχυτικών της δεύτερης φάσης. Με αυτά επιτυγχάνεται η πτώση των τάσεων κάτω από το όριο διαρροής του υλικού αλλά και την αντοχή της κατασκευής στη περίπτωση του λυγισμού.

Στα παρακάτω αποτελέσματα ο αριθμός των στοιχείων του πλέγματος είναι ο ίδιος και είναι της τάξεως των 53000 στοιχείων.



ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (mm)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	ΠΟΛ/ΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (mm)
A1	1569600	5,0087	257,62		2,8201
A2	1569600	4,7147	238,42		2,8237
A3	1569600	4,9617	249,40		2,8836
B1	1103625	3,1173	179,99		3,0802

B2	1103625	3,1416	165,28		2,9257
B3	1103625	2,9019	178,84		2,4351
C1	1569600	3,0145	212,83		3,0802
C2	1569600	2,4513	213,43		2,9257
C3	1569600	3,6788	260,63		2,4351

Όπως κάποιος μπορεί να διακρίνει στις εικόνες των αποτελεσμάτων που αφορούν τις περιπτώσεις με τις ενισχύσεις η παραμόρφωση της μεταλλικής κατασκευής έχει τιμές οι οποίες συμφωνούν με τους κανονισμούς είτε αυτοί πηγάζουν από την αρμόδια Αρχή του Παναμά είτε από τον εκάστοτε νηογνώμονα (Παράρτημα 1). Επιπροσθέτως πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως οι μέγιστες τάσεις και παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στο μοντέλο, πολλές φορές, αφορούν επιφάνειες μικρής εμβέλειας ή ακόμα και μεμονωμένα σημεία. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης πρέπει να βρίσκει λύσεις αλλά είναι προβλήματα μείζονος σημασίας.

Οι μεγάλες τάσεις και παραμορφώσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν με αύξηση του πάχους των νέων ή και των προϋπάρχοντων ενισχυτικών. Αξίζει να αναφερθεί πως στη περίπτωση που περιοχές εμφάνισαν κίνδυνο μόνιμων παραμορφώσεων, η τοπική αύξηση του αριθμού των στοιχείων που αποτελούν το πλέγμα βοήθησαν στην εξάλειψη του κινδύνου αυτού.

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικότεροι παράγοντες που καθιστούν αυτή τη μελέτη αξιόπιστη.

Στοιχεία	Τιμές	Περιορισμοί
Aspect Ratio	1,1445	 1 Perfect ∞ Worst
Element Quality	0,935	 0 Worst 1 Perfect
Mesh	39231	-

7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Κ Χατζηκωνσταντής & Α. Πουλης (2003). (Γεωμετρία του Πλοίου). Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αιγάλεω.
2. Γ. Κ. Χατζηκωνσταντής (2010). (Ναυπηγικό Σχέδιο) Σημειώσεις Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Αιγάλεω.
3. Ε. Σ. Τζαννάτος (n.d.). Τεχνολογία Πλοίου Σημειώσεις. Ανακτήθηκε Φεβρουάριο 2018 από ιστοσελίδα <https://eclass.snd.edu.gr>
4. Wikipedia (the free encyclopedia). Ανακτήθηκε Απρίλιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://el.wikipedia.org/wiki>
5. e-Nautilia (2016). Κατηγορίες και είδη πλοίων. Ανακτήθηκε Απρίλιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.e-nautilia.gr/katigories-kai-eidi-ploiwn/>
6. Wärtsilä Encyclopedia of Marine Technology. Ανακτήθηκε Μάιο 2018, από ιστοσελίδα <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/tankers>
7. Γ. Χρυσουλάκης & Δ. Παντελής (2008). Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών (εκδόσεις Παπασωτηρίου)
8. Κ. Ι. Γιαννακόπουλος (2010). (Σημειώσεις Πειραματικής Αντοχής Υλικών). Τ.Ε.Ι. Πειραιά.
9. Γ. Χρυσουλάκης & Δ. Παντελής (2008). Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών (εκδόσεις Παπασωτηρίου)
10. Γ. Κ. Αρακάς (2010). (Διπλωματική εργασία « Μελέτη αντοχής σε κόπωση ενισχυμένης χαλύβδινης γάστρας πλοίου»). Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
11. Panama Canal Authority. (n.d.) The French Canal Construction. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>

12. Panama Canal Authority. (n.d.). *The Land at Panama*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>
13. Panama Canal Authority (n.d) *The American Canal Construction*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>
14. Το κανάλι του Παναμά: Ένα θαύμα του ανθρώπου (15/08/2014). Ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα http://www.e-nautilia.gr/to_kanali-tou-panama/
15. Κωνσταντίνος Βασιλείου (2012). *Η Διώρυγα του Παναμά*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://www.ispania.gr/arthra/tourismos/3865-dioriga-panama>
16. Panama Canal Authority (n.d). *Design of the Locks*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <http://www.pancanal.com/eng/history/history/index.html>
17. Βιντζηλαίου Αναστασία (2007). *Η ιστορία, η κατασκευή και η λειτουργία της Διώρυγας του Παναμά*. (Διπλωματική Εργασία για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Ναυτιλία, Μεταφορές και Διεθνές Εμπόριο – ΝΑ.Μ.Ε.»)
18. W. Bogdanich, J. Williams & A. G. Mendez (2016). *The New Panama Canal: A Risky Be*. *The New York Times*. Ανακτήθηκε Μάρτιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://www.nytimes.com/interactive/2016/06/22/world/americas/panama-canal.html>
19. Κ. Μπάιλας (2010). *Διπλωματική εργασία (Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων γεωμετρικής βελτιστοποίησης μεταξύ δύο εμπορικών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου
20. Π. Καρύδης (n.d.). *Υπολογιστικές Μέθοδοι και Εφαρμογές σε Ναυπηγικές Κατασκευές (Ε.Μ.Π)*
21. Ansys official site. Ανακτήθηκε Μάιο 2018 από την ιστοσελίδα <https://www.ansys.com/about-ansys>
22. Ε. Κίρτας & Γ. Παναγόπουλος (2015). *Εισαγωγή σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A2 Shipboard fittings and supporting hull structures associated with towing and mooring on conventional ships

(Jan 2004)
 (Corr.1 Feb 2004)
 Rev.1 July 2004)
 (Rev.2 Sept 2006)
 (Rev.3 July 2007)
 (Corr.1 Sept 2014)
 (Rev.4 Oct 2016)
 (Corr.1 Dec 2016)
 (Corr.2 Mar 2017)

A2.0 Application and definitions

Conventional ships are to be provided with arrangements, equipment and fittings of sufficient safe working load to enable the safe conduct of all towing and mooring operations associated with the normal operations of the ship.

This Unified Requirement is to apply to design and construction of shipboard fittings and supporting structures used for the normal towing and mooring operations. Normal towing means towing operations necessary for manoeuvring in ports and sheltered waters associated with the normal operations of the ship.

For ships, not subject to SOLAS Regulation II-1/3-4 Paragraph 1, but intended to be fitted with equipment for towing by another ship or a tug, e.g. such as to assist the ship in case of emergency as given in SOLAS Regulation II-1/3-4 Paragraph 2, the requirements designated as 'other towing' in this Unified Requirement are to be applied to design and construction of those shipboard fittings and supporting hull structures.

This Unified Requirement is not applicable to design and construction of shipboard fittings and supporting hull structures used for special towing services defined as:

- **Escort towing:** Towing service, in particular, for laden oil tankers or LNG carriers, required in specific estuaries. Its main purpose is to control the ship in case of failures of the propulsion or steering system. It should be referred to local escort requirements and guidance given by, e.g., the Oil Companies International Marine Forum (OCIMF).

Note:

1) Corr.1 Feb 2004 is to be applied by all Member Societies and Associates to ships contracted for construction after 1 Jan 2005.

2) The "contracted for construction" date means the date on which the contract to build the vessel is signed between the prospective owner and the shipbuilder. For further details regarding the date of "contract for construction", refer to IACS Procedural Requirement (PR) No. 29.

3) Revision 2 of this UR is to be applied by all IACS Members and Associates to ships contracted for construction from 1 January 2007.

4) Revision 3 of this UR is to be uniformly implemented by all IACS Members and Associates to ships contracted for construction from 1 January 2007.

5) Revision 4 of this UR is to be uniformly implemented by all IACS Societies to ships contracted for construction from 1 July 2018.

A2 (cont)

- **Canal transit towing:** Towing service for ships transiting canals, e.g. the Panama Canal. It should be referred to local canal transit requirements.
- **Emergency towing for tankers:** Towing service to assist tankers in case of emergency. For the emergency towing arrangements, ships subject to SOLAS regulation II-1/3-4 Paragraph 1 are to comply with that regulation and resolution MSC.35(63) as may be amended.

IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment" may be referred to for recommendations concerning mooring and towing.

The net minimum scantlings of the supporting hull structure are to comply with the requirements given in A2.1.5 and A2.2.5. The net thicknesses, t_{net} , are the member thicknesses necessary to obtain the above required minimum net scantlings. The required gross thicknesses are obtained by adding the corrosion addition, t_c , given in A2.4, to t_{net} . Shipboard fittings are to comply with the requirements given in A2.1.4 and A2.2.4. For shipboard fittings not selected from an accepted industry standard the corrosion addition, t_c , and the wear allowance, t_w , given in A2.4 and A2.5, respectively, are to be considered.

For the purpose of this Unified Requirement the following is defined:

- Conventional ships means new displacement-type ships of 500 GT and above, excluding high speed craft, special purpose ships, and offshore units of all types. As per MSC.266(84), 'Special purpose ship' means a mechanically self-propelled ship which by reason of its function carries on board more than 12 special personnel.
- Shipboard fittings mean those components limited to the following: Bollards and bits, fairleads, stand rollers, chocks used for normal mooring of the ship and the similar components used for normal or other towing of the ship. Other components such as capstans, winches, etc. are not covered by this Unified Requirement. Any weld or bolt or equivalent device connecting the shipboard fitting to the supporting structure is part of the shipboard fitting and if selected from an industry standard subject to that standard.
- Supporting hull structures means that part of the ship structure on/in which the shipboard fitting is placed and which is directly submitted to the forces exerted on the shipboard fitting. The supporting hull structure of capstans, winches, etc. used for normal or other towing and mooring operations mentioned above is also subject to this Unified Requirement.
- Industry standard means international standards (ISO, etc.) or standards issued by national association such as DIN or JMSA, etc. which are recognized in the country where the ship is built.

A2
(cont)**A2.1 Towing****A2.1.1 Strength**

The strength of shipboard fittings used for normal towing operations at bow, sides and stern and their supporting hull structures are to comply with the requirements of this Unified Requirement.

Where a ship is equipped with shipboard fittings intended to be used for other towing services, the strength of these fittings and their supporting hull structures are to comply with the requirements of this Unified Requirement.

A2.1.2 Arrangement

Shipboard fittings for towing are to be located on stiffeners and/or girders, which are part of the deck construction so as to facilitate efficient distribution of the towing load. Other arrangements may be accepted (for chocks in bulwarks, etc.) provided the strength is confirmed adequate for the intended service.

A2.1.3 Load considerations

The minimum design load applied to supporting hull structures for shipboard fittings is to be:

- (1) For normal towing operations, 1.25 times the intended maximum towing load (e.g. static bollard pull) as indicated on the towing and mooring arrangements plan,
- (2) For other towing service, the minimum breaking strength of the tow line according to IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment" (see Notes),
- (3) For fittings intended to be used for, both, normal and other towing operations, the greater of the design loads according to (1) and (2).

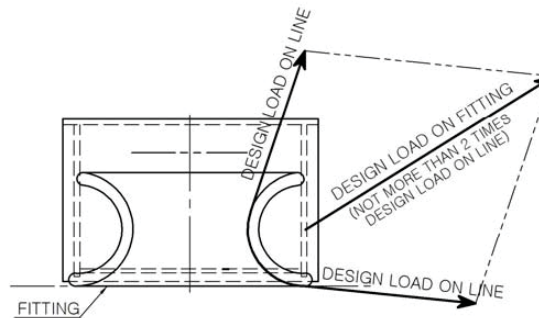
Notes:

1. *Side projected area including that of deck cargoes as given by the loading manual is to be taken into account for selection of towing lines and the loads applied to shipboard fittings and supporting hull structure.*
2. *The increase of the minimum breaking strength for synthetic ropes according to Recommendation No. 10 needs not to be taken into account for the loads applied to shipboard fittings and supporting hull structure.*

When a safe towing load TOW greater than that determined according to A2.1.6 is requested by the applicant, then the design load is to be increased in accordance with the appropriate TOW/design load relationship given by A2.1.3 and A2.1.6.

The design load is to be applied to fittings in all directions that may occur by taking into account the arrangement shown on the towing and mooring arrangements plan. Where the towing line takes a turn at a fitting the total design load applied to the fitting is equal to the resultant of the design loads acting on the line, see figure below. However, in no case does the design load applied to the fitting need to be greater than twice the design load on the line.

A2 (cont)



A2.1.4 Shipboard fittings

Shipboard fittings may be selected from an industry standard accepted by the Society and at least based on the following loads.

- (1) For normal towing operations, the intended maximum towing load (e.g. static bollard pull) as indicated on the towing and mooring arrangements plan,
- (2) For other towing service, the minimum breaking strength of the tow line according to IACS Recommendation No. 10 “Anchoring, Mooring and Towing Equipment” (see Notes in A2.1.3),
- (3) For fittings intended to be used for, both, normal and other towing operations, the greater of the loads according to (1) and (2).

Towing bits (double bollards) may be chosen for the towing line attached with eye splice if the industry standard distinguishes between different methods to attach the line, i.e. figure-of-eight or eye splice attachment.

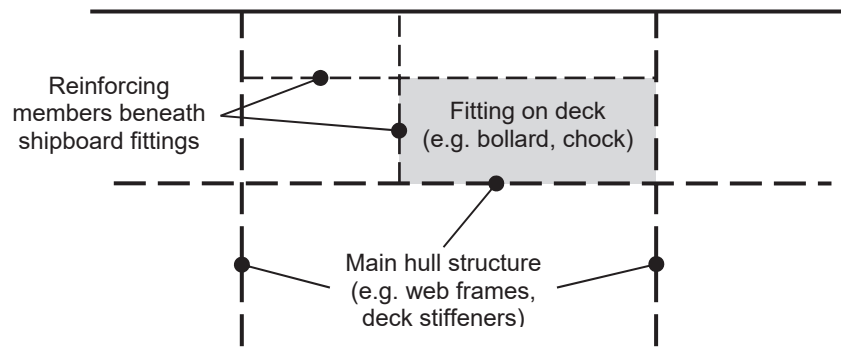
When the shipboard fitting is not selected from an accepted industry standard, the strength of the fitting and of its attachment to the ship is to be in accordance with A2.1.3 and A2.1.5. Towing bits (double bollards) are required to resist the loads caused by the towing line attached with eye splice. For strength assessment beam theory or finite element analysis using net scantlings is to be applied, as appropriate. Corrosion additions are to be as defined in A2.4. A wear down allowance is to be included as defined in A2.5. At the discretion of the Society, load tests may be accepted as alternative to strength assessment by calculations.

A2.1.5 Supporting hull structure

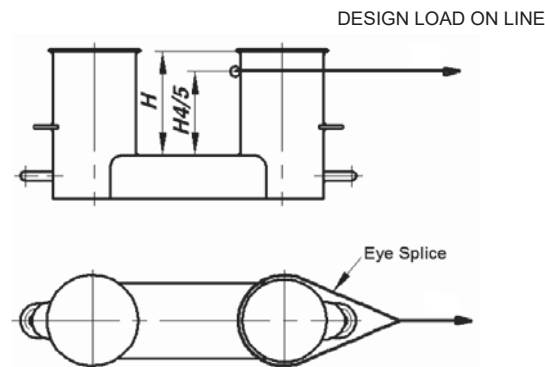
The design load applied to supporting hull structure is to be in accordance with A2.1.3.

The reinforced members beneath shipboard fittings are to be effectively arranged for any variation of direction (horizontally and vertically) of the towing forces acting upon the shipboard fittings, see figure below for a sample arrangement. Proper alignment of fitting and supporting hull structure is to be ensured.

A2 (cont)



The acting point of the towing force on shipboard fittings is to be taken at the attachment point of a towing line or at a change in its direction. For bollards and bitts the attachment point of the towing line is to be taken not less than $4/5$ of the tube height above the base, see figure below.



Allowable stresses under the design load conditions as specified in A2.1.3 are as follows:

- (1) For strength assessment with beam theory or grillage analysis:

Normal stress: 100% of the specified minimum yield point of the material;
 Shearing stress: 60% of the specified minimum yield point of the material.

Normal stress is the sum of bending stress and axial stress with the corresponding shearing stress acting perpendicular to the normal stress. No stress concentration factors being taken into account.

- (2) For strength assessment with finite element analysis:

Equivalent stress: 100% of the specified minimum yield point of the material.

For strength calculations by means of finite elements, the geometry is to be idealized as realistically as possible. The ratio of element length to width is not to exceed 3. Girders are to be modelled using shell or plane stress elements. Symmetric girder flanges may be modelled by beam or truss elements. The element height of girder webs must not exceed one-third of the web height. In way of small openings in girder webs the web thickness is to be reduced to a mean thickness over the web height. Large openings are to be modelled. Stiffeners may be modelled by using shell, plane stress, or beam elements. Stresses are to be read from the centre of the individual element. For shell elements the stresses are to be evaluated at the mid plane of the element.

A2
(cont)**A2.1.6 Safe Towing Load (TOW)**

- 1) The safe towing load (TOW) is the load limit for towing purpose.
- 2) TOW used for normal towing operations is not to exceed 80% of the design load per A2.1.3 (1).
- 3) TOW used for other towing operations is not to exceed 80% of the design load according to A2.1.3 (2).
- 4) For fittings used for both normal and other towing operations, the greater of the safe towing loads according to 2) and 3) is to be used.
- 5) For fittings intended to be used for, both, towing and mooring, A2.2 applies to mooring.
- 6) TOW, in t, of each shipboard fitting is to be marked (by weld bead or equivalent) on the deck fittings used for towing. For fittings intended to be used for, both, towing and mooring, SWL, in t, according to A2.2.6 is to be marked in addition to TOW.
- 7) The above requirements on TOW apply for the use with no more than one line. If not otherwise chosen, for towing bitts (double bollards) TOW is the load limit for a towing line attached with eye-splice.
- 8) The towing and mooring arrangements plan mentioned in A2.3 is to define the method of use of towing lines.

A2
(cont)**A2.2 Mooring****A2.2.1 Strength**

The strength of shipboard fittings used for mooring operations and of their supporting hull structures as well as the strength of supporting hull structures of winches and capstans is to comply with the requirements of this Unified Requirement.

A2.2.2 Arrangement

Shipboard fittings, winches and capstans for mooring are to be located on stiffeners and/or girders, which are part of the deck construction so as to facilitate efficient distribution of the mooring load. Other arrangements may be accepted (for chocks in bulwarks, etc.) provided the strength is confirmed adequate for the service.

A2.2.3 Load considerations

- 1) The minimum design load applied to supporting hull structures for shipboard fittings is to be 1.15 times the minimum breaking strength of the mooring line according to IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment" (see Notes).
- 2) The minimum design load applied to supporting hull structures for winches is to be 1.25 times the intended maximum brake holding load, where the maximum brake holding load is to be assumed not less than 80% of the minimum breaking strength of the mooring line according to IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment", see Notes. For supporting hull structures of capstans, 1.25 times the maximum hauling-in force is to be taken as the minimum design load.
- 3) When a safe working load SWL greater than that determined according to A2.2.6 is requested by the applicant, then the design load is to be increased in accordance with the appropriate SWL/design load relationship given by A2.2.3 and A2.2.6.
- 4) The design load is to be applied to fittings in all directions that may occur by taking into account the arrangement shown on the towing and mooring arrangements plan. Where the mooring line takes a turn at a fitting the total design load applied to the fitting is equal to the resultant of the design loads acting on the line, refer to the figure in A2.1.3. However, in no case does the design load applied to the fitting need to be greater than twice the design load on the line.

Notes:

1. *If not otherwise specified by Recommendation No. 10, side projected area including that of deck cargoes as given by the loading manual is to be taken into account for selection of mooring lines and the loads applied to shipboard fittings and supporting hull structure.*
2. *The increase of the minimum breaking strength for synthetic ropes according to Recommendation No. 10 needs not to be taken into account for the loads applied to shipboard fittings and supporting hull structure.*

A2.2.4 Shipboard fittings

Shipboard fittings may be selected from an industry standard accepted by the Society and at least based on the minimum breaking strength of the mooring line according to IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment" (see Notes in A2.2.3).

A2 (cont)

Mooring bitts (double bollards) are to be chosen for the mooring line attached in figure-of-eight fashion if the industry standard distinguishes between different methods to attach the line, i.e. figure-of-eight or eye splice attachment.

When the shipboard fitting is not selected from an accepted industry standard, the strength of the fitting and of its attachment to the ship is to be in accordance with A2.2.3 and A2.2.5. Mooring bitts (double bollards) are required to resist the loads caused by the mooring line attached in figure-of-eight fashion, see Note. For strength assessment beam theory or finite element analysis using net scantlings is to be applied, as appropriate. Corrosion additions are to be as defined in A2.4. A wear down allowance is to be included as defined in A2.5. At the discretion of the classification Society, load tests may be accepted as alternative to strength assessment by calculations.

Note:

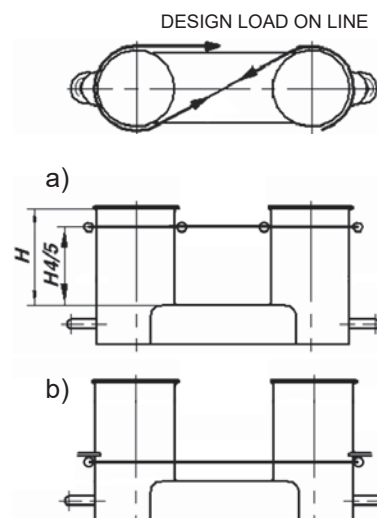
With the line attached to a mooring bitt in the usual way (figure-of-eight fashion), either of the two posts of the mooring bitt can be subjected to a force twice as large as that acting on the mooring line. Disregarding this effect, depending on the applied industry standard and fitting size, overload may occur.

A2.2.5 Supporting hull structure

The design load applied to supporting hull structure is to be in accordance with A2.2.3.

The arrangement of reinforced members beneath shipboard fittings, winches and capstans is to consider any variation of direction (horizontally and vertically) of the mooring forces acting upon the shipboard fittings, see figure in A2.1.5 for a sample arrangement. Proper alignment of fitting and supporting hull structure is to be ensured.

The acting point of the mooring force on shipboard fittings is to be taken at the attachment point of a mooring line or at a change in its direction. For bollards and bitts the attachment point of the mooring line is to be taken not less than $4/5$ of the tube height above the base, see a) in figure below. However, if fins are fitted to the bollard tubes to keep the mooring line as low as possible, the attachment point of the mooring line may be taken at the location of the fins, see b) in figure below.



A2
(cont)

Allowable stresses under the design load conditions as specified in A2.2.3 are as follows:

- (1) For strength assessment with beam theory or grillage analysis:

Normal stress: 100% of the specified minimum yield point of the material;

Shearing stress: 60% of the specified minimum yield point of the material.

Normal stress is the sum of bending stress and axial stress with the corresponding shearing stress acting perpendicular to the normal stress. No stress concentration factors being taken into account.

- (2) For strength assessment with finite element analysis:

Equivalent stress: 100% of the specified minimum yield point of the material.

For strength calculations by means of finite elements, the geometry is to be idealized as realistically as possible. The ratio of element length to width is not to exceed 3. Girders are to be modelled using shell or plane stress elements. Symmetric girder flanges may be modelled by beam or truss elements. The element height of girder webs must not exceed one-third of the web height. In way of small openings in girder webs the web thickness is to be reduced to a mean thickness over the web height. Large openings are to be modelled. Stiffeners may be modelled by using shell, plane stress, or beam elements. Stresses are to be read from the centre of the individual element. For shell elements the stresses are to be evaluated at the mid plane of the element.

A2.2.6 Safe Working Load (SWL)

- 1) The Safe Working Load (SWL) is the load limit for mooring purpose.
- 2) Unless a greater SWL is requested by the applicant according to A2.2.3 3), the SWL is not to exceed the minimum breaking strength of the mooring line according to IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment", see Notes in A2.2.3.
- 3) The SWL, in t, of each shipboard fitting is to be marked (by weld bead or equivalent) on the deck fittings used for mooring. For fittings intended to be used for, both, mooring and towing, TOW, in t, according to A2.1.6 is to be marked in addition to SWL.
- 4) The above requirements on SWL apply for the use with no more than one mooring line.
- 5) The towing and mooring arrangements plan mentioned in A2.3 is to define the method of use of mooring lines.

A2
(cont)**A2.3 Towing and mooring arrangements plan**

- 1) The SWL and TOW for the intended use for each shipboard fitting is to be noted in the towing and mooring arrangements plan available on board for the guidance of the Master. It is to be noted that TOW is the load limit for towing purpose and SWL that for mooring purpose. If not otherwise chosen, for towing bits it is to be noted that TOW is the load limit for a towing line attached with eye-splice.
- 2) Information provided on the plan is to include in respect of each shipboard fitting:
 1. location on the ship;
 2. fitting type;
 3. SWL/TOW;
 4. purpose (mooring/harbour towing/other towing);
 5. manner of applying towing or mooring line load including limiting fleet angles.

Item 3 with respect to items 4 and 5, is subject to approval by the Society.

Furthermore, information provided on the plan is to include:

1. the arrangement of mooring lines showing number of lines (N);
2. the minimum breaking strength of each mooring line (MBL);
3. the acceptable environmental conditions as given in IACS Recommendation No. 10 "Anchoring, Mooring and Towing Equipment" for the recommended minimum breaking strength of mooring lines for ships with Equipment Number EN > 2000:
 - 30 second mean wind speed from any direction (v_w or v_w^* according to IACS Recommendation No. 10).
 - Maximum current speed acting on bow or stern ($\pm 10^\circ$).
- 3) The information as given in 2) is to be incorporated into the pilot card in order to provide the pilot proper information on harbour and other towing operations.

A2
(cont)**A2.4 Corrosion addition**

The corrosion addition, t_c , is not to be less than the following values:

- 1) Ships covered by Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers: Total corrosion addition to be as defined in these rules.
- 2) Other ships:
 - For the supporting hull structure, according to the Society's Rules for the surrounding structure (e.g. deck structures, bulwark structures).
 - For pedestals and foundations on deck which are not part of a fitting according to an accepted industry standard, 2.0 mm.
 - For shipboard fittings not selected from an accepted industry standard, 2.0 mm.

A2.5 Wear allowance

In addition to the corrosion addition given in A2.4 the wear allowance, t_w , for shipboard fittings not selected from an accepted industry standard is not to be less than 1.0 mm, added to surfaces which are intended to regularly contact the line.

A2.6 Survey after construction

The condition of deck fittings, their pedestals or foundations, if any, and the hull structures in the vicinity of the fittings are to be examined in accordance with the Society's Rules.

End of Document
